



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



## **DISSERTAÇÃO**

**SEMAKO IBRAHIM BONOU**

**INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AOS ESTRESSES TÉRMICO E HÍDRICO EM  
*Moringa oleifera* EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

**CAMPINA GRANDE - PB  
FEVEREIRO - 2022**

**SEMAKO IBRAHIM BONOU**

**INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AOS ESTRESSES TÉRMICO E HÍDRICO EM  
*Moringa oleifera* EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo - UFCG

Orientador: Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz - UFCG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - PB em cumprimento às exigências ao título de mestre em Engenharia Agrícola.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

**CAMPINA GRANDE – PB  
FEVEREIRO - 2022**

B719i Bonou, Semako Ibrahim.  
Indução de tolerância aos estresses térmico e hídrico em *Moringa oleifera* em região semiárida / Semako Ibrahim Bonou. – Campina Grande, 2022.  
72 f. : Il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.  
"Orientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo, Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz".  
Referências.

1. Irrigação e Drenagem. 2. Estresses Abióticos. 3. Metabolismo Antioxidativo. 4. *Seed Priming*. 5. Radiação Luminosa. 6. Fitormônio. I. Azevedo, Carlos Alberto Vieira de. II. Ferraz, Rener Luciano de Souza. III. Título.

CDU 631.67:631.62(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA MARIA ANTONIA DE SOUSA CRB 15/398



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

SEMAKO IBRAHIM BONOOU

INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AOS ESTRESSES  
TÉRMICO E HÍDRICO EM *Moringa*  
*oleifera* EM REGIÃO SEMIÁRIDA

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
como pré-requisito para obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 25/02/2022

Carlos Alberto Vieira de Azevedo - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Rener Luciano de Souza Ferraz - Orientador(a) - UATEC/CDSA/UFCG

Jose Dantas Neto - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Alberto Soares de Melo - Examinador(a) Externo(a) - UEPB



Documento assinado eletronicamente por **Alberto Soares de Melo, Usuário Externo**, em 03/03/2022, às 17:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RENER LUCIANO DE SOUZA FERRAZ, PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR -VISITANTE**, em 06/03/2022, às 15:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 08/03/2022, às 22:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

Documento assinado eletronicamente por **JOSE DANTAS NETO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/03/2022, às 12:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art.

[https://sei.ufcg.edu.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_imprimir\\_web&acao\\_origem=arvore\\_visualizar&id\\_documento=2376488&infra\\_siste...](https://sei.ufcg.edu.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=2376488&infra_siste...) 1/2

30/03/2022 08:34

SEI/UFCG - 2148632 - PRPG-Folha de Assinatura para Teses e Dissertações



8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador 2148632 e o código CRC D43DBBFA.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

À Universidade Federal de Campina Grande, seu corpo docente, direção e administração os quais oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo e Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz, pelos ensinamentos e confiança depositada em mim.

À minha colega e amiga Patrícia da Silva Costa pela disponibilidade, contribuição e troca de conhecimentos durante as atividades de pesquisa.

Ao prof. Dr. José Dantas Neto por me abrir as portas das pesquisas.

Aos professores Dr. Alberto Soares de Melo e Dr. Yuri Lima Melo, por todo o apoio e ensinamentos durante as pesquisas.

Aos meus pais Sikirou Bonou (*in memoriam*) e Rosaline Zountekpo e irmãos Moussiliou, Nourath, Mansourath e Koubourath, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À minha companheira Ana Paula das Neves, por toda confiança e compreensão. E a nossa filha, Manuella Morayo, por ser a minha fonte de força e alegria nos momentos mais difíceis e felizes.

Aos meus amigos do Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (ECOLAB): Venâncio, Rayanne, Guilherme, Deibson, Igor, João Vitor, Priscylla e Ingrid por todo companheirismo e ajuda na realização das atividades.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) e aos meus colegas de turma.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muitíssimo obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento deste trabalho no âmbito do Projeto de Pesquisa nº 160862/2019-1.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1. Objetivo geral.....	13
2.2. Objetivos específicos.....	13
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
3.1. A <i>Moringa oleifera</i> Lamarck .....	14
3.1.1. Origem, descrição e distribuição geográfica .....	14
3.1.2. Usos, aplicações e importância socioeconômica e ambiental.....	15
3.1.3. Estresses Abióticos.....	16
3.1.4. Condicionamento de sementes e Indução de Tolerância aos Estresses .....	17
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS GERAL.....</b>	<b>19</b>
4.1. Localização e Condução do Experimento .....	19
4.2. Aplicação do condicionamento das sementes (Etapa I) .....	19
4.3. Condução em câmara de crescimento tipo Fitotron (Etapa II) .....	20
4.3.1. Formação de mudas sob imposição dos estresses térmico e hídrico .....	20
4.3.2. Delineamento experimental e análise estatística.....	22
<b>5. CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>23</b>
5.1. Luz azul e etileno melhoram as características fisiológicas e bioquímicas em <i>Moringa oleifera</i> sob estresses abióticos .....	23
5.1.1. Introdução .....	24
5.1.2. Material e Métodos.....	25
5.1.2.1. Determinação do extravazamento de eletrólitos intracelulares .....	25
5.1.2.2. Determinação do conteúdo relativo de água na folha .....	26
5.1.2.3. Avaliação das trocas gasosas .....	26
5.1.2.4. Determinação de fluorescência da clorofila a e eficiência quântica do fotossistema II .....	27
5.1.2.5. Prolina nos folíolos (PRO-F).....	27
5.1.2.6. Proteínas solúveis totais (PST) .....	28
5.1.2.7. Açúcares solúveis totais (AST) .....	29
5.1.2.8. Superóxido Dismutase (SOD).....	29

5.1.2.9. Catalase (CAT) .....	30
5.1.2.10. Taxa assimilatória líquida .....	30
5.1.2.11. Matéria seca total da planta .....	30
5.1.3. Resultados e Discussão .....	31
5.1.4. Conclusões .....	37
6. CAPÍTULO 2 .....	38
6.1. Luz azul e etileno melhoram a qualidade de mudas de <i>Moringa oleifera</i> sob estresses abióticos .....	38
6.1.1. Introdução .....	38
6.1.2. Material e Métodos .....	39
6.1.2.1. Mensuração do crescimento de mudas .....	40
6.1.2.2. Quantificação de pigmentos.....	41
6.1.3. Resultados e Discussão .....	42
6.1.4. Conclusões .....	47
6. CAPÍTULO 3 .....	48
6.1. Luz azul e etileno melhoram a matéria fresca de mudas de <i>Moringa oleifera</i> sob estresses abióticos.....	48
6.1.1. Introdução .....	48
6.1.2. Material e Métodos .....	50
6.1.2.1. Mensuração do crescimento de mudas .....	50
6.1.3. Resultados e Discussão .....	52
6.1.4. Conclusões .....	56
7. REFERÊNCIAS .....	56

BONOU, Semako Ibrahim. **Indução de tolerância aos estresses térmico e hídrico em *Moringa oleifera* em região semiárida.** 2022. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2022.

## RESUMO GERAL

O aumento populacional associado à exploração de recursos naturais e às mudanças climáticas influencia a demanda por alimento, sobretudo em regiões semiáridas, o que evidencia a necessidade de tecnologias para melhor adaptação das espécies cultivadas. Nesta perspectiva, objetivou-se induzir tolerância aos estresses causados por déficit hídrico e alta temperatura em *Moringa oleifera* utilizando-se da técnica de condicionamento de sementes com luz azul e etileno. O experimento foi conduzido em duas etapas, sendo a primeira na Universidade Federal de Campina Grande e a segunda na Universidade Estadual da Paraíba. A etapa I foi a aplicação do condicionamento das sementes e a etapa II foi a formação de mudas de *Moringa oleifera* em câmara de crescimento tipo Fitotron sob estresses hídrico e térmico, em experimento conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 3, sendo dois níveis de reposição da água no solo perdida por evapotranspiração da cultura – ETc (50% e 100%), duas condições térmicas, uma com estresse (40 °C dia/35 °C noite) e a outra sem estresse (30 °C dia/25 °C noite) e três condicionamentos de sementes constituídos de um controle - PRI 0 (sementes não condicionadas), condicionamento em água destilada sob irradiação com luz monocromática azul – PRI 1 e condicionamento em solução de etileno (500 mg L<sup>-1</sup> de Ethrel) sob irradiação com luz monocromática azul– PRI 2, com cinco repetições. Foram avaliados a integridade de membranas celulares, o status hídrico, os indicadores de ajustamento osmótico, o mecanismo antioxidativo, as trocas gasosas, a eficiência fotoquímica, o acúmulo de matéria seca das mudas, os indicadores biométricos, teores de pigmentos cloroplastídicos, partição da fitomassa, índices de crescimento e de qualidade das mudas, índices de área foliar, índice de produção de biomassa da parte aérea e índice SPAD e as taxas de crescimento. Os dados foram submetidos às análises exploratórias de componentes principais, variância multivariada e teste de médias. O estresse térmico, ou seja, variação de temperatura de 40 °C dia/35 °C noite provocou aumento da atividade da enzima catalase nas folhas e acúmulo de proteínas solúveis totais nas raízes. Os estresses abióticos, térmico e hídrico prejudicaram as trocas gasosas, o ajustamento osmótico, a eficiência fotoquímica e o acúmulo de matéria seca das mudas de *Moringa oleifera* cultivadas em câmara de crescimento fitotron. As mudas geradas de sementes condicionadas em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul melhoram as características fisiológicas e bioquímicas para maior tolerância aos estresses abióticos. A ocorrência dos estresses abióticos, térmico e hídrico simultaneamente provocou redução da qualidade de mudas de *Moringa oleifera* em câmara de crescimento fitotron. Porém, o condicionamento de sementes em solução com o fitormônio etileno sob irradiação com luz monocromática azul melhorou a qualidade das mudas submetidas a esses estresses abióticos. A combinação do estresse térmico e hídrico aumentou o teor



de água nas raízes e a suculência das folhas. O condicionamento de sementes em solução com o fitormônio etileno sob irradiação com luz monocromática azul melhora o acúmulo de matéria fresca, as relações hídricas e os índices de crescimento das mudas de *Moringa oleifera* sob os estresses abióticos, térmico e hídrico em câmara de crescimento fitotron.

**Palavras chave:** Estresses abióticos, metabolismo antioxidativo, *seed priming*, radiação luminosa, fitormônio.

BONOU, Semako Ibrahim. **Induction of tolerance to heat and water stress in *Moringa oleifera* in a semiarid region.** 2022. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2022.

### ABSTRACT

The population increase associated with the exploitation of natural resources and climate change influences the demand for food, especially in semi-arid regions, which highlights the need for technologies for better adaptation of cultivated species. In this perspective, the objective was to induce tolerance to stresses caused by water deficit and high temperature in *Moringa oleifera* using the technique of conditioning seeds with blue light and ethylene. The experiment was conducted in two stages the first being at the Federal University of Campina Grande and the second at the State University of Paraíba. Stage I was the application of seed conditioning, and stage II was the formation of *Moringa oleifera* seedlings in a Fitotron-type growth chamber under water and heat stress, in an experiment conducted in a completely randomized design, in a 2 x 2 x 3, factorial scheme with two replacement levels of soil water lost by crop evapotranspiration – ETc (50% and 100%), two thermal conditions, one with stress (40 °C day/35 °C night) and the other without stress (30 °C day/25 °C night) and three seed conditionings consisting of a control - PRI 0 (unconditioned seeds), conditioning in distilled water under irradiation with blue monochromatic light - PRI 1 and conditioning in ethylene solution (500 mg L<sup>-1</sup> of Ethrel) under irradiation with blue monochromatic light – PRI 2, with five repetitions. Cell membrane integrity, water status, osmotic adjustment indicators, antioxidative mechanism, gas exchange, photochemical efficiency, seedling dry matter accumulation were evaluated. Biometric indicators, chloroplast pigment contents, phytomass partition, growth and seedling quality indices, leaf area indices, shoot biomass production and SPAD and growth rates. Data were submitted to exploratory analysis of principal components, multivariate variance and test of means. Thermal stress, ie, a temperature variation of 40 °C day/35 °C night, caused an increase in the activity of catalase enzymes in the leaves and accumulation of total soluble proteins in the roots. Abiotic, thermal and water stresses impaired gas exchange, osmotic adjustment, photochemical efficiency and dry matter accumulation of *Moringa oleifera* seedlings cultivated in a phytotron growth chamber. The seedlings generated from seeds conditioned in ethylene solution under irradiation with blue monochromatic light improve the physiological and biochemical characteristics for greater tolerance to abiotic stresses. The occurrence of abiotic, thermal and water stresses simultaneously caused a reduction in the quality of *Moringa oleifera* seedlings in a phytotron growth chamber. However, conditioning seeds in solution with ethylene phytohormone under irradiation with blue monochromatic light improved the quality of seedlings subjected to these abiotic stresses. The combination of heat and water stress increased the water content in the roots and the succulence of the leaves. The conditioning of seeds in solution with the phytohormone ethylene under irradiation with monochromatic blue light improves the accumulation of fresh matter, the water relations

and the growth indices of *Moringa oleifera* seedlings under abiotic, thermal and water stress in a phytotron growth chamber.

**Keywords:** Abiotic stresses, antioxidant metabolism, seed priming, light radiation, phytohormone

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O aumento populacional gera maior demanda por alimentos e compromete a segurança alimentar, o que caracteriza um desafio global para a humanidade. Com base em dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), estima-se que, atualmente, 815 milhões de pessoas sofram de desnutrição (CICERI & ALLANORE, 2019). A demanda por recursos está projetada para aumentar na medida em que a população cresça até 2050, o que requer aumentos de 55% na disponibilidade de água, 60% de alimentos e 80% de energia (DAHER *et al.*, 2019).

O cenário supracitado pressiona o setor agrícola para ampliação de áreas cultiváveis e uso de fatores de produção como solo, água, fertilizantes e defensivos, o que tem agravado os efeitos negativos das ações antrópicas sobre os agroecossistemas e mudanças climáticas (MARTINS *et al.*, 2019). As plantas são inevitavelmente expostas aos estresses abióticos, como altas ou baixas temperaturas e déficit ou excesso hídrico, os quais podem influenciar seu desempenho fotossintético e produtivo (KULAK *et al.*, 2019). O déficit hídrico é um dos tipos mais graves e comuns de estresse abiótico que afeta as espécies cultivadas em ambientes semiáridos, o qual pode ser agravado pela ocorrência simultânea de estresse térmico, de modo que estudos para atenuação destes estresses são imprescindíveis (NUNES *et al.*, 2019; VASCONCELOS *et al.*, 2019).

Uma estratégia para garantia de sustentabilidade e segurança alimentar é o cultivo de plantas com potencial para múltiplos usos, com plasticidade genotípica e fenotípica para tolerância aos estresses abióticos e adaptação aos mais variados agroecossistemas de cultivo, como em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (BUSSONI *et al.*, 2019; CORTNER *et al.*, 2019). Nesse contexto, a *Moringa oleifera* Lamark tem ganhado destaque mundialmente, uma vez que todas as partes da planta podem ser usadas como alimentos, medicamentos e para fins industriais (LIU *et al.*, 2019).

A *M. oleifera* é uma espécie da família Moringaceae nativa da Índia e do Paquistão (DOMENICO *et al.*, 2019), sendo cultivada em regiões áridas e semiáridas, caracterizando-se em alternativa para alimentação humana e animal devido seu potencial nutritivo, além de possuir aminoácidos essenciais, macro e micronutrientes (DOMENICO *et al.*, 2019; KARTHICKEYAN, 2019; RIBAUDO *et al.*, 2019). Além disso, pode ser usada para purificação de água e possui ação antifúngica, analgésica,

anti-inflamatória, antioxidante, antidiabética, antitumoral e antibacteriana (GARCIA *et al.*, 2019).

Embora *M. oleifera* seja adaptada às condições edafoclimáticas contrastantes, estresses abióticos ocorridos durante sua fase vegetativa de mudas podem influenciar o crescimento e desenvolvimento da planta, refletindo em redução no acúmulo de fitomassa, rendimento de frutos e sementes (RIVAS *et al.*, 2013; PEREIRA *et al.*, 2015; HASAN *et al.*, 2019; VASCONCELOS *et al.*, 2019). Apesar da importância da interação entre luz e fitormônios no crescimento, desenvolvimento e produção de plantas, pouco se sabe acerca do efeito desses fatores combinados na forma de pré-tratamento de sementes (BLUNK *et al.*, 2019) sobre o crescimento, aspectos fisiológicos e bioquímicos de mudas de *M. oleifera* em condições de estresses hídrico e térmico, denotando a necessidade de desenvolvimento de pesquisas que visem avaliar se esta técnica pode induzir tolerância a esses estresses na cultura.

A germinação de sementes é um processo fisiológico complexo que começa com a absorção de água e termina com a protrusão da radícula (TUAN *et al.*, 2019). Neste contexto, o condicionamento de sementes consiste em controlar o teor de água das sementes para ativar parcialmente os processos de germinação como o metabolismo, mas evita a germinação total, retornando as sementes ao estado de quiescência (SANO & SEO, 2019). Com base no exposto, pode-se inferir a hipótese de que o condicionamento de sementes com radiação luminosa e fitormônios pode induzir tolerância aos estresses abióticos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar a indução da tolerância aos estresses abióticos causados por déficit hídrico e alta temperatura em mudas de *Moringa oleifera* oriundas de sementes submetidas à técnica de condicionamento de sementes em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul.

### **2.2. Objetivos específicos**

Avaliar a integridade de membranas celulares, o status hídrico, os indicadores de ajustamento osmótico, o mecanismo antioxidativo, as trocas gasosas, a eficiência

fotoquímica e o acúmulo de matéria seca de mudas de *M. oleifera* obtidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de déficit hídrico e alta temperatura.

Quantificar indicadores biométricos, teores de pigmentos cloroplastídicos, partição da fitomassa, índices de crescimento e de qualidade das mudas de *M. oleifera* obtidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de déficit hídrico e alta temperatura.

Determinar a matéria fresca e o teor de água nas raízes, no caule e nas folhas, a suculência das folhas, o número de folhas completas, a razão de massa fresca das folhas, os índices de área foliar, de produção de biomassa da parte aérea e SPAD, a taxa de crescimento absoluto e densidade radicular das mudas de *M. oleifera* obtidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de déficit hídrico e alta temperatura.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. A *Moringa oleifera* Lamarck**

##### **3.1.1. Origem, descrição e distribuição geográfica**

A *Moringa oleifera* Lamarck é uma árvore nativa das montanhas do Himalaia, do noroeste do Paquistão ao norte da Índia, Bangladesh e no Afeganistão, onde foi primeiro descrita por volta de 2000 antes de Cristo (a. C.) como uma erva medicamentosa. A árvore de *M. oleifera* se espalhou para o leste (partes inferiores da China, Sudeste Asiático e Filipinas) e oeste (Egito, Chifre da África, em torno do Mediterrâneo, e finalmente para as Índias Ocidentais na América) (STOHS *et al.*, 2015; MATIC *et al.*, 2018; ADEMOSUN *et al.*, 2022). Possui crescimento rápido, sendo capaz de sobreviver em solos distróficos, demandando o mínimo de tratamentos culturais, e em longos períodos de seca, como é o caso do semiárido nordestino (OYHEYINKA & OYHEYINKA, 2018).

É uma planta arbórea com longas vagens verdes, sementes aladas, folhas grandes e flores brancas perfumadas. Quanto ao porte, a *M. oleifera* é uma árvore de tamanho

pequeno, com aproximadamente 10 a 12 m de altura. Em um ano, as árvores podem alcançar 4 m de altura, gerando flores e frutos, possibilitando múltiplas colheitas de sementes. As árvores de médio porte apresentam outras funções como farmacêutica e melífera, muito valorizada nos países onde existe este gênero. As raízes são consideradas estimulantes e diuréticas, e os médicos de onde a planta é originária prescrevem a raiz nas febres intermitentes, epilepsia, histeria, paralisia, reumatismo, hipertrofias do fígado e do baço. Em condições favoráveis, uma única planta pode produzir de 50 a 70 kg de frutos por ano (SANTANA *et al.*, 2010; SOUTO & MAIOR JUNIOR, 2018; HEDHILI *et al.*, 2022).

É amplamente cultivada na maior parte do mundo por seus benefícios nutricionais e medicinais. Na literatura existem relatos de que a cultura pode ser utilizada para fins medicinais, notadamente, por suas propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas, antioxidantes e anticancerígenas. Fitoquímicos presentes nas folhas da *M. oleifera* incluem taninos, esteroides, triterpenoides, flavonoides, saponinas, antraquinonas, alcaloides, niazimicina, moringina e açúcares redutores (OMOTOSO *et al.*, 2018).

### **3.1.2. Usos, aplicações e importância socioeconômica e ambiental**

Quase todas as partes dessa árvore foram consideradas úteis. As folhas são usadas como forragem, o caule e ramos para fazer gomas, extração de néctar das flores e pó de sementes para purificação de água. A folha de *M. oleifera* tem sido usada como fonte alternativa de alimento para combater a desnutrição, especialmente entre crianças e bebês (OYEYINKA & OYEYINKA, 2018). Sabe-se que as folhas de *M. oleifera* contêm quantidades substanciais de vitamina A, C e E, quantidades expressivas de fenóis totais, proteínas, cálcio, potássio, magnésio, ferro, manganês e cobre (HEKMAT *et al.*, 2015), denotando o expressivo potencial nutricional da cultura para aplicações na alimentação humana e animal (VIEIRA *et al.*, 2018).

A planta de *M. oleifera* é rica em compostos bioativos como óleos essenciais, saponinas e taninos, que estão presentes em diferentes partes da planta. Estes compostos têm frequentemente ação antimicrobiana e propriedades anti-helmínticas, que podem melhorar a utilização de alimentos pelos ruminantes e conseqüentemente o desempenho animal. Extratos fitogênicos e partes de plantas contendo esses compostos bioativos podem fornecer uma alternativa de baixo custo para melhorar a utilização de alimentos

e o desempenho de fêmeas ruminantes em lactação (KHOLIF *et al.*, 2018), de modo que a cultura possui inúmeras aplicações na medicina popular e na indústria farmacêutica (PAIVA *et al.*, 2018; SERAFINI *et al.*, 2018).

Há uma busca crescente de polímeros naturais no tratamento de águas, um desses coagulantes naturais pode ser obtido na semente da árvore tropical *M. oleifera* (BERGAMASCO *et al.*, 2018). Em relação aos agentes químicos coagulantes/floculantes, o uso de *M. oleifera* apresenta grandes vantagens como a biodegradabilidade, baixo índice de produção de lodo residual e baixa toxicidade (BAPTISTA *et al.*, 2017). Suas sementes contêm proteínas coagulantes que podem ser facilmente extraídas em água e promovem a precipitação de partículas em suspensão, levando à diminuição na turbidez de água. Entre essas proteínas, pode-se destacar a lectina, que por suas atividades coagulante e antibacteriana, é um dos agentes que promovem purificação e descontaminação da água (VILLASEÑOR-BASULTO *et al.*, 2018).

É importante ressaltar que as sementes da *M. oleifera* podem conter entre 33 e 41% de óleo vegetal, sendo que mais 70% deste é constituído de ácido oleico e beênico, o que torna o óleo de suas sementes uma alternativa bastante atrativa para a produção de biodiesel (KARTHICKEYAN, 2019). De fato, muitas pesquisas ao redor do mundo vêm abordando o óleo de *M. oleifera* para biodiesel (SILVA *et al.*, 2010; PEREIRA *et al.*, 2017; GRANELLA *et al.*, 2021;), de modo que a cultura consiste em estratégia para o cultivo no Nordeste do Brasil, sobretudo devido ao seu fácil manejo e adaptabilidade às condições edafoclimáticas do semiárido (DOMENICO *et al.*, 2019).

A inserção da *M. oleifera* na região semiárida do Brasil vem sendo alvo de pesquisas que objetivam contribuir para a sustentabilidade das atividades agrícolas na região, além da fixação e melhoria da qualidade de vida do homem no campo e até mesmo como ação mitigadora e de adaptação às mudanças climáticas pelos seus vários benefícios (SANT'ANNA *et al.*, 2018). De fato, pesquisadores vêm buscando a inserção da espécie no semiárido brasileiro como uma forma de transformação socioeconômica e ambiental, notadamente, devido ao fato de constitui-se em uma cultura de múltiplos usos (SANTOS *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2018).

### **3.1.3. Estresses Abióticos**



Os estresses causados por fatores abióticos consistem nas causas mais frequentes de redução do desempenho produtivo e rendimento das culturas agrícolas. Na maioria das vezes, as condições em que as plantas vivem são caracterizadas pela presença de vários tipos de estresses abióticos combinados (LIU *et al.*, 2019). Nessas condições, as plantas desenvolvem diferentes respostas bioquímicas, fisiológicas e moleculares, que vão desde modificações na expressão gênica, na biossíntese de proteínas especiais e metabólitos secundários, alterações na sinalização hormonal e atividades antioxidantes (FARHANGI-ABRIZ & GHASSEMI-GOLEZANI, 2019).

Dentre os diversos estresses abióticos (GE *et al.*, 2019; KUCZYŃSKA *et al.*, 2019; SINGH *et al.*, 2019; YAO *et al.*, 2019), o estresse hídrico é um dos mais comuns no semiárido brasileiro e seu efeito pode variar dependendo de sua severidade e duração, desencadeando mudanças morfológicas e fisiológicas como reduções na expansão celular, área foliar, podendo promover fechamento estomático e aumento da abscisão foliar, o que reflete em menor taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e acúmulo de fitomassa (SALEMI *et al.*, 2019; VASCONCELOS *et al.*, 2019).

O estresse térmico decorre dos extremos de temperatura, de modo que seus efeitos são proeminentes por reduzirem o crescimento das plantas, alterando vários processos morfológicos, anatômicos, fenológicos, fisiológicos e bioquímicos, de modo que lesões diretas devido a altas temperaturas nas plantas incluem desnaturação e agregação de proteínas e aumento da fluidez dos lipídios da membrana, enquanto que lesões indiretas ou mais lentas incluem inativação de enzimas em cloroplastos e mitocôndrias, inibição da síntese de proteínas, degradação de proteínas e perda da integridade da membrana (BHATTACHARYA, 2019).

A combinação ou ação isolada de estresses abióticos provoca geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), estresse oxidativo e desequilíbrio celular, notadamente, devido às reações metabólicas celulares, como as atividades fotoquímicas dos fotossistemas I (PSI) e II (PSII) (FARHANGI-ABRIZ & GHASSEMI-GOLEZANI, 2019). As trocas gasosas são altamente influenciadas pelo déficit hídrico (GUPTA & HUANG, 2014).

#### **3.1.4. Condicionamento de sementes e Indução de Tolerância aos Estresses**

Os estresses abióticos podem ser atenuados por inúmeras estratégias desenvolvidas pelas plantas, além de técnicas diferenciadas de manejo adotadas nos

sistemas de cultivos agrícolas como a manipulação de fatores como luz, temperatura e balanço hormonal. Neste contexto, o pré-tratamento de sementes por condicionamento hídrico (*Seed priming*) consiste em submeter as sementes às condições estressantes e substâncias atenuadoras para induzir tolerância aos estresses abióticos (BLUNK *et al.*, 2019; HUSSAIN *et al.*, 2019; MAJEED *et al.*, 2019; RIZWAN *et al.*, 2019; SALEMI *et al.*, 2019).

Com base nas informações supracitadas, é importante ressaltar que as plantas desenvolveram evolutivamente mecanismos de fotoproteção e reparo do PSII, uma vez que a exposição excessiva à luz pode danificar os fotossistemas e induzir a produção de EROs (JUNG *et al.*, 2020). De fato, o estresse por radiação luminosa pode induzir o metabolismo secundário para produção de substâncias de defesa (HÖLL *et al.*, 2019), de modo que essas substâncias podem desencadear uma resposta transcricional, levando à morte celular programada ou à tolerância ao estresse fotooxidativo (D'ALESSANDRO & HAVAUX, 2019). De acordo com Santos *et al.* (2010), as medidas de trocas gasosas são significativas para determinar as taxas fotossintéticas, porém podem não ser eficientes para avaliar os efeitos deletérios nos cloroplastos; dessa maneira e segundo esses autores, a avaliação da fluorescência da clorofila 'a' revela o nível de excitação da energia que dirige a fotossíntese e fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do PSII.

Dentre os atenuadores de estresses abióticos em plantas, os fitormônios como o etileno (ET), desempenham papéis importantes na mitigação de estresses bióticos e abióticos em plantas (BALI *et al.*, 2019).

O etileno é um fitormônio gasoso que participa efetivamente dos sistemas de defesa dos vegetais contra os estresses (ROYCHOUDHURY & TRIPATHI, 2019), de modo que uma maior compreensão dos mecanismos de ação pelos quais ocorre a defesa é importante para indução de tolerância (KAZAN, 2015). O ET também é essencial para a regulação do crescimento e senescência vegetal em resposta aos estresses (XIA *et al.*, 2015), além de atuar na germinação de sementes, alongamento celular, florescimento, amadurecimento de frutos, senescência e abscisão, o que acontece a partir de transdução de sinais em resposta aos estresses (DEBBARMA *et al.*, 2019). O etileno regula a germinação das sementes e o desenvolvimento do gancho apical. Além disso, o etileno promove o crescimento do hipocótilo na luz, mas inibe o alongamento do hipocótilo no escuro. O etileno regula o crescimento da raiz primária e o desenvolvimento da raiz lateral através da interação com a auxina. Em geral, o etileno inibe o crescimento da raiz

primária pela regulação positiva da biossíntese de auxina (GOLAM *et al.*, 2020). Além do mais, o etileno desempenha um papel fundamental nas respostas ao estresse das plantas quando as plantas são submetidas a estresses abióticos (KAZAN, 2015; THAO *et al.*, 2015).

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS GERAL**

##### **4.1. Localização e condução do experimento**

O experimento foi conduzido em duas etapas, sendo a Etapa I (**aplicação do condicionamento das sementes**) realizada no Laboratório de Fisiologia Vegetal – LFV da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UAEA do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizada no Estado da Paraíba – PB, nas coordenadas geográficas: latitude 7° 12' 51,9" S e longitude 35° 54' 24,1" W em altitude de 551 m, com clima equatorial semiárido, temperatura média de 25 °C e umidade relativa do ar variando entre 72 e 91%. A Etapa II do experimento (**formação de mudas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob estresses hídrico e térmico**) foi realizada na Estação Experimental situada a 07° 12' 42,99" de latitude Sul, 35° 54' 36,27" longitude Oeste e altitude de 521 m, pertencente à Universidade Estadual da Paraíba – UEPB. As análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas – ECOLAB/UEPB.

##### **4.2. Aplicação do condicionamento das sementes (Etapa I)**

Foram utilizadas sementes de *M. oleifera* obtidas de um produtor rural da cidade de Catolé de Rocha, localizada no estado da Paraíba. Inicialmente, as sementes passaram pelo processo de assepsia com hipoclorito de sódio a 1%, por 3 min (CARVALHO & CARVALHO, 2009), realizado sob luz verde, tida como luz de segurança, sem influência sobre os fitocromos (PEREIRA *et al.*, 2011), de modo a não influenciar o efeito da radiação luminosa durante a aplicação do condicionamento.

Os condicionamentos de sementes constituídos de um controle - PRI 0 (sementes não condicionadas), condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul – PRI 1 e condicionamento em solução de etileno (500 mg L<sup>-1</sup> de Ethrel) sob irradiação com luz monocromática azul – PRI 2. Para obtenção das condições de luminosidade no

interior da câmara de germinação tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.), a luz azul foi proveniente de seis lâmpadas fluorescentes com intensidade máxima de 440 nm (MIAO *et al.*, 2019).

A solução de etileno (500 mg L<sup>-1</sup> de Ethrel) foi obtida por diluição em água deionizada. Para tanto, foi utilizado o ácido 2-cloroetilfosfônico (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ClO<sub>3</sub>P), produto comercial Ethrel a 24% i.a. (ingrediente ativo Etefom) com massa molar de 144,5 g mol<sup>-1</sup> e densidade de 1,41 g cm<sup>-3</sup> (VASCONCELOS *et al.*, 2015). A temperatura de 25 °C foi ajustada de acordo com Pereira *et al.* (2015) e Tesfay *et al.* (2016) e obtidas a partir de programação do termostato das câmaras de germinação tipo B.O.D., mantendo-se a umidade relativa em 100% e fotoperíodo de 24 h.

Imediatamente após o processo de assepsia, 100 sementes foram alocadas em caixas plásticas, tipo Gerbox®, medindo 11 x 11 x 3,5 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente. O substrato no interior das caixas foi constituído de duas camadas de folha de papel ‘germitest’ umedecidas com as soluções correspondentes a cada condicionamento, em volume correspondente a aproximadamente 2,5 vezes a sua massa seca (FERREIRA *et al.*, 2017).

As caixas contendo as sementes foram acondicionadas em câmaras de germinação tipo B.O.D. adaptadas com painéis de LED para fornecimento das condições de luminosidade. O tempo de aplicação do condicionamento foi de 24 h, período necessário para embebição das sementes sem que haja a conclusão do processo de germinação (GUIMARÃES *et al.*, 2008). Posteriormente, as sementes foram transferidas para caixas Gerbox® sem tampa, com duas camadas de papel germitest secas, e submetidas à secagem nas mesmas condições de luminosidade e temperatura utilizadas durante condicionamento.

### **4.3. Condução em câmara de crescimento tipo Fitotron (Etapa II)**

#### **4.3.1. Formação de mudas sob imposição dos estresses térmico e hídrico**

Sementes obtidas do condicionamento na Etapa I foram semeadas em vaso de polietileno com capacidade volumétrica de 300 cm<sup>3</sup> preenchido com substrato constituído de solo arenoso e humos na proporção de 3:1 (m/m) com umidade próxima da capacidade de campo. Os vasos contendo as sementes foram transferidos para a câmara de crescimento tipo Fitotron com temperatura ajustada para variação em condição de estresse térmico (40 °C dia/35 °C noite), umidade relativa do ar ajustada

para 40% durante o dia e 50% durante a noite, com fotoperíodo de 12 h. Em virtude da disponibilidade de apenas uma câmara Fitotron, estes procedimentos foram repetidos no tempo para a condição de variação de temperatura sem estresse térmico (30 °C dia/25 °C noite) e umidade relativa do ar ajustada para 50% durante o dia e 60% durante a noite.

O manejo da umidade do substrato foi realizado em turno de rega diário, utilizando-se do método de pesagens (SILVA *et al.*, 2020), em que foi reposta a água perdida por evapotranspiração da cultura – ET<sub>c</sub> no dia que antecedeu cada evento de irrigação.

Para tanto, foi obtida a massa dos vasos de polietileno preenchidos com substrato seco (MSS, em kg). Em seguida, na base de cada vaso, foi acoplado um vaso de menor tamanho, com 80 cm<sup>3</sup> (dreno). Posteriormente, o substrato foi saturado com água de abastecimento local com volume inicial (VAI, em L) correspondente a 75% (v/m) da massa do substrato seco e os vasos acondicionados em bandejas de polietileno, sendo o sistema coberto com plástico preto e abrigado da luz em ambiente climatizado a 20 °C para evitar perda de água por evaporação. Transcorridas 24 h, o volume de água drenado (VAD, em L) foi coletado e quantificado. Em seguida, foi obtida a massa dos vasos com o solo na capacidade de campo (MSC, em kg).

A partir dos dados obtidos, foi calculado o volume de água no substrato em capacidade de campo (VAC, em L), dado pela Equação 1.

$$VAC = VAI - VAD \quad (1).$$

Em que:

VAC - volume de água no substrato em capacidade de campo, L;

VAI - volume inicial, L; e

VAD - o volume de água drenado, L.

A cada dia foi realizada a pesagem dos vasos de modo a se obter a massa do substrato após evapotranspiração (MSET, kg). A massa de água perdida por evapotranspiração da cultura (MAET<sub>c</sub>, kg) foi calculada pela Equação 2.

$$MAET_c = MSC - MSET \quad (2).$$

Em que:

MAETc - massa de água perdida por evapotranspiração da cultura, kg;

MSC - massa dos vasos com o substrato na capacidade de campo, kg; e

MSET - massa do substrato após evapotranspiração, kg.

Posteriormente, o volume de água perdido por evapotranspiração da cultura (ETc, em L) para reposição do substrato à condição de capacidade de campo foi calculado utilizando-se a Equação 3.

$$ETc = (VAC * MAETc) / MSC \quad (3).$$

Em que,

ETc - volume de água perdido por evapotranspiração da cultura, L;

VAC - volume de água no substrato em capacidade de campo, L;

MAETc - massa de água perdida por evapotranspiração, kg; e

MSC - massa dos vasos com o substrato na capacidade de campo, kg.

Transcorridos 15 dias após e emergência (DAE), foi realizado desbaste deixando uma muda por vaso. Aos 18 DAE, foi efetuada a imposição do estresse hídrico pela reposição de 50% do volume de água perdido por evapotranspiração da cultura (ETc, em L), enquanto que as parcelas não submetidas ao estresse hídrico foram conduzidas sob irrigação com 100% do ETc. Cocomitante, o termostato e os controles digitais da câmara de crescimento tipo Fitotron foram ajustados para a condição de estresse térmico.

#### **4.3.2. Delineamento experimental e análise estatística**

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 3, sendo o fator déficit hídrico constituído de dois volumes de água perdido por evapotranspiração da cultura (ETc = 50% e ETc = 100%), o fator temperatura constituído de dois níveis (40 °C dia/35 °C noite e 30 °C dia/25 °C noite (controle)) e o fator condicionamento de sementes constituído de um controle - PRI 0 (sementes não condicionadas), condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul – PRI 1 e condicionamento em solução de etileno (500 mg L<sup>-1</sup> de Ethrel) sob irradiação com luz azul – PRI 2, com cinco repetições. A unidade experimental foi constituída de um vaso de polietileno de 300 cm<sup>3</sup> com uma muda de *M. oleifera*.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965). Posteriormente, os dados foram padronizados e submetidos à análise exploratória de componentes principais (ACP), variância multivariada (MANOVA) e teste de Scott-Knott para comparação das médias (GOVAERTS *et al.*, 2007; HAIR JR. *et al.*, 2009), utilizando-se do *software* Statistica v. 7.0 (STATSOFT, 2004).

## 5. CAPÍTULO 1

### 5.1. Luz azul e etileno melhoram as características fisiológicas e bioquímicas em *Moringa oleifera* sob estresses abióticos

**Resumo:** O desenvolvimento e a fisiologia das plantas são fortemente influenciados pelo espectro de luz disponível, o qual controla várias respostas funcionais e estruturais nas plantas, o que comprova a necessidade de pesquisar a importância da luz azul no condicionamento de sementes. Considerando que a relação entre a luz azul e o etileno nas mudanças fisiológicas e bioquímicas de mudas de *Moringa oleifera* Lam. sob estresses abióticos, ainda necessita de maiores investigações, objetivou-se com este estudo avaliar a integridade de membranas celulares, o status hídrico, os indicadores de ajustamento osmótico, o mecanismo antioxidativo, as trocas gasosas, a eficiência fotoquímica e o acúmulo de matéria seca de mudas de *M. oleifera* obtidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de déficit hídrico e alta temperatura. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 3, sendo dois níveis de reposição da água no solo perdida por evapotranspiração da cultura – ETc (50 e 100%), duas condições térmicas, uma com estresse (40 °C dia/35 °C noite) e a outra sem estresse (30 °C dia/25 °C noite) e três condicionamentos de sementes constituídos de um controle - PRI 0 (sementes não condicionadas), condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul – PRI 1 e condicionamento em solução de etileno (500 mg L<sup>-1</sup> de Ethrel) sob irradiação com luz azul – PRI 2, com cinco repetições. Verificou-se que o estresse térmico, ou seja, variação de temperatura de 40 °C dia/35 °C noite provocou aumento da atividade das enzimas catalase nas folhas e acúmulo de proteínas solúveis totais nas raízes. O estresse hídrico em sementes irradiadas com luz azul sem estresse térmico aumentou a eficiência de carboxilação, eficiência máxima de uso de água e eficiência

instantânea de uso de água. Os estresses abióticos, térmico e hídrico prejudicaram as trocas gasosas, o ajustamento osmótico, a eficiência fotoquímica e o acúmulo de matéria seca das mudas de *Moringa oleifera* cultivadas em câmara de crescimento fitotron. As mudas geradas de sementes condicionadas em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul melhoram as características fisiológicas e bioquímicas para maior tolerância aos estresses abióticos.

**Palavras-chave:** ajustamento osmótico, eficiência fotoquímica, trocas gasosas.

### 5.1.1. Introdução

A *Moringa oleifera* é uma planta que ao longo da história, tem sido cultivada e utilizada por diversas culturas, com propósitos culinários e medicinais. Devido sua tolerância à seca, é cultivada em zonas áridas e semiáridas como Arabia Saudita (AL DAYEL & EL SHERIF, 2021) e no Nordeste do Brasil. A *M. oleifera* é utilizada para fins domésticos como no tratamento de água e efluentes (OLDONI *et al.*, 2021). Devido ao seu alto valor nutricional, a indústria vem utilizando a árvore na alimentação humana e animal, proporcionando desenvolvimento de áreas rurais, promovendo segurança alimentar, com práticas agrícolas sustentáveis (SILVA *et al.*, 2020). A *M. oleifera* é de grande importância para o semiárido brasileiro, devido a sua capacidade de sobrevivência e produção em zonas de baixa umidade do solo, tolerância a elevadas temperaturas, alta taxa de evaporação e grandes variações de precipitação (FARIAS, 2008).

Apesar da cultura apresentar plasticidade fenotípica e genotípica para se adaptar aos ambientes, a ocorrência de estresses abióticos como aqueles causados por escassez de água no solo e temperaturas elevadas, pode limitar o crescimento. Para induzir tolerância ao déficit hídrico causado pela irrigação deficitária com baixos níveis de reposição da ETc e altas temperaturas, pode-se recorrer ao condicionamento de sementes de *M. oleifera*, por exemplo, utilizando-se de irradiação com luzes monocromáticas (URVA *et al.*, 2017), pois a cultura apresenta maior germinação e crescimento em resposta ao aumento do nível de radiação luminosa (AHMED *et al.*, 2014), além de acumular flavonoides e compostos fenólicos quando expostas à radiação luminosa solar em comparação às plantas sombreadas (IDRIS *et al.*, 2019). A luz é a principal fonte de energia para a fotossíntese e mediadora da fotomorfogênese. Afeta



significativamente o crescimento, desenvolvimento, morfogênese e outras respostas fisiológicas das plantas (ILIĆ & FALLIK, 2017). Além da intensidade e do fotoperíodo nas condições de luz, a qualidade da luz também é um fator essencial que modula o crescimento das plantas e a fotossíntese (JING *et al.*, 2018).

Além de radiação luminosa, o condicionamento de sementes com hormônios vegetais, dentre eles o etileno (ET) melhora os processos metabólicos anteriores à germinação, aumentando assim a porcentagem e a taxa de germinação e melhorando o crescimento das mudas sob estresse (RHAMAN *et al.*, 2021). É considerável destacar que, apesar da importância da luz e do etileno para as plantas, pouco se sabe acerca dos efeitos isolados e da interação entre esses dois fatores quando utilizados via condicionamento de sementes de *M. oleifera*, principalmente no que concerne às respostas das mudas quando submetidas aos estresses hídrico e térmico.

Com base no exposto, objetivou-se avaliar a integridade de membranas celulares, o status hídrico, os indicadores de ajustamento osmótico, o mecanismo antioxidativo, as trocas gasosas, a eficiência fotoquímica e o acúmulo de matéria seca de mudas de *M. oleifera* produzidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de déficit hídrico e alta temperatura.

## **5.1.2. Material e Métodos**

### **5.1.2.1. Determinação do extravasamento de eletrólitos intracelulares**

Para determinar o extravasamento de eletrólitos (EE) utilizou-se um perfurador de cobre a fim de se obter, por unidade experimental, cinco discos foliares de área 113 mm<sup>2</sup> cada, os quais foram lavados e acondicionados em placas de Petri contendo 20 mL de água deionizada. Após fechadas, as placas foram acondicionadas à temperatura de 25 °C, por 2 h sendo, em seguida, aferida a condutividade inicial do meio (Xi) usando condutivímetro de bancada (W12D, BEL ENGINEERING, Itália). Posteriormente as placas foram submetidas à temperatura de 80 °C, por 90 min, em estufa de secagem e, após resfriamento do conteúdo das mesmas, aferiu-se a condutividade final (Xf). O extravasamento de eletrólitos foi expresso como a porcentagem de condutividade em relação à condutividade total após o tratamento por 90 min a 80 °C utilizando a relação descrita por Brito *et al.* (2011):

$$EE = \frac{X_i}{X_f} \times 100. \quad (1).$$

Em que:

EE- extravazamento de eletrólitos intracelulares, %;

$X_i$  - condutividade elétrica inicial do meio,  $\text{dS m}^{-1}$ ;

e,

$X_f$  - condutividade elétrica final do meio,  $\text{dS m}^{-1}$ .

### 5.1.2.2. Determinação do conteúdo relativo de água na folha

Transcorridos 30 dias após emergência (DAE) das plântulas, folíolos totalmente expandidos foram identificados e coletados. Posteriormente, foram retirados discos foliares com  $113 \text{ mm}^2$  utilizando-se de um vazador de cobre. O conteúdo relativo de água na folha (CRA) foi determinado utilizando-se da metodologia descrita por Brito *et al.* (2011).

Para tanto, 10 discos foliares foram pesados para determinação da massa fresca dos discos (MFD) e imediatamente colocados em placas de Petri contendo  $10 \text{ cm}^3$  de água deionizada. Em seguida, as placas foram acondicionadas em câmara tipo B.O.D. com temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e luminosidade de 328 Lux (aferido com luxímetro, modelo LD-400, marca Instrutherm). Após 4 h de exposição, os discos foram secos com auxílio de papel filtro e pesados para obtenção da massa túrgida dos discos (MTD). Esses, foram acondicionados em sacos de papel e mantidos em estufa de circulação forçada de ar a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  por 48 h e pesados para determinação da matéria seca dos discos (MSD), sendo o CRA quantificado utilizando-se da seguinte relação:

$$\text{CRA} = \left( \frac{\text{MFD} - \text{MSD}}{\text{MTD} - \text{MSD}} \right) \times 100 \quad (2).$$

Em que:

CRA - conteúdo relativo de água na folha, %;

MFD - massa da matéria fresca dos discos, g;

MSD - massa da matéria seca dos discos, g; e,

MTD - massa da matéria túrgida dos discos, g.

### 5.1.2.3. Avaliação das trocas gasosas

Foi feita a avaliação das trocas gasosas com um analisador de gás infravermelho (modelo GFS-3000). As variáveis avaliadas foram: taxa fotossintética (A); taxa de transpiração (E); condutância estomática (gs); concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci); fluorescência inicial (Fo); fluorescência máxima (Fm); taxa de transferência de elétrons (ETR); rendimento fotoquímico (YIELD); quenching não-fotoquímico (NPQ). Estas variáveis foram medidas na superfície superior da quarta folha totalmente expandida contada a partir do ápice da planta, no período da manhã (entre 8 e 10 h).

De posse dessas informações, foram determinadas: Eficiência momentânea do uso da água (EmUA): Através da razão entre a taxa fotossintética (A) e taxa de transpiração (E); eficiência instantânea do uso da água (EiUA): Através da razão entre a taxa fotossintética (A) e a condutância estomática; eficiência instantânea de carboxilação (EiCi): Através da razão entre taxa fotossintética (A) e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci).

#### **5.1.2.4. Determinação de fluorescência da clorofila a e eficiência quântica do fotossistema II**

Para estimar a fluorescência da clorofila a, foram avaliadas as seguintes variáveis: mínima intensidade da fluorescência (Fo), máxima intensidade da fluorescência (Fm), fluorescência variável (Fv) e máxima eficiência quântica do FSII (Fv/Fm). A máxima eficiência quântica do fotossistema II (FSII) foi determinada no terço médio da primeira folha totalmente expandida (sentido do ápice para a base da planta), utilizando um fluorômetro portátil (modelo GFS-3000). A partir dos valores de Fo (mínima intensidade da fluorescência), quando os centros de reações do FSII estavam abertos, e de Fm (máxima intensidade da fluorescência), quando os centros de reação do FSII estavam fechados, foi obtido a fluorescência variável (Fv).

#### **5.1.2.5. Prolina nos folíolos (PRO-F)**

A concentração de prolina livre (PRO-F) foi determinada pelo método colorimétrico, proposto por Bates *et al.* (1973). Foram pesados 0,25 g de tecido foliar fresco e macerados em ácido sulfossalicílico a 3% (5 mL), o qual foi centrifugado a 2000 rpm por 10 min. Posteriormente, o sobrenadante foi retirado e armazenado em tubos para centrífuga de 2 mL, para posterior determinação da concentração de PRO-F.

Na sequência, tubos de ensaio rosqueáveis foram usados para adição da mistura: extrato + ninhidrina ácida + ácido acético glacial, na proporção 1:1:1 (volume total 3 mL). Após a mistura das substâncias, os tubos foram submetidos ao banho-maria por 1 h (100 °C), para o desenvolvimento da cor rosa/vermelha (dependendo da concentração de prolina no extrato).

Em seguida, os mesmos tubos foram resfriados em banho de gelo para estabilizar a reação e posteriormente foram adicionados 2 mL do reagente tolueno. Na sequência, os tubos foram agitados em vórtex por 20 s e mantidos em repouso por 10 min, até a separação da solução em duas fases (cromóforo e translúcida). A leitura do sobrenadante ocorreu em espectrofotômetro (modelo Nova 2000 UV) (520 nm) e o tolueno puro foi usado como branco, para zerar o aparelho. A concentração de prolina livre foi quantificada com base na curva padrão de L- prolina e expressa em  $\mu\text{mol}$  por g de matéria fresca.

#### **5.1.2.6. Proteínas solúveis totais (PST)**

Para extração de proteínas solúveis totais nos folíolos (PST-F) como nas raízes (PST-R) foram utilizados 200 mg da massa fresca de folhas e da massa fresca de raiz, seguindo os seguintes passos para extração: o material vegetal foi macerado com o auxílio de gral e pistilo gelados, em que foram adicionados 3,0 mL de tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 7,0 + EDTA 1 mM) e, em seguida, colocado em tubos do tipo eppendorf para posterior centrifugação (5000 força g), por um período de 10 min, em centrífuga refrigerada (4 °C).

Por fim, o precipitado foi descartado e o sobrenadante armazenado em freezer (-20 °C) para realização das análises no mesmo dia. Após a extração, a concentração de PST foi determinada segundo a metodologia de Bradford (1976); as alíquotas dos extratos proteicos foram colocadas em cubeta de quartzo, acrescidas do reagente de Bradford. A proporção de volume para a quantificação foi de 22,7  $\mu\text{L}$  do extrato e 700  $\mu\text{L}$  reagente de Bradford. Em seguida, a solução foi agitada manualmente de forma delicada, para evitar a desnaturação das proteínas, e por fim realizada a leitura em espectrofotômetro (modelo Nova 2000 UV) a 595 nm de absorbância, utilizando a curva padrão de albumina como referência com os dados expressos em mg PST g de matéria fresca.

#### **5.1.2.7. Açúcares solúveis totais (AST)**

O extrato para aferição de AST-F foi obtido a partir de 200 mg da massa fresca de folhas e para aferição de AST-R foi usado 200 mg da massa fresca de raiz, maceradas em 2 mL de etanol 80% (v/v). Após a maceração, os tubos de centrífuga com capacidade para 2 mL, foram submetidos ao banho-maria (60 °C), por 30 min, e transferidos à centrífuga (2000 rotação por minuto) para obtenção e coleta do sobrenadante. Retirado o sobrenadante, ao mesmo tubo, foram adicionados mais 2 mL de etanol (80%), para uma nova extração, seguido de novo aquecimento em banho-maria e posterior transferência para a centrífuga. Os sobrenadantes das duas lavagens foram misturados em tubos tipo Falcon e armazenados em dois tubos de centrífuga, com capacidade para 2 mL, totalizando 4 mL do extrato por amostra.

A concentração de AST foi determinada pelo método de “fenol-sulfúrico” descrito por Dubois *et al.* (1956). Para realização do ensaio, alíquotas de 100 µL da amostra foram adicionadas a tubos de ensaio, completados com 400 µL de água destilada (diluição de cinco vezes), acrescido de 500 µL de Fenol (5%), com posterior agitação. Para iniciar a reação, foram adicionados 2500 µL (2,5 mL) de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Logo após, os tubos foram agitados novamente para homogeneização da reação. Após os mesmos permaneceram por 20 min em temperatura ambiente para posterior leitura, em espectrofotômetro (modelo Nova 2000 UV) a 490 nm de absorbância. A concentração de AST foi quantificada de acordo com a curva padrão de glicose, com resultados expressos em mg AST g matéria fresca.

#### **5.1.2.8. Superóxido dismutase (SOD)**

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD-F) e (SOD-R) foi determinada com base na capacidade de inibição da fotorredução do cloreto de nitrotetrazólio azul (NBT), pela enzima presente no extrato vegetal. Alíquotas de 50 µL do extrato enzimático foram adicionados em tubos de ensaio, protegidos da luz, contendo o meio de reação (1,5 mL), composto por tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 7) e acrescido de EDTA (0,1 mM), metionina (13 mM), e NBT (75 µM). Em seguida, a reação foi iniciada pela adição de riboflavina (7 µM). Posteriormente os tubos foram alocados em uma caixa de reação vedada, com iluminação interna (35 watts) e temperatura ambiente, por 15 min. Posteriormente, as leituras do branco do

claro foram realizadas (os quais representam 100% da redução do NBT). Todas as leituras das soluções foram realizadas em espectrofotômetro (modelo Nova 2000 UV) regulado em 560 nm de absorvância, cuja atividade foi expressa em U por min por mg de proteína (BEAUCHAMP & FRIDOVICH, 1971).

#### 5.1.2.9. Catalase (CAT)

A atividade da enzima (CAT-F) e (CAT-R) foi quantificada de acordo com Kar e Mishra (1976), a qual é definida com base no consumo de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) pela enzima presente no extrato. A reação teve início pela adição do extrato enzimático (150 µL) na cubeta de quartzo, contendo o meio de reação (2,95 mL), composto por tampão fosfato de potássio (50 mM com pH 7) e acrescido de peróxido de hidrogênio (20 mM). Após uma leve agitação, a solução foi levada ao espectrofotômetro (modelo Nova 2000 UV), regulado em 240 nm, cujos decréscimos da absorvância foram observados durante 2 min e as leituras realizadas a cada 10 s. A Equação de Lambert-Beer ( $A = \epsilon \cdot b \cdot c$ ), em que: A = diminuição da absorvância (média em triplicata);  $\epsilon$  = coeficiente de extinção molar (39,4 mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>); b = comprimento do caminho óptico (1 cm); e c = concentração da enzima expressa em mol L<sup>-1</sup>, foi usada. A atividade da CAT foi expressa em µmol de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por min por mg de proteína.

#### 5.1.2.10. Taxa assimilatória líquida

A Taxa assimilatória líquida (TAL) foi determinada pela equação proposta por Briggs *et al.* (1920) e representa o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e aquele perdido através da respiração.

$$TAL = \frac{TCR}{RAF} \quad (3).$$

Em que:

TAL- taxa assimilatória líquida, g dia<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup>;

TCR- taxa de crescimento relativo, g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>; e,

RAF- razão da área foliar, cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>.

#### 5.1.2.11. Matéria seca total da planta

Posteriormente, aos 35 dias após semeadura (DAS), as plantas foram seccionadas em folhas, caule, ramos e raiz. O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e conduzido à estufa de circulação de ar forçado a 70 °C até atingirem massa constante, após foram pesados em balança analítica e foi determinada a matéria seca total (MST, em g) que foi dado pelo somatório das matérias secas.

### 5.1.3. Resultados e Discussão

Os dados das médias originais de todas as variáveis avaliadas neste estudo estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, a partir dos quais foram feitas as análises exploratórias de componentes principais e variância multivariada.

**Tabela 1.** Médias das variáveis avaliadas em função da interação entre os condicionamentos, o estresse hídrico e o estresse térmico em mudas de *Moringa oleifera*.

Combinações	Média ± Erro Padrão					
	EE	CRA	MST	PRO-F	PST-F	PST-R
0-S-30°	0,01±7E-4	79,81±0,33	1,03±0,01	650,88±10,71	8,85±0,03	0,92±0,05
0-S-40°	0,02±3E-4	111,88±1	0,53±0,01	27,25±1,04	2,78±0,06	3,50±0,16
0-C-30°	0,02±3E-4	83,72±0,79	0,56±0,01	796,05±2,16	3,28±0,04	2,38±0,12
0-C-40°	0,01±1E-3	99,75±0,37	0,31±2E-3	60,68±0,83	1,08±0,03	1,94±0,05
1-S-30°	0,01±2E-4	78,35±0,42	1,07±0,02	1467,09±7,79	3,45±0,04	1,58±0,07
1-S-40°	0,01±8E-4	95,37±0,58	0,49±0,01	28,11±0,79	4,08±0,06	3,87±0,20
1-C-30°	0,01±0	55,71±1,21	0,56±4E-3	486,84±4,06	2,64±0,03	2,69±0,18
1-C-40°	0,01±5E-4	98,80±0,47	0,34±0,01	55,39±0,97	2,85±0,01	6,11±0,24
2-S-30°	0,01±9E-4	83,80±0,54	1,10±8E-3	634,21±6,06	6,54±0,03	2,04±0,03
2-S-40°	0,01±9E-4	105,62±0,62	0,44±0,01	23,96±0,55	2,91±0,01	4,51±0,43
2-C-30°	0,01±8E-9	75,20±0,42	0,59±0,02	399,12±2,58	3±0,02	4,94±0,31
2-C-40°	0,02±1E-3	93,83±0,68	0,30±0,01	72,76±0,93	1,69±0,02	5,24±0,35
	AST-F	AST-R	SOD-F	SOD-R	CAT-F	CAT-R
0-S-30°	6,31±0,15	4,48±0,30	32,55±0,24	178,90±0,89	3,25±0,15	42,60±1,29
0-S-40°	3,83±0,24	5,39±0,33	89,75±1,57	86,46±1,07	11,15±0,68	18,67±0,58
0-C-30°	6,41±0,26	6,28±0,06	69,10±1,23	44,26±0,60	7,47±0,19	26,56±1,42
0-C-40°	6,17±0,14	4,93±0,20	180,92±5,13	138,98±1,54	16,47±0,53	14,81±0,90
1-S-30°	5,17±0,05	6,59±0,56	57,86±0,56	62,60±0,52	5,17±0,29	38,58±1,43
1-S-40°	4,04±0,11	3,96±0,35	47,79±0,56	72,22±1,03	5,59±0,12	4,78±0,53
1-C-30°	5,73±0,43	6,36±0,38	54,46±0,62	71,79±0,74	8,66±0,38	23,88±1,01
1-C-40°	4,54±0,17	6,68±0,48	63,48±0,60	44,99±0,63	8,31±0,34	5,80±0,63
2-S-30°	6,93±0,47	4,80±0,10	27,84±0,48	144,31±1,78	4,40±0,16	18,68±0,51
2-S-40°	4,19±0,14	6,08±0,55	49,33±0,56	59,91±0,50	8,13±0,30	3,61±0,11
2-C-30°	6,23±0,23	5,69±0,44	65,29±0,71	59,67±0,73	5,66±0,34	6,65±0,27
2-C-40°	4,77±0,29	6,71±0,59	91,47±1,86	56,98±0,30	11,05±0,64	3,21±0,27

PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 - condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul; S e C - sem e com déficit hídrico; 30 e 40° - sem e com estresse térmico.

Ver descrição das variáveis na Tabela 3

**Tabela 2.** Médias das variáveis avaliadas em função da interação entre os condicionamentos, o estresse hídrico e o estresse térmico em mudas de *Moringa oleifera*.

Combinações	Média ± Erro Padrão						
	A	gs	E	Ci	EmUA	EiUA	EiCi
0-S-30°	2,79±0,03	14,53±0,34	0,43±0,02	78,53±0,78	6,55±0,26	0,19±2E-3	0,04±4E-4
0-S-40°	3,13±0,06	33,97±0,16	1,10±0,09	233,07±3,47	2,91±0,23	0,09±1E-3	0,01±4E-4
0-C-30°	3,09±0,09	16±0,45	0,49±0,02	86,37±1,29	6,33±0,14	0,19±9E-4	0,04±1E-3
0-C-40°	2,67±0,07	20,83±0,05	0,67±0,01	181,33±2,68	3,97±0,17	0,13±3E-3	0,01±3E-4
1-S-30°	2,90±0,04	18,70±0,36	0,54±0,02	143,10±0,32	5,38±0,09	0,16±8E-4	0,02±3E-4
1-S-40°	3,63±0,11	39,07±0,54	1,42±0,05	238,07±2,06	2,56±0,08	0,09±2E-3	0,02±6E-4
1-C-30°	2,80±0,07	13,70±0,3	0,34±0,01	67,07±0,65	8,19±0,30	0,20±6E-3	0,04±1E-3
1-C-40°	1,86±0,08	12,87±0,37	0,48±0,02	153±1,09	3,90±0,04	0,14±6E-3	0,01±4E-4
2-S-30°	2,18±0,01	16±0,02	0,46±0,51	172,80±0,01	4,75±1,79	0,14±5E-3	0,01±2E-4
2-S-40°	4,42±0,10	44,90±0,67	1,37±0,05	230,40±0,49	3,24±0,15	0,10±9E-4	0,02±5E-4
2-C-30°	2,94±0,03	14,90±0,36	0,43±0,03	76,43±0,84	6,88±0,45	0,20±4E-3	0,04±6E-4
2-C-40°	3,07±0,02	29,57±0,39	0,93±0,02	216,77±0,63	3,32±0,07	0,10±2E-3	0,01±7E-5
	Fo	Fm	Fv/Fm	ETR	YIELD	NPQ	TAL35
0-S-30°	962,00±2,21	1058,67±2,03	0,09±1E-3	0,09±1E-3	39,13±0,53	2E-4±3E-4	4E-2±6,1E-4
0-S-40°	573,33±4,58	642±3,02	0,11±4E-3	0,11±0,01	46,36±0,95	0,01±3E-4	0,01±2E-4
0-C-30°	969±5,75	1076,33±1,1	0,10±5E-4	0,10±2E-3	43,77±0,98	2E-3±2E-4	4E-3±1E-3
0-C-40°	649,67±6,87	729,33±0,37	0,11±9E-4	0,11±3E-3	46,16±0,51	7E-3±3E-4	5E-3±8E-4
1-S-30°	943,67±2,24	1027±1,14	0,08±2E-3	0,08±1E-3	34,77±0,36	3E-3±3E-4	6E-3±7E-4
1-S-40°	507,33±20,26	582±4,97	0,13±6E-3	0,13±5E-3	52,38±0,78	0,02±6E-4	8E-3±9E-4
1-C-30°	817±0,95	898,33±2,42	0,09±3E-3	0,09±3E-3	38,46±0,79	0,01±3E-4	3E-3±8E-4
1-C-40°	493±1,92	546,67±11,59	0,11±2E-3	0,11±4E-3	50,22±1,61	0,01±6E-4	4E-3±7E-4
2-S-30°	864±4,77	936,33±2,29	0,08±3E-3	0,08±1E-3	34,85±0,53	6E-3±5E-4	0,01±1E-3
2-S-40°	786,33±5	891,67±2,42	0,12±3E-3	0,09±2E-3	50,24±0,66	0,01±6E-4	0,01±6E-4
2-C-30°	853,33±4,83	956,67±1,32	0,11±1E-3	0,11±1E-3	46,08±0,60	1E-3±3E-4	4E-3±3E-4
2-C-40°	628,67±3,04	738,33±3,29	0,11±3E-3	0,11±3E-3	45,52±1,18	0,01±2E-4	5E-3±1E-3

PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 - condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul; S e C - sem e com déficit hídrico; 30 e 40° - sem e com estresse térmico.

Ver descrição das variáveis na Tabela 3

Os quatro primeiros componentes principais (CPs) com autovalores maiores que um ( $\lambda > 1$ ) representam 83,83% da variância amostral total ( $s^2$ ) e foram formados a partir da combinação linear das 26 variáveis fisiológicas e bioquímicas originais coletadas de mudas de *M. oleifera* oriundas de sementes submetidas ao condicionamento (PRI) e cultivadas em fitotron sob combinação de estresses hídrico (ESH) e térmico (EST). O CP<sub>1</sub> representa 51,74% da  $s^2$  e foi composto pela combinação de conteúdo relativo de água nos folíolos (CRA), matéria seca total da muda (MST), condutância estomática ao vapor de água (GH<sub>2</sub>O), transpiração (E), concentração interna de carbono na câmara subestomática (Ci), eficiência momentânea do uso da água (EmUA), eficiência instantânea da carboxilação (EiCi), fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), eficiência quântica do FSII (Fv/Fm), rendimento fotoquímico (YIELD), quenching não-fotoquímico (NPQ), teor de prolina livre nos



folíolos (PRO-F), proteínas solúveis totais nos folíolos (PST-F), proteínas solúveis totais nas raízes (PST-R), açúcares solúveis totais nos folíolos (AST-F) e atividade da enzima catalase nos folíolos (CAT-F) e nas raízes (CAT-R). O CP<sub>2</sub> representa 14,38% da s<sup>2</sup> e foi formado pela combinação de matéria seca total da planta (MST), teor de proteínas solúveis totais nos folíolos (PST-F), atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD-F) e catalase nos folíolos (CAT-F) e taxa assimilatória líquida (TAL). O CP<sub>3</sub> representa 9,64% da s<sup>2</sup> e foi composto pela taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCi). O CP<sub>4</sub> representa 8,06% da s<sup>2</sup> e foi formado pela combinação do extravazamento de eletrólitos (EE), teor de proteínas solúveis totais nas raízes (PST-R) e atividade da enzima superóxido dismutase nos folíolos (SOD-F). As variáveis, taxa de transferência de elétrons (ETR), teor de açúcares solúveis totais nas raízes (AST-R) e atividade da enzima superóxido dismutase nas raízes (SOD-R) não se associaram a nenhum dos CPs e, portanto, foram excluídas da ACP e tratadas como variáveis complementares. Houve uma interação significativa entre as combinações do PRI, ESH e EST nos quatro CPs, conforme resultados da MANOVA (Tabela 1).

**Tabela 3.** Correlação entre variáveis originais e componentes principais, autovalores, variância explicada e acumulada e probabilidade de significância do teste de hipótese.

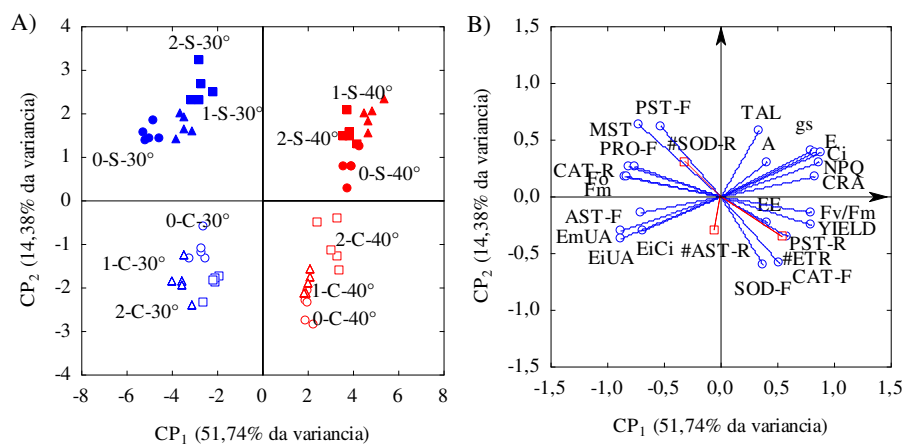
VA – Variáveis analisadas	Componentes Principais			
	CP <sub>1</sub>	CP <sub>2</sub>	CP <sub>3</sub>	CP <sub>4</sub>
EE - Extravazamento de eletrólitos	0,41	-0,23	-0,30	0,54*
CRA - Conteúdo relativo de água	0,82*	0,17	0,19	0,19
MST - Matéria seca total da plante	-0,72*	0,64*	0,16	0,01
A - Taxa fotossintética	0,40	0,31	-0,75*	0,32
gs - Condutância estomática ao vapor de água	0,80*	0,41	-0,35	0,19
E - Transpiração	0,84*	0,39	-0,30	0,14
Ci - Carbono interno	0,88*	0,38	0,19	0,12
EmUA - Eficiência momentânea do uso da água	-0,87*	-0,31	-0,24	-0,08
EiUA - Eficiência instantânea do uso da água	-0,87*	-0,37	-0,21	-0,12
EiCi - Eficiência instantânea da carboxilação	-0,69*	-0,30	-0,60*	-0,01
Fo - Fluorescência inicial	-0,85*	0,19	-0,28	0,29
Fm - Fluorescência máxima	-0,82*	0,17	-0,32	0,30
Fv/Fm - Eficiência quântica do FSII	0,79*	-0,13	-0,36	-0,06
YIELD - Rendimento fotoquímico	0,80*	-0,25	-0,30	-0,18
NPQ - Quenching não-fotoquímico	0,86*	0,31	-0,07	-0,13
PRO-F - Teor de prolina livre nos folíolos	-0,81*	0,26	0,03	0,26
PST-F - Proteínas solúveis totais nos folíolos	-0,53*	0,62*	0,02	-0,27
PST-R - Proteínas solúveis totais nas raízes	0,59*	-0,34	-0,17	-0,53*
AST-F - Açúcares solúveis totais nos folíolos	-0,70*	-0,15	0,20	0,09
SOD-F - Superóxido dismutase nos folíolos	0,37	-0,59*	0,34	0,56*
CAT-F - Catalase nos folíolos	0,52*	-0,58*	0,28	0,46
CAT-R - Catalase nas raízes	-0,76*	0,26	0,10	0,38
TAL - taxa assimilatória líquida	0,33	0,58*	0,33	0,08
#ETR - Taxa de transferência de elétrons	0,55*	-0,36	-0,08	-0,11

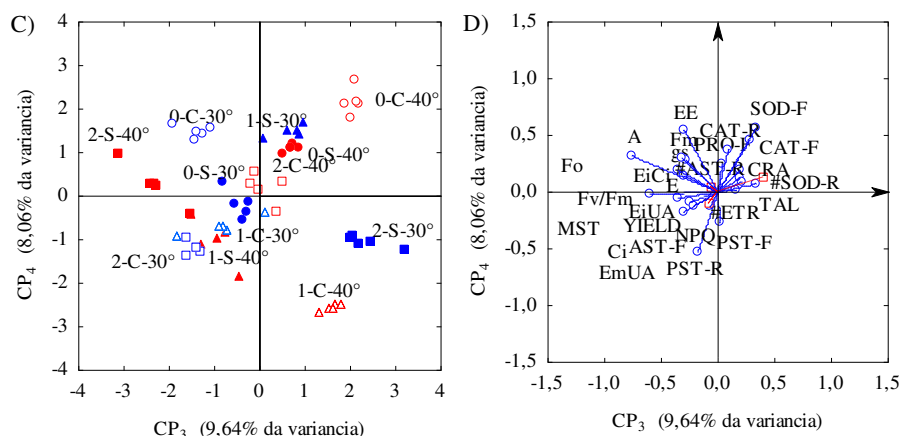
#AST-R - Açúcares solúveis totais nas raízes	-0,05	-0,30	-0,06	0,04
#SOD-R - Superóxido dismutase nas raízes	-0,31	0,31	0,41	0,13
$\lambda$ – Autovalores	11,90	3,31	2,22	1,85
S <sup>2</sup> (%) – Variância total	51,74	14,38	9,64	8,06
S <sup>2</sup> (%) – Porcentagem de variância acumulada	51,74	66,12	75,77	83,83
MANOVA	Probabilidade de significância (p valor)			
Teste de Hotelling para Priming - PRI	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Teste de Hotelling para Estresse hídrico - ESH	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Teste de Hotelling para Estresse térmico - EST	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Teste de Hotelling para interação PRI x ESH	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Teste de Hotelling para interação PRI x EST	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Teste de Hotelling para interação ESH x EST	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Teste de Hotelling para interação PRI x ESH x EST	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01

\*Variáveis consideradas na formação do Componente principal com coeficiente de correlação  $\geq 0,5$ .

#Variáveis complementares excluídas da análise de componentes principais.

Na projeção bidimensional dos quatro primeiros CPs (Figuras 1A, B, C e D), observou-se que no CP<sub>1</sub> o estresse térmico (EST) foi o fator predominante para distinguir as mudas de *M. oleifera*, enquanto que no CP<sub>2</sub> o estresse hídrico (ESH) predominou. No CP<sub>1</sub>, verificou-se que, independentemente do condicionamento (PRI), o EST desencadeou um processo no qual as mudas tiveram redução de MST, EmUA, EiUA, EiCi, Fo, Fm, PRO-F, PST-F, AST-F e CAT-R, e aumento de CRA, GH<sub>2</sub>O, E, Ci, Fv/Fm, YIELD, NPQ, PST-R, CAT-F e ETR. No CP<sub>2</sub>, observou-se que, independentemente do PRI, o ESH desencadeou um processo no qual as mudas tiveram redução de MST, PST-F e TAL, e aumento de SOD-F e CAT-F. No CP<sub>3</sub>, foi notado um processo no qual o aumento da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) provoca aumento na eficiência instantânea da carboxilação (EiCi). No CP<sub>4</sub>, foi verificado um processo no qual o aumento do extravasamento de eletrólitos (EE) está associado à maior atividade da enzima SOD-F e redução do teor de AST-F nos folíolos das mudas de *M. oleifera*.





○ PRI 0 sem EST com ESH. △ PRI 1 sem EST com ESH. □ PRI 2 sem EST com ESH. ○ PRI 0 com EST com ESH.  
 △ PRI 1 com EST com ESH. □ PRI 2 com EST com ESH. ● PRI 0 sem EST sem ESH. ▲ PRI 1 sem EST sem ESH.  
 ■ PRI 2 sem EST sem ESH. ● PRI 0 com EST sem ESH. ▲ PRI 1 com EST sem ESH. ■ PRI 2 com EST sem ESH.  
 PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 – condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul; S e C – sem e com déficit hídrico; 30 e 40° - sem e com déficit térmico; ESH - Estresse hídrico; EST - Estresse térmico.

Ver descrição das variáveis das Figuras 1B e D na Tabela 3

**Figura 1.** Projeção bidimensional de pontuações fatoriais (A e C) e variáveis (B e D) nos primeiros quatro componentes de interação principais (CPs 1, 2, 3 e 4) em mudas de *Moringa oleifera*.

No CP<sub>1</sub> as plantas se agruparam por estresse. O EST provocou aumento nos valores das variáveis CAT-F, PST-R, YIELD, Fv/Fm, CRA, NPQ, Ci, E, gs e A, e diminuição dos valores das variáveis EiUa, EiCi, EmUa, AST-F, Fm, Fo, CAT-R e PRO-F. As plantas geralmente aumentam a atividade das enzimas antioxidantes, como a CAT e o acúmulo de PST, bem como de compostos antioxidantes sob alta temperatura (NOTUNUNU *et al.*, 2022). Essas enzimas são consideradas muito sensíveis a condições de estresse abiótico e servem como marcadores de estresse (GAO *et al.*, 2008). Neste estudo foi observado aumento da atividade da catalase nas folhas (CAT-F) e acúmulo de proteínas solúveis nas raízes (PST-R) sob EST e ESH combinados, o que indica ativação do mecanismo antioxidativo durante o período com baixa disponibilidade de água e alta temperatura, sobretudo pelo aumento das trocas gasosas (gs, E, A e Ci) e dos indicadores de eficiência quântica dos PSII (Fv/Fm, YIELD e NPQ).

Apresenta-se a seguir a descrição das abreviaturas que serão utilizadas adiante:  
 PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 – condicionamento

em solução de etileno sob irradiação com luz azul; S e C – sem e com déficit hídrico; 30 e 40°C - sem e com estresse térmico.

Segundo Lawlor e Tezara (2009), o aumento da concentração interna de carbono (Ci) provoca uma redução progressiva da taxa fotossintética até se tornar zero. Entre as causas para este efeito, foi citada a diminuição da eficiência da carboxilação (EiCi) causada pela inibição direta do aparelho fotossintético (SHIRKE & PATHRE, 2004; OLIVER *et al.*, 2009). Quando as plantas estavam submetidas ao EST e não submetidas ao ESH, o PRI 1-S-40° aumentou as variáveis de trocas gasosas. Considerando as plantas submetidas aos EST e ESH o PRI 2-C-40° aumentou as variáveis PST-R, YIELD, EE, Fv/Fm, CRA, NPQ, Ci, E, GH<sub>2</sub>O e A em relação aos outros PRI. As diminuições no desempenho fotossintético em resposta ao estresse térmico geralmente são atribuídas a limitações estomáticas, aumento da respiração, fotorrespiração e/ou danos causados pelo calor em diferentes partes do aparelho fotossintético (SAXE *et al.*, 2001). Os estudos indicam que as variáveis de trocas gasosas podem aumentar em alta temperatura, ser independente da temperatura ou diminuir em temperatura mais alta (WAHID *et al.*, 2007; COPOLOVICI *et al.*, 2012; KRAUSE *et al.*, 2015; PAZOUKI *et al.*, 2016; MARIAS *et al.*, 2017; NIEVOLA *et al.*, 2017; TURAN *et al.*, 2019). Neste estudo, o estresse térmico combinado com o hídrico aumentou essas variáveis de trocas gasosas em mudas produzidas de sementes condicionadas com etileno sob irradiação com luz azul, o que denota a importância do condicionamento com esses fatores para modular a fisiologia de *M. oleifera* sobre estresses abióticos. O PRI 1-C-30° aumentou as variáveis EiCi, EmUA, EiUA, AST-F. A luz azul aumentou as eficiências de uso da água, o que também foi observado por Zhou *et al.* (2022) ao constatarem que a eficiência de uso da água das plantas de manjeriço e tomate foi otimizada sob combinação de luz azul (33%) quando comparadas com a luz branca. Esse resultado corrobora com o observado no presente estudo.

No CP2 plantas que passaram por EST e ESH (0-C-40°) aumentaram as atividades das enzimas SOD-F e CAT-F, o PRI 2-C-40° atenuou o efeito dos estresses porque não aumentou as atividades destas enzimas. O etileno participa em muitos aspectos da biologia vegetal, desde a germinação até a dormência, amadurecimento e senescência, e a regulação do fechamento estomático, bem como defesas contra estresses bióticos e abióticos (BLEECKER & KENDE, 2000, LIN *et al.*, 2009). A defesa contra estresses bióticos e abióticos foi observada quando as sementes foram condicionadas com etileno e luz azul (PRI 2-C-40°) neste trabalho.

No CP<sub>3</sub>, as sementes condicionadas com luz azul e etileno e submetidas ao EST (2-S-40°) aumentaram as variáveis A e EiCi. As sementes, condicionadas com luz azul e etileno, sem EST e ESH (2-S-30°), não condicionadas com EST e ESH (0-C-40°) e condicionadas com luz azul, EST e ESH (1-C-40 °) obtiveram os menores valores de A e EiCi. A luz azul promove aumento da taxa fotossintética (A) (WANG *et al.*, 2016).

No CP<sub>4</sub> as sementes não condicionadas e submetidas aos EST e ESH (0-C-40°) aumentaram a atividade da enzima SOD-F e reduziram o teor de PST-R, enquanto que no PRI 1-C-40° a irradiação das sementes com luz azul fez com que as mudas com EST e ESH obtivessem aumento do teor de PST-R e redução da atividade da enzima SOD-F e do EE. Sob condições de estresse abiótico, as vias metabólicas devem ser reconfiguradas para manter o metabolismo essencial, adaptar-se às condições de estresse predominantes e atender à demanda por agentes antiestresse, incluindo solutos compatíveis, antioxidantes e proteínas responsivas ao estresse (OBATA & FERNIE, 2012). As respostas das plantas a condições de estresse abiótico incluem alterações no metabolismo de aminoácidos (BATISTA-SILVA *et al.*, 2019). Como as principais funções dos aminoácidos são a síntese de proteínas, maior resistência aos estresses térmicos e hídricos, isso justifica o aumento das proteínas solúveis totais nas raízes.

#### **5.1.4. Conclusões**

Os estresses abióticos, térmico e hídrico prejudicaram as trocas gasosas, o ajustamento osmótico, a eficiência fotoquímica e o acúmulo de matéria seca das mudas de *Moringa oleifera* cultivadas em câmara de crescimento fitotron. As mudas geradas de sementes condicionadas em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul melhoram as características fisiológicas e bioquímicas para maior tolerância aos estresses abióticos.

## 6. CAPÍTULO 2

### 6.1. Luz azul e etileno melhoram a qualidade de mudas de *Moringa oleifera* sob estresses abióticos

**Resumo:** Rica em minerais e vitaminas, considerada alternativa importante para alimentação humana e ração animal, a *Moringa oleifera* Lam. destaca-se pela grande variedade de utilização sendo apresentada como cultura estratégica para cultivo no semiárido brasileiro por sua tolerância aos estresses abióticos. O presente estudo teve como objetivo avaliar os indicadores biométricos, teores de pigmentos cloroplastídicos, partição da fitomassa, índices de crescimento e de qualidade das mudas de *M. oleifera* produzidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz monocromática azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de déficit hídrico e alta temperatura. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 3, sendo dois níveis de reposição da água no solo perdida por evapotranspiração da cultura – ETc (50% e 100%), duas variações diurnas e noturnas de temperaturas (40 °C dia/35 °C noite e 30 °C dia/25 °C noite correspondendo ao controle, isto é, sem estresse térmico) e três condicionamentos de sementes constituídos de um controle - PRI 0 (sementes não condicionadas), condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul – PRI 1 e condicionamento em solução de etileno – PRI 2 (500 mg L<sup>-1</sup> de Ethrel) sob irradiação com luz azul, com cinco repetições. Verificou-se que o estresse térmico (40 °C dia/35 °C noite) reduziu os índices de crescimento e aumentou os teores de clorofilas e carotenoides. No condicionamento de sementes em solução com etileno sob irradiação com luz azul, as mudas submetidas ao estresse térmico ou ao estresse hídrico tiveram aumento dos teores de clorofilas e redução do crescimento. Mudas de *M. oleifera* produzidas a partir de sementes condicionadas em solução com etileno sob irradiação com luz azul, quando cultivadas na ausência dos estresses térmico e hídrico, apresentaram aumento no acúmulo de fitomassa. A ocorrência dos estresses abióticos, térmico e hídrico simultaneamente, provocou redução da qualidade de mudas de *Moringa oleifera* em câmara de crescimento fitotron. Porém, o condicionamento de sementes em solução com o fitormônio etileno sob irradiação com luz monocromática azul melhorou a qualidade das mudas submetidas a esses estresses abióticos.

**Palavras-chave:** indicadores biométricos, partição da fitomassa, pigmentos cloroplastídicos.

#### 6.1.1. Introdução

*Moringa oleifera* Lam. é uma planta amplamente cultivada em vários países do mundo, mas originalmente nativa da Índia, Paquistão, Bangladesh e outros países do Oriente Médio (ANWAR *et al.*, 2007; SAHAY *et al.*, 2017; OYEYINKA &

OYEYINKA, 2018). Devido a sua facilidade em se adequar a diferentes tipos de solo, pouca exigência hídrica, além de suas propriedades e funcionalidades, a *M. oleifera* é apresentada como uma relevante alternativa para o semiárido brasileiro onde as condições edáficas e climáticas podem ser limitantes aos cultivos (ÖZCAN, 2018). A planta pode ser aplicada em várias áreas do conhecimento, incluindo nutrição humana e ciência dos alimentos (OYEYINKA & OYEYINKA, 2018; SAUCEDO-POMPA *et al.*, 2018; BOLARINWA *et al.*, 2019), tratamento de água, (GUPTA *et al.*, 2018), produção de biodiesel (FRANÇA *et al.*, 2017; RAMAN *et al.*, 2018; OLADIPO & BETIKU, 2019) entre várias outras áreas e aplicações.

Apesar da *M. oleifera* ser considerada tolerante à seca, seu rendimento produtivo em regiões áridas e semiáridas pode ser reduzido, pois, a perda contínua de água por meio da evapotranspiração da cultura (ETc) provoca o fechamento dos estômatos e, subsequentemente, influencia o crescimento da planta. Com isso, diferentes mecanismos são acionados para manter a sobrevivência da planta podendo alterar indicadores biométricos, teores de pigmentos cloroplastídicos, partição da fitomassa, índices de crescimento e de qualidade das mudas (CHITIYO *et al.*, 2021).

As reduções do crescimento e reflexos na produção de *M. oleifera* podem estar relacionados ao fato de que a maioria dos processos fisiológicos ocorrem nas folhas, pois, as mudanças de dimensões dos folíolos podem ser indicadores importantes para estudo de tolerância da cultura ao déficit hídrico (MACÁRIO *et al.*, 2020). Uma alternativa para atenuar os efeitos da seca e da alta temperatura em plantas é o condicionamento de sementes antes da semeadura para induzir tolerâncias a esses estresses.

Embora os estudos com a *M. oleifera* estejam em ascensão, ainda existem muitas áreas promissoras de potencial inexplorado. Assim sendo, esta pesquisa teve como objetivo avaliar os indicadores biométricos, teores de pigmentos cloroplastídicos, partição da fitomassa, índices de crescimento e de qualidade das mudas de *M. oleifera* produzidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de déficit hídrico e alta temperatura.

### **6.1.2. Material e Métodos**

### 6.1.2.1. Mensuração do crescimento de mudas

Transcorridos 35 dias após a semeadura (DAS), foram realizadas avaliações morfológicas em intervalos de nove dias para mensuração do crescimento das mudas de *M. oleifera*. Para tanto, foram realizadas medidas de altura de planta (ALP em cm) e diâmetro do caule (DCA em mm), e número de folíolos (NFO). De posse desses dados, foi obtida a taxa de crescimento relativo (TCR  $\text{cm cm}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ) obtida por meio da relação descrita por Benincasa (2003), a saber:

$$\text{TCR} = (\text{Ln}M_2 - \text{Ln}M_1 / T_2 - T_1) \quad (1).$$

Em que:

TCR - taxa de crescimento relativo,  $\text{cm cm}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ;

Ln - logaritmo natural da medida de altura no tempo 1 ( $T_1$ ) e das medidas realizadas em intervalos de nove dias até a última avaliação ( $T_2$ ).

Após a realização das medidas morfológicas, foram medidos comprimento (L) e largura (W) dos folíolos os quais foram utilizados no modelo proposto por Macário *et al.* (2020) para estimar a área foliar (AF) pela Equação 2.

$$\text{AF} = 0.035 + 0.720 * \text{LW} \quad (2).$$

Em que:

AF - área foliar,  $\text{cm}^2$ ,

L – comprimento, cm; e,

W – largura, cm

A razão de área foliar (RAF), também conhecida como quociente de área foliar, foi obtida conforme a Equação 3, através da razão entre a área foliar sobre a matéria seca total da planta.

$$\text{RAF}_{35} = \frac{\text{AF}_{35}}{\text{MST}} \quad (3).$$

Em que:

RAF- razão de área foliar,  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$

AF- área foliar,  $\text{cm}^2$ ; e

MST- matéria seca total da planta,  $\text{g}^{-1}$ .

A razão entre a matéria seca retida nas folhas e a matéria seca total acumulada na planta foi obtida pela Equação 4.

$$\text{RMFS} = \frac{\text{MSF}}{\text{MST}} \quad (4).$$



Em que:

RMFS- razão de massa foliar, g g<sup>-1</sup>;

MSF- matéria seca das folhas, g; e

MST- matéria seca total da planta, g<sup>-1</sup>.

A duração da área foliar (DAF) foi determinada pela Equação 5.

$$DAF = (IAF_1 + IAF_2) \cdot (t_2 - t_1) / 2 \quad (5).$$

Em que:

DAF- duração da área foliar, cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>;

IAF<sub>1</sub> e IAF<sub>2</sub>- índice de área foliar mínimo e máximo, respectivamente; cm<sup>2</sup>; e,

T<sub>1</sub> e t<sub>2</sub>- tempos em dias, em que o IAF se encontra nos seus valores máximo e mínimo.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi determinado através de fórmula balanceada na qual se incluem as relações das variáveis morfológicas como MST, MFA, MSR, CPA e DCA (DICKSON *et al.*, 1960), descrito a seguir na Equação 6.

$$IQD = \frac{MST}{\frac{CPA + MSA}{DCA + MSR}} \quad (6).$$

Em que:

IQD - índice de qualidade de Dickson, g cm<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>;

MST - matéria seca total da planta, g;

MSA - matéria seca da parte aérea, g;

MSR - matéria seca da raiz, g;

CPA - comprimento da parte aérea, cm; e,

DCA - diâmetro do caule, mm.

Posteriormente, as plantas foram seccionadas em folhas, caule, ramos e raiz. O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e levados à estufa de circulação de ar forçado a 70 °C até atingirem massa constante, após foram pesados em balança analítica e foi determinada a matéria seca da raiz (MSR, g), matéria seca do caule (MSC, g), matéria seca das folhas (MSF, g).

### 6.1.2.2. Quantificação de pigmentos

Aos 35 DAS, folíolos totalmente expandidos foram identificados e coletados. Para extração dos pigmentos, foi pesado 1,0 g de tecido foliar, o qual foi macerado em

7,0 mL de acetona (80%) e o volume completo para 25 mL. As absorvâncias do extrato foram determinadas em espectrofotômetro (modelo Nova 2000 UV), nos comprimentos de onda de 663, 646 e 470 nm, para clorofila a (Chl *a*), clorofila b (Chl *b*) e carotenoides totais (Car *t*), respectivamente, sendo os teores dos pigmentos obtidos utilizando-se das Equações de Lichtenthaler e Buschmann (2001), a saber:

$$\text{Chl } a \text{ (}\mu\text{g g}^{-1}\text{)} = 12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{646} \quad (7).$$

$$\text{Chl } b \text{ (}\mu\text{g g}^{-1}\text{)} = 21,5 \times A_{646} - 5,10 \times A_{663} \quad (8).$$

$$\text{Car } t \text{ (}\mu\text{g g}^{-1}\text{)} = [1000 \times A_{470} - (1,82 \text{ Chl } a - 85,02 \times \text{Chl } b)]/198 \quad (9).$$

Para converter os valores encontrados em  $\mu\text{g mL}^{-1}$  para  $\mu\text{g g}^{-1}$ , os resultados obtidos foram multiplicados por 25 mL (volume do balão) dividindo-se pelo peso da amostra (1,0 g).

### 6.1.3. Resultados e Discussão

Os dados das médias originais de todas as variáveis individuais avaliadas neste estudo encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Médias das variáveis avaliadas em função da interação entre o condicionamento de sementes, o estresse hídrico e o estresse térmico em mudas de *Moringa oleifera*.

Combinações	Média ± Erro Padrão							
	ALP	DCA	NFO	AF	CHLA	CHLB	CHLT	CART
0-S-30°	36,3±0,5	3,7±0,17	93,6±0,81	3,8±0,47	2504,3±43,44	2041,0±27,48	4545,3±70,92	432,3±3,56
0-S-40°	45,0±0,51	3,7±0,1	96,6±3,59	1,7±0,7	2983,9±52,88	2344,4±33,45	5328,3±86,33	471,6±4,33
0-C-30°	29,7±0,5	3,1±0,08	69,4±1,08	2,5±0,30	2646,9±29,47	2131,2±18,64	4778,0±48,12	444,0±2,41
0-C-40°	35,5±0,53	3,3±0,13	72,8±1,71	1,0±0,15	2269,7±94,8	1892,6±59,97	4162,3±154,77	413,1±7,77
1-S-30°	37,3±0,41	3,7±0,12	104,8±1,32	3,0±0,23	2397,4±59,83	1973,4±37,84	4370,8±97,67	423,6±4,90
1-S-40°	45,2±0,54	3,5±0,1	102,4±1,21	1,7±0,31	2688,4±70,55	2157,5±44,63	4845,9±115,2	447,4±5,78
1-C-30°	30,7±0,54	3,0±0,1	71,4±0,93	3,1±0,31	2691,4±42,69	2159,3±27	4850,7±69,69	447,7±3,5
1-C-40°	35,2±0,58	3,1±0,08	78,6±0,75	1,6±0,16	2721,1±55,19	2178,1±3491	4899,2±90,10	450,1±4,52
2-S-30°	39,6±0,69	3,8±0,08	105,4±0,81	2,5±0,27	2440,5±63,93	2000,6±40,44	4441,1±104,37	427,1±5,24
2-S-40°	40,2±0,49	3,6±0,12	88,0±1,10	1,9±0,12	3093,8±84,89	2413,9±53,70	5507,6±138,59	480,6±6,95
2-C-30°	31,7±0,67	3,4±0,06	67,4±0,68	2,4±0,24	2722,6±43,20	2179,1±27,33	4901,6±70,53	450,2±3,54
2-C-40°	34,5±0,37	3,3±0,15	73,0±1,22	1,4±0,17	3099,7±65,51	2417,6±41,44	5517,3±106,94	481,1±5,37
	MSF	MSC	MSR	TCR	RAF	RMFS	DAF	IQD
0-S-30°	0,4±1E-2	0,4±5E-3	0,2±1E-3	0,01±1E-3	3,7±0,45	0,4±0,01	0,6±0,07	2,1±0,05
0-S-40°	0,2±0,01	0,3±3E-3	0,1±2E-3	2E-2±1E-3	3,2±0,13	0,3±0,1	0,3±0,02	2,1±0,13

0-C-30°	0,2±0,01	0,2±1E-3	0,1±1E-3	2E-2±1E-3	4,5±0,59	0,4±0,01	0,4±0,05	2,2±0,05
0-C-40°	0,1±1E-3	0,2±5E-3	0,1±2E-3	1E-2±1E-3	3,3±0,47	0,3±0,01	0,2±0,01	1,8±0,05
1-S-30°	0,4±0,01	0,4±8E-3	0,2±5E-3	1E-2±1E-3	2,8±0,21	0,4±3E-3	0,5±0,04	1,9±0,05
1-S-40°	0,2±2E-3	0,2±9E-3	0,1±2E-3	2E-2±1E-3	3,5±0,62	0,4±7E-3	0,3±0,05	3,9±0,11
1-C-30°	0,2±4E-3	0,2±3E-3	0,1±1E-3	1E-2±2E-3	5,5±0,58	0,4±5E-3	0,5±0,05	2,3±0,01
1-C-40°	0,1±2E-3	0,2±9E-3	0,1±2E-3	2E-2±1E-3	4,8±0,60	0,3±1E-2	0,3±0,03	1,7±0,07
2-S-30°	0,4±5E-3	0,5±1E-2	0,2±5E-3	2E-2±1E-3	2,3±0,24	0,4±4E-3	0,4±0,03	2,3±0,04
2-S-40°	0,2±8E-3	0,2±5E-4	0,1±3E-3	2E-2±1E-3	4,2±0,28	0,4±7E-3	0,3±0,02	3,0±0,03
2-C-30°	0,2±6E-3	0,3±7E-3	0,1±4E-3	1E-2±1E-3	4,1±0,43	0,4±3E-3	0,4±0,03	1,7±0,01
2-C-40°	0,1±3E-3	0,1±8E-3	0,1±1E-3	2E-2±1E-3	4,7±0,50	0,4±5E-3	0,2±0,01	2,0±0,07

PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 - condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul; S e C - sem e com déficit hídrico; 30 e 40° - sem e com estresse térmico.

Ver descrição das variáveis na Tabela 2

Os três primeiros componentes principais (CPs) com autovalores maiores que um ( $\lambda > 1$ ) somam 87,84% da variância amostral total ( $S^2$ ) e foram formados a partir da combinação linear dos dados originais das 16 variáveis coletados de mudas de *M. oleifera* oriundas de sementes submetidas ao condicionamento (PRI), ao estresse hídrico (ESH) e ao estresse térmico (EST) (Tabela 1). O CP<sub>1</sub> representa 45,56% da  $S^2$ , composto pela combinação de matéria seca da folha (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca da raiz (MSR), área foliar (AF), taxa de crescimento relativo (TCR), duração da área foliar (DAF), clorofila a (CHLA), clorofila b (CHLB), clorofila total (CHLT) e carotenoide (CART). O CP<sub>2</sub> representa 23,81% da  $S^2$  constituído por altura da planta (ALP), diâmetro do caule (DCA), número de folíolos (NFO), taxas de crescimento relativo (TCR) e razão de área foliar (RAF). O CP<sub>3</sub> representa 18,46% da  $S^2$  formado por área foliar (AF), razão de área foliar (RAF) e a duração da área foliar (DAF). As variáveis razão de massa foliar seca (RMFS) e índice de qualidade de Dickson (IQD) não corresponderam em nenhum dos CPs e, portanto, foram excluídas da ACP e tratadas como variáveis complementares. Houve interação significativa entre as combinações do PRI, ESH e EST nos três CPs conforme resultados da MANOVA (Tabela 2).

**Tabela 2.** Correlação entre variáveis originais e componentes principais, autovalores, variância explicada e acumulada e probabilidade de significância do teste de hipótese.

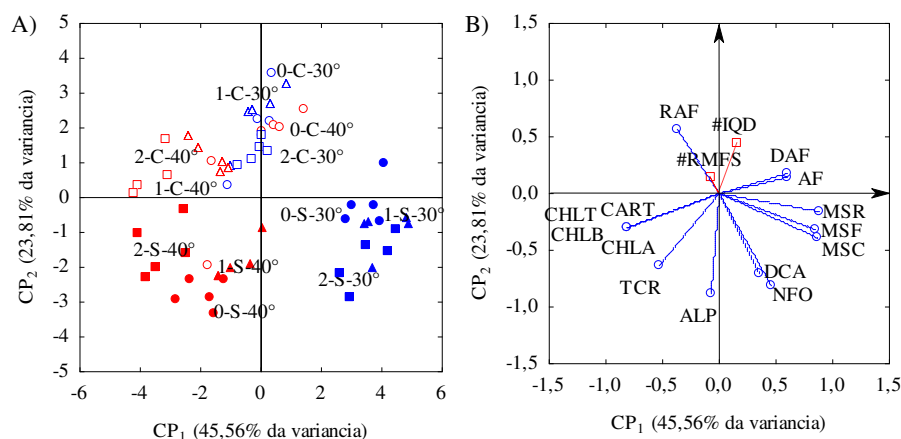
VA – Variáveis analisadas	Componentes principais		
	CP <sub>1</sub>	CP <sub>2</sub>	CP <sub>3</sub>
ALP - Altura da planta	-0,07	-0,89*	0,23
DCA - Diâmetro do caule	0,36	-0,70*	-0,01
NFO - Número de folíolos	0,45	-0,81*	0,01
MSF - Matéria seca da folha	0,85*	-0,31	-0,35
MSC - Matéria seca do caule	0,87*	-0,39	-0,23
MSR - Matéria seca da raiz	0,88*	-0,16	-0,31

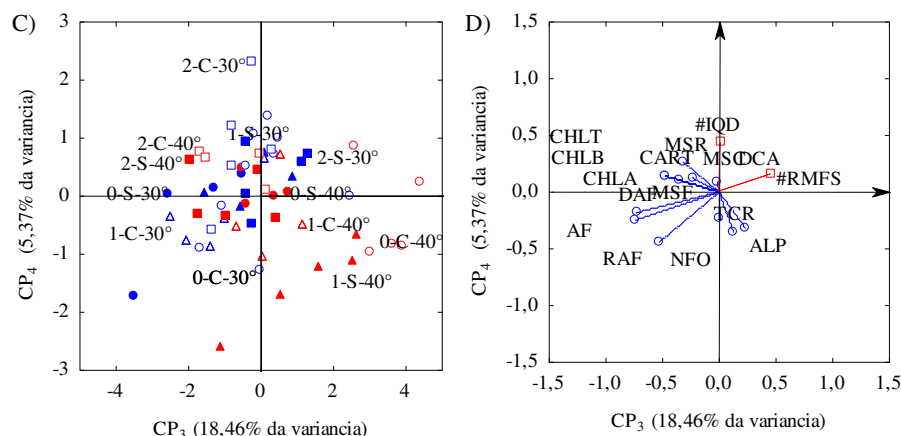
A F - Área foliar	0,60*	0,15	-0,74*
TCR - Taxas de crescimento relativo	-0,52*	-0,63*	0,12
RAF - Razão de área foliar	-0,37	0,56*	-0,53*
DAF - Duração da área foliar	0,61*	0,17	-0,73*
CHLA - Clorofila a	-0,82*	-0,30	-0,47
CHLB - Clorofila b	-0,82*	-0,30	-0,47
CHLT - Clorofila total	-0,82*	-0,30	-0,47
CART - Carotenoides	-0,82*	-0,30	-0,47
#RMFS - Razão de massa foliar seca	-0,07	0,14	0,46
#IQD - Índice de qualidade de Dickson	0,16	0,44	0,02
$\lambda$ - Autovalores	6,38	3,33	2,58
S <sup>2</sup> (%) - Variância total	45,46	23,81	18,46
S <sup>2</sup> (%) - Porcentagem de variância acumulada	45,56	69,37	87,84
MANOVA	Probabilidade de significância (p valor)		
Teste de Hotelling para Priming - PRI	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Teste de Hotelling para Estresse hídrico - ESH	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Teste de Hotelling para Estresse térmico - EST	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Teste de Hotelling para interação PRI x ESH	< 0,01	< 0,06	< 0,07
Teste de Hotelling para interação PRI x EST	< 0,01	< 0,01	< 0,09
Teste de Hotelling para interação ESH x EST	< 0,01	< 0,01	< 0,01

\*Variáveis consideradas na formação do Componente principal com coeficiente de correlação  $\geq 0,5$ .

#Variáveis complementares excluídas da análise de componentes principais.

Na projeção bidimensional dos três primeiros CPs (Figuras 1A, B, C e D), verificou-se que no PC<sub>1</sub> o estresse térmico (EST) foi o fator predominante para distinguir as mudas, enquanto que no CP<sub>2</sub> o estresse hídrico (ESH) predominou. No CP<sub>1</sub>, constatou-se que, independentemente do condicionamento (PRI), o EST desencadeou um processo no qual as mudas tiveram aumento de TCR, CHLA, CHLB, CHLT, e CART, e redução de MSF, MSC, MSR, AF e DAF. No CP<sub>2</sub>, observou-se que, independentemente do PRI, o ESH desencadeou um processo no qual as mudas tiveram aumento de ALP, DCA, NFO, TCR e de RAF. No CP<sub>3</sub>, foi constatado um processo no qual o aumento da área dos folíolos (AF) provoca aumento da razão de área foliar (RAF) e aumento da duração da área foliar (DAF).





○ PRI 0 sem EST com ESH. △ PRI 1 sem EST com ESH. □ PRI 2 sem EST com ESH. ○ PRI 0 com EST com ESH.  
 △ PRI 1 com EST com ESH. □ PRI 2 com EST com ESH. ● PRI 0 sem EST sem ESH. ▲ PRI 1 sem EST sem ESH.  
 ■ PRI 2 sem EST sem ESH. ● PRI 0 com EST sem ESH. ▲ PRI 1 com EST sem ESH. ■ PRI 2 com EST sem ESH.  
 PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 – condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul; ESH - Estresse hídrico; EST - Estresse térmico.

**Figura 1.** Projeção bidimensional de pontuações fatoriais (A e C) e variáveis (B e D) nos primeiros três componentes de interação principais (CPs 1, 2 e 3) em mudas de *Moringa oleifera*.

Apresenta-se a seguir a descrição de abreviaturas que serão utilizadas adiante, as quais ainda não foram descritas no texto deste item: PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 – condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul; S e C – sem e com déficit hídrico; 30 e 40° - sem e com estresse térmico.

O EST provocou redução das variáveis de crescimento (MSF, MSC, MSR, AF e DAF) e aumentou as clorofilas e os carotenoides (CHLA, CHLB, CHLT e CART). Quando as plantas com EST e sem ESH foram tratadas em solução de etileno sob irradiação da luz azul – PRI 1 (1-S-40°) houve aumento no crescimento e redução dos pigmentos cloroplastídicos. Johnson *et al.* (2020) relataram que a luz azul promoveu o crescimento das plantas de mostarda e aumentou o comprimento dos pecíolos. Isso indica que o crescimento promovido pela luz azul está relacionado à menor atividade do fitocromo e maior atividade dos criptocromos que são receptores de luz azul. Segundo Arena *et al.* (2016) e Lanoue *et al.* (2018), o crescimento das plantas, bem como a qualidade das mudas são amplamente afetados pela luz disponível em seu ambiente. Quando as sementes foram tratadas com luz azul e etileno (2-S-40) houve aumento das clorofilas e redução do crescimento; esse resultado foi diferente daqueles encontrados

por Peng *et al.* (2013), Zhao *et al.* (2019) e Hu *et al.* (2021), os quais sugeriram que o etileno inibiu o aumento da clorofila. Segundo Zapata *et al.* (2004), o etileno alivia altas temperaturas e o estresse hídrico durante a germinação de arroz, trigo e cevada. O etileno regula a germinação de sementes e o crescimento de plântulas por meio de ligação hormonal (GOLAM *et al.*, 2020), que pode justificar as mudanças no crescimento e acúmulo de pigmentos cloroplastídicos quando esse fitormônio foi aplicado sob irradiação com luz azul nas sementes de *M. oleifera*.

No CP<sub>2</sub>, as mudas que passaram por EST ficaram agrupadas de um lado e as que passaram por ESH do outro. Quando as mudas estavam sem EST e sem ESH e foram produzidas de sementes condicionados com luz azul e etileno (2-S-30°) obtiveram maior ALP, NFO e DCA. As mudas submetidas ao ESH e sem EST (1-C-30° e 0-C-30°) aumentaram a RAF e diminuíram as variáveis de crescimento (ALP, NFO, DCA e TCR). O ESH reduziu o crescimento e aumentou a RAF; este resultado corrobora com aquele obtido por Scalon *et al.* (2011) quando estudaram o estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia*). O aumento da RAF pode ser devido à maior área foliar e à maior abertura dos ostíolos, os quais propiciaram uma maior taxa fotossintética, logo uma maior produção de fotoassimilados, uma vez que folhas com maior abertura estomática podem absorver melhor o CO<sub>2</sub> atmosférico e fotossintetizar melhor. Quando as plantas estavam submetidas ao ESH o PRI 2 aumentou o crescimento, o que pode estar relacionado ao fato do etileno proporcionar aumento da velocidade de germinação. Este resultado está de acordo com os observados por Monteiro *et al.* (2015), que ao trabalharem com os efeitos deletérios do estresse salino em sementes de milho e as ações de etileno para reverter esses efeitos, concluíram que o etileno aumenta a velocidade de germinação de sementes. Nas plantas que passaram por EST e ESH, o PRI 2 foi o que melhor aumentou as clorofilas e reduziu o crescimento. Carvalho (2015) estudando os efeitos de temperaturas elevadas na fase inicial, no crescimento, fisiologia e florescimento do meloeiro amarelo constatou que quando as plantas foram submetidas á temperatura elevada (42 °C) obteve aumento de clorofilas e redução de crescimento dos meloeiros. Segundo Savvides *et al.* (2012), a luz azul regula a fotossíntese, a formação de clorofila e a abertura dos estômatos principalmente por meio de criptocromo e fototropina. Isso indica o aumento de clorofila sob o PRI2.

#### **6.1.4. Conclusões**

A ocorrência dos estresses abióticos térmico e hídrico simultaneamente provocou redução da qualidade de mudas de *Moringa oleifera* em câmara de crescimento fitotron. Porém, o condicionamento de sementes em solução com o fitormônio etileno sob irradiação com luz monocromática azul melhorou a qualidade das mudas submetidas a esses estresses abióticos.

## 6. CAPÍTULO 3

### 6.1. Luz azul e etileno melhoram a matéria fresca de mudas de *Moringa oleifera* sob estresses abióticos

**Resumo:** A *Moringa oleifera* é uma planta importante com múltiplos benefícios para os seres humanos, tem sido chamada de “a planta milagrosa” por muitos, principalmente por apresentar inúmeras características de interesse e se adaptar às regiões com limitações hídricas e temperaturas elevadas. Porém, mesmo se adaptando às condições restritivas, a ocorrência de estresses abióticos durante a fase de formação de mudas pode comprometer processos fisiológicos importantes do vegetal. Este foi realizado com o objetivo de avaliar a matéria fresca e o teor de água nas raízes, no caule e nas folhas, a suculência das folhas, o número de folhas completas, a razão de massa fresca das folhas, o índice de área foliar, o índice de produção de biomassa da parte aérea, o índice SPAD, a taxa de crescimento absoluto e a densidade radicular das mudas de *M. oleifera* produzidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz monocromática azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de déficit hídrico e alta temperatura. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 3, sendo dois níveis de reposição da água no solo perdida por evapotranspiração da cultura – ETc (50 e 100%), duas variações diurnas e noturnas de temperatura (40 °C dia/35 °C noite e 30 °C dia/25 °C noite) e três condicionamentos de sementes constituídos de um controle - PRI 0 (sementes não condicionadas), condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul – PRI 1 e condicionamento em solução de etileno – PRI 2 (500 mg L<sup>-1</sup> de Ethrel) sob irradiação com luz azul, com cinco repetições. Verificou-se que o condicionamento com luz azul e etileno aumentou o número de folha, taxa de crescimento absoluto, teor de água no caule e matéria fresca da raiz. A combinação do estresse térmico e hídrico aumentou o teor de água nas raízes e a suculência das folhas. O condicionamento de sementes em solução com o fitormônio etileno sob irradiação com luz monocromática azul melhora o acúmulo de matéria fresca, as relações hídricas e os índices de crescimento das mudas de *Moringa oleifera* sob os estresses abióticos, térmico e hídrico em câmara de crescimento fitotron.

**Palavras-chave:** densidade radicular, suculência das folhas, taxa de crescimento absoluto.

#### 6.1.1. Introdução

A luz é um dos principais fatores que impulsionam o crescimento das plantas, sendo tanto uma fonte de energia quanto um sinal de desenvolvimento (GÓMEZ & IZZO, 2018). Vários estudos mostraram que determinados comprimentos de onda podem ativar diferentes fotorreceptores que iniciam a sinalização complexa, resultando



em respostas fisiológicas e bioquímicas precisas (ARENA *et al.*, 2016; HUCHÉ-THÉLIER *et al.*, 2016; AMITRANO *et al.*, 2018; CHINCHILLA *et al.*, 2018). A luz azul é considerada um regulador de crescimento, pois está envolvida em várias respostas críticas da planta, como fototropismo, fotomorfogênese, abertura estomática, desenvolvimento de cloroplastos e expansão foliar (CHRISTIE & BRIGGS, 2001; WHITELAM & HALLIDAY, 2007; BRIGGS, 2007).

Como um dos fatores mais determinantes, as condições de estresses abióticos prejudicam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (HASAN *et al.*, 2019; AHAMMED *et al.*, 2020; GANIE *et al.*, 2020). É evidente que o crescimento, desenvolvimento e senescência das plantas são mediados por hormônios (WANG *et al.*, 2016; QIN & WANG, 2019). Desses três processos, o crescimento e a senescência das plantas são bastante controlados pelo etileno (IQBAL *et al.*, 2017), pois este fitormônio também é considerado multifuncional devido ao seu papel diversificado em muitos outros processos biológicos de plantas (PAN *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2019). O etileno exógeno pode estimular ou impedir o crescimento e a senescência das plantas, que dependem em grande parte da espécie de plantas, concentrações de etileno usadas e o tempo de aplicação (DUBOIS *et al.*, 2018; VASEVA *et al.*, 2018; DOLGIKH *et al.*, 2019).

Devido à sua natureza séssil, as plantas são inevitavelmente expostas aos estresses abióticos, como altas ou baixas temperaturas e déficit ou excesso hídrico, os quais podem influenciar seu desempenho germinativo, fotossintético e produtivo (KULAK *et al.*, 2019). A *M. oleifera*, também reconhecida como planta “milagrosa”, possui uma infinidade de propriedades nutricionais e medicinais desconhecidas e, portanto, subutilizadas pelos consumidores (SAHAY *et al.*, 2017). Apesar da *M. oleifera* ser considerada tolerante à seca, estresses, como o hídrico e o térmico, ocorridos na sua fase vegetativa, podem influenciar seu crescimento e desenvolvimento.

Com base no exposto, objetivou-se avaliar a matéria fresca e o teor de água nas raízes, no caule e nas folhas, a suculência das folhas, o número de folhas completas, a razão de massa fresca das folhas, o índice de área foliar, o índice de produção de biomassa da parte aérea e o índice SPAD, a taxa de crescimento absoluto e a densidade radicular das mudas de *M. oleifera* produzidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução com etileno sob irradiação com luz azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de déficit hídrico e alta temperatura.

## 6.1.2. Material e Métodos

### 6.1.2.1. Mensuração do crescimento de mudas

Transcorridos 35 dias após a semeadura (DAS), foram realizadas avaliações morfológicas em intervalos de nove dias para mensuração do crescimento das mudas de *M. oleifera*. Para tanto, foi determinado por contagem direta o número de folíolos (NFH). De posse desses dados, foi obtida a taxa de crescimento absoluto (TCA cm dia<sup>-1</sup>) obtida por meio da relação descrita por Benincasa (2003), a saber:

$$TCA = (M_2 - M_1) / (T_2 - T_1) \quad (1).$$

Em que:

TCA - taxa de crescimento absoluto, cm dia<sup>-1</sup>

M<sub>1</sub> - corresponde à medida da altura de planta no tempo 1 (T<sub>1</sub>) e

M<sub>2</sub> - são as medidas realizadas em intervalos de nove dias até a última avaliação (T<sub>2</sub>).

Posteriormente, as plantas foram seccionadas em folhas, caule, ramos e raiz. Foi determinada a matéria fresca da raiz (MFR, em g), matéria fresca do caule (MFC, em g), matéria fresca das folhas (MFF, em g), pesagem direta da parte radicular, dos caules, das folhas e de toda parte aérea das plantas usando uma balança de precisão.

O índice SPAD foi determinado nas folhas completamente expandidas. As medições foram realizadas entre as 7 e 9 h, utilizando o medidor portátil de clorofila SPAD-502. Foram realizadas três medições do índice SPAD por planta, na região central da planta em cada tratamento, sendo utilizada a média para representar os tratamentos.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado através da relação área foliar sobre a superfície do solo ocupada pela muda, dado pela Equação 2.

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (2).$$

Em que:

IAF - índice de área foliar, cm<sup>2</sup>;

AF - área foliar, cm<sup>2</sup>; e

S - Superfície do solo ocupada pela planta, cm<sup>2</sup>.

Razão de massa foliar fresca nas folhas e a massa fresca total acumulada na planta, expressam a componente fisiológica razão de massa foliar fresca (RMFF) e foi determinada pela Equação 3.

$$RMFF = \frac{MFF}{MFT} \quad (3).$$

Em que:

RMF - razão de massa foliar, g g<sup>-1</sup>;

MFF - massa foliar fresca, g; e,

MFT - matéria fresca total da planta, g<sup>1</sup>.

Para determinar os teores de água na raiz (TAR), no caule (TAC), nas folhas (TAF), o total na planta (TATP) e o índice de produção de biomassa na parte aérea (IPBPA), foram utilizadas as respectivas equações propostas por Benincasa (2003):

$$TAR = \frac{MFR-MSR}{MFR} X100 \quad (4).$$

Em que:

TAR - teor de água na raiz, %;

MFR - matéria fresca da raiz, g; e,

MSR - matéria seca da raiz.

$$TAC = \frac{MFC-MSC}{MFC} X100 \quad (5).$$

Em que:

TAC - teor de água no caule, %;

MFC - matéria fresca do caule, g; e,

MSC - matéria seca do caule, g.

$$TAF = \frac{MFF-MSF}{MFF} X100 \quad (6).$$

Em que:

TAF - teor de água nas folhas, %;

MFF - matéria fresca das folhas, g; e,

MSF - matéria seca das folhas, g.

$$IPBPA = \frac{MSPA}{MFT} \quad (7).$$

Em que:

IPBPA - índice de produção de biomassa da parte aérea (admissional);

MSPA - matéria seca da parte aérea, g; e,

MFT - matéria fresca total, g.

A suculência da folha (SFO) foi calculada segundo Mantovani (1999):

$$SFO = \left( \frac{MFF-MSF}{AF} \right) X1000 \quad (8).$$

Em que:

SFO - suculência da folha, mg de H<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup>;

MFF - matéria fresca das folhas, g;

MSF - matéria seca das folhas, g; e,

AF - área foliar, cm<sup>2</sup>.

Posteriormente, as raízes foram separadas e armazenadas em sacos plásticos. Em laboratório, as raízes foram lavadas em água corrente, secas com auxílio de papel toalha, e submetidas às análises morfométricas: massa de matéria fresca (MFR em g), obtida por meio da pesagem da raiz após coletada, lavada e seca com papel toalha; comprimento radicular (CR em cm), medido com auxílio de régua; volume radicular (VR em cm<sup>3</sup>), obtido por meio da metodologia da proveta graduada; massa de matéria seca (MSR em g), obtida por meio da secagem das raízes em estufa de circulação e renovação de ar, a 65 °C por 24 h ou até atingir peso constante; e a densidade radicular (DRA), obtida a partir da relação da massa de matéria fresca e o volume radicular.

$$DRA = \frac{MFR}{VR} \quad (9).$$

Em que:

DRA - densidade radicular, g cm<sup>3</sup>;

MFR - massa de matéria fresca, g; e;

VR - volume radicular, cm<sup>3</sup>.

### **6.1.3. Resultados e Discussão**

Os dados das médias originais de todas as variáveis individuais avaliadas neste estudo encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Médias das variáveis avaliadas em função da interação entre o condicionamento de sementes, o estresse hídrico e o estresse térmico em mudas de *Moringa oleifera*.

Combinações	Média ± Erro Padrão						
	NFH	MFF	MFC	MFR	SPAD	TCA	IAF
0-S-30°	8,2±0,20	2,3±0	2,7±0,05	2,1±0,07	36,6±0,59	0,5±0,05	0,1±9E-3
0-S-40°	10,4±0,24	1,4±0,05	2,8±0,06	1,2±0,08	43,1±0,71	1,1±0,05	3E-2±1E-3
0-C-30°	7,4±0,40	1,5±0,05	1,7±0,04	1,0±0,03	38,5±0,40	0,5±0,06	5E-2±6E-3
0-C-40°	8,0±0,45	0,7±0,04	1,7±0,05	0,6±0,04	33,5±1,28	0,6±0,05	2E-2±3E-3
1-S-30°	8,2±0,20	2,5±0,05	2,6±0,02	2,1±0,05	35,2±0,81	0,6±0,04	6E-2±4E-3
1-S-40°	9,6±0,98	1,5±0,07	2,4±0,11	0,9±0,03	39,1±0,95	1,1±0,07	3E-2±6E-3
1-C-30°	7,0±0,32	1,5±0,02	1,6±0,05	0,9±0,04	39,1±0,57	0,5±0,06	6E-2±6E-3
1-C-40°	7,8±0,49	0,6±0,02	1,6±0,07	0,6±0,05	39,5±0,74	0,6±0,05	3E-2±3E-3
2-S-30°	8,4±0,24	2,8±0,03	3,0±0,07	2,4±0,04	35,8±0,86	0,7±0,07	5E-2±5E-3
2-S-40°	10,0±0,32	1,4±0,03	2,0±0,02	0,8±0,05	44,6±1,14	0,9±0,05	3E-2±2E-4
2-C-30°	7,4±0,24	1,3±0,05	1,9±0,05	0,9±0,02	39,6±0,58	0,5±0,04	5E-2±5E-3
2-C-40°	8,2±0,58	0,8±0,02	1,3±0,04	0,5±0,02	44,6±0,88	0,7±0,05	3E-2±3E-3
	RMFF	TAR	TAC	TAF	IPBPA	SFO	DRA
0-S-30°	0,3±8E-4	90,6±0,25	84,5±0,27	82,3±0,52	5E-2±1E-3	1578,1±199,24	7E-3±2E-4
0-S-40°	0,3±9E-3	92,2±0,46	90,9±0,16	86,9±0,08	3E-2±1E-3	4509,2±180,75	4E-3±3E-4
0-C-30°	0,4±3E-3	89,2±0,31	87,0±0,20	85,0±0,38	5E-2±1E-3	2825,6±337,14	3E-3±1E-4
0-C-40°	0,2±9E-3	89,6±0,45	91,0±0,38	84,7±0,56	3E-2±7E-4	6987±1254,72	2E-3±1E-4
1-S-30°	0,3±1E-3	89,3±0,10	83,6±0,27	83,7±0,27	5E-2±8E-4	2122,6±179,84	7E-3±1E-4
1-S-40°	0,3±9E-4	94,1±0,31	90,3±0,39	85,9±0,57	4E-2±2E-3	4664,7±760,21	3E-3±1E-4
1-C-30°	0,4±4E-3	87,8±0,33	86,4±0,27	83,7±0,26	6E-2±1E-3	2110,9±265,98	3E-3±1E-4
1-C-40°	0,2±8E-3	87,1±0,90	90,1±0,23	81,3±0,89	4E-2±1E-3	3473,2±396,19	2E-3±1E-4
2-S-30°	0,3±4E-3	91,8±0,11	84,8±0,29	84,5±0,18	5E-2±8E-4	2656,5±283,82	8E-3±1E-4
2-S-40°	0,3±3E-3	92,3±0,06	90,7±0,06	86,3±0,25	4E-2±1E-3	4008,8±287,07	3E-3±1E-4
2-C-30°	0,3±4E-3	86,5±0,20	86,2±0,17	83,5±0,61	5E-2±1E-3	2661,3±286,66	3E-3±6E-5
2-C-40°	0,3±6E-3	89,4±0,38	90,1±0,50	86,8±0,57	4E-2±1E-3	5872,1±930,93	2E-3±6E-5

PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 - condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul; S e C - sem e com déficit hídrico; 30 e 40° - sem e com estresse térmico.

Ver descrição das variáveis na Tabela 2

Os dois primeiros componentes principais (CPs) com autovalores maiores que um ( $\lambda > 1$ ) somam 81,06% da variância amostral total ( $S^2$ ) e foram formados a partir da combinação linear dos dados originais das 14 variáveis coletados de mudas de *M. oleifera* produzidas de sementes submetidas ao condicionamento (PRI), ao estresse hídrico (ESH) e ao estresse térmico (EST). O CP<sub>1</sub> representa 52,04% da  $S^2$ , composto pela combinação de matéria fresca da folha (MFF), matéria fresca do caule (MFC), matéria fresca da raiz (MFR), índice de área foliar (IAF), teor de água no caule (TAC), índice de produção de biomassa da parte aérea (IPBPA), suculência da folha (SFO) e a densidade radicular (DRA). O PC<sub>2</sub> representa 29,02% da  $S^2$  formado por número de folhas (NFH), matéria fresca do caule (MFC), taxa de crescimento absoluto (TCA) e teor de água na raiz (TAR). As variáveis índice SPAD (SPAD), razão de massa foliar fresca (RMFF) e teor de água nas folhas (TAF) não corresponderam em nenhum dos

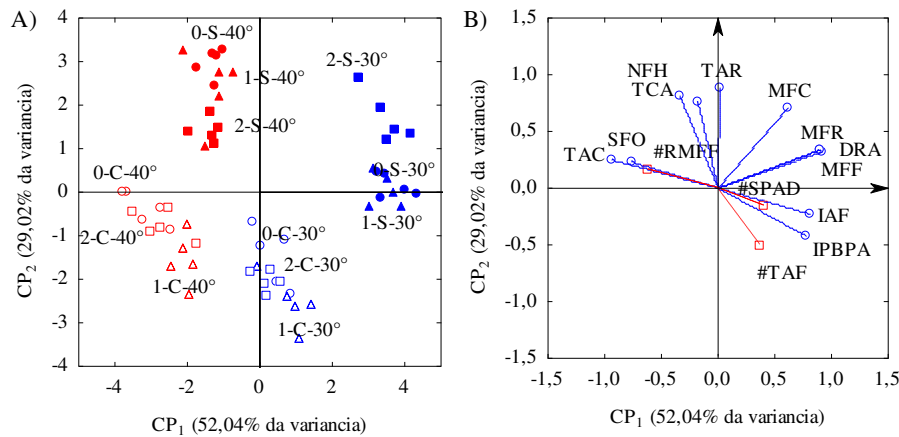
PCs e, portanto, foram excluídas da ACP e tratadas como variáveis complementares. Houve uma interação significativa entre as combinações do PRI, ESH e EST nos dois PCs conforme resultados da MANOVA (Tabela 2).

**Tabela 2.** Correlação entre variáveis originais e componentes principais, autovalores, variância explicada e acumulada e probabilidade de significância do teste de hipótese.

VA – Variáveis Analisadas	Componentes Principais	
	CP <sub>1</sub>	CP <sub>2</sub>
MFR - Matéria fresca da raiz	0,91*	0,33
MFC - Matéria fresca do caule	0,62*	0,70*
MFF - Matéria fresca da folha	0,92*	0,32
TAR - Teor de água na raiz	0,02	0,88*
TAC - Teor de água no caule	-0,93*	0,26
#TAF - teor de água nas folhas	0,38	-0,50*
SFO - Suculência da folha	-0,76*	0,24
NFH - Número de folhas	-0,18	0,76*
#RMFF - Razão de massa foliar fresca	-0,61*	0,16
IAF - Índice de área foliar	0,82*	-0,22
IPBPA - Índice de produção de biomassa da parte aérea	0,78*	-0,43
#SPAD - Índice SPAD	0,41	-0,16
TCA - Taxa de crescimento absoluto	-0,33	0,82*
DRA - Densidade radicular	0,91*	0,33
$\lambda$ – Autovalores	5,72	3,19
S <sup>2</sup> (%) – Variância total	52,04	29,02
S <sup>2</sup> (%) – Porcentagem de variância acumulada	52,04	81,06
MANOVA	Probabilidade de significância (p valor)	
Teste de Hotelling para Priming - PRI	< 0,01	< 0,01
Teste de Hotelling para Estresse hídrico - ESH	< 0,01	< 0,01
Teste de Hotelling para Estresse térmico - EST	< 0,01	< 0,01
Teste de Hotelling para interação PRI x ESH	< 0,01	< 0,03
Teste de Hotelling para interação PRI x EST	< 0,01	< 0,01
Teste de Hotelling para interação ESH x EST	< 0,01	< 0,01

\* Variáveis consideradas na formação do Componente principal com coeficiente de correlação  $\geq 0,5$ .  
#Variáveis complementares excluídas da análise de componentes principais.

Na projeção bidimensional dos dois primeiros CPs (Figuras 1A, e B), verificou-se que no CP<sub>1</sub> o estresse térmico (EST) foi o fator predominante para distinguir as mudas, enquanto que no CP<sub>2</sub> o estresse hídrico (ESH) predominou. No CP<sub>1</sub>, observou-se que, independentemente do condicionamento (PRI), o EST despertou um processo no qual as mudas tiveram redução no TAC e no SFO, e aumento de MFF, MFC, MFR, IAF, IPBPA e DRA. No CP<sub>2</sub>, viu-se que, independentemente do PRI, o ESH iniciou um processo no qual as mudas tiveram aumento de NFH, MFC, TCA e TAR.



○ PRI 0 sem EST com ESH. △ PRI 1 sem EST com ESH. □ PRI 2 sem EST com ESH. ○ PRI 0 com EST com ESH.  
 △ PRI 1 com EST com ESH. □ PRI 2 com EST com ESH. ● PRI 0 sem EST sem ESH. ▲ PRI 1 sem EST sem ESH.  
 ■ PRI 2 sem EST sem ESH. ● PRI 0 com EST sem ESH. ▲ PRI 1 com EST sem ESH. ■ PRI 2 com EST sem ESH.  
 PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 - condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul; ESH - Estresse hídrico; EST - Estresse térmico.

**Figura 1.** Projeção bidimensional de pontuações fatoriais (A) e variáveis (B) nos primeiros dois componentes de interação principais (CPs 1 e 2) em sementes de *Moringa oleifera*.

O impacto das condições de seca e de alta temperatura no crescimento e desenvolvimento das plantas é bem conhecido, mas é um mecanismo complexo, sendo bastante difícil entender as complexidades. No presente estudo, no CP<sub>1</sub> o EST provocou um aumento nos MFC, MFR, MFF, DRA, IAF, TCA, NFH, TAR e IPBPA, e uma diminuição nos TAC e SFO. Resultado semelhante foi observado por Queiroz *et al.* (2012), em que em estudo com algodoeiro, observaram maior NF quando as plantas foram submetidas a 41 °C devido à aceleração do metabolismo. Ainda de acordo com os mesmos autores, o surgimento de novas folhas em alta temperatura pode ser reflexo da flexibilidade ecológica da espécie e de sua característica perene.

Quando as plantas foram submetidas ao ESH e EST houve aumento no TAC e SFO. O fato de as plantas manterem a suculência foliar (SFO) quando submetidas ao estresse hídrico pode ser visto como uma estratégia de manter a hidratação na folha por meio da estocagem de água, protegendo a planta de um murchamento repentino e de uma contração celular. Segundo Larcher (2006), uma forma especial de conservação de água é a utilização de carboidratos capazes de se hidratar (mucilagem) em células, em dutos e em cavidades entre as células. Neste trabalho, essa estratégia foi observada quando as mudas foram submetidas aos estresses EST e ESH.

Apresenta-se a seguir a descrição de abreviaturas que serão utilizadas adiante, as quais ainda não foram descritas no texto deste item: PRI (condicionamento de sementes): 0 - sementes não condicionadas; 1 - condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul; 2 – condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul; S e C – sem e com déficit hídrico; 30 e 40° - sem e com estresse térmico.

Na CP<sub>2</sub> as sementes não condicionadas com ESH (0-C-30°) e as condicionadas com luz azul e etileno (2-C-30°) aumentaram mais IPBPA e IAF. Zilio (2014), concluiu que em condições de estresse hídrico, a biomassa da parte aérea e o índice de área foliar das cultivares de soja são reduzidos. Esse resultado diferente do obtido neste estudo, pode ser devido ao fato de que a *M. oleifera* seja resistente à seca. As sementes não condicionadas com ESH e EST (PRI 0-C-40°) aumentaram os TAC e SFO. As sementes sem ESH e com EST sem condicionamentos (0-S-40°), condicionadas com luz azul e água destilada (1-S-40°) e condicionadas com luz azul e etileno (2-S-40°) aumentaram as variáveis NFH, TCA, TAR e MFC. A luz azul aumentou essas variáveis. Ribeiro (2018) observou que o número de folhas das plantas de café aumentou quando submetidas a luz azul. O que foi verificado neste estudo.

#### 6.1.4. Conclusões

O condicionamento de sementes em solução com o fitormônio etileno sob irradiação com luz monocromática azul melhora o acúmulo de matéria fresca, as relações hídricas e os índices de crescimento das mudas de *Moringa oleifera* sob os estresses abióticos, térmico e hídrico em câmara de crescimento fitotron.

## 7. REFERÊNCIAS

- ADEMOSUN, A. O.; OBOH, G.; AJEIGBE, O. F. Influence of Moringa (*Moringa oleifera*) enriched ice creams on rats' brain: Exploring the redox and cholinergic systems. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 366-373, 2022.
- AHAMMED, G. J.; WU, M.; WANG, Y.; YAN, Y.; MAO, Q.; REN, J.; MA, R.; LIU, A.; CHEN, S. Melatonin alleviates iron stress by improving iron homeostasis, antioxidant defense and secondary metabolism in cucumber. **Scientia Horticulturae**, v. 265, p. e109205, 2020.



- AHMED, L. T.; WARRAG, E. M. I.; ABDELGADIR, A. Y. Effect of shade on Seed Germination and Early Seedling Growth of *Moringa oleifera* Lam. **Journal of Forest Products and Industries**, v. 3, p. 20-26, 2014.
- AL DAYEL, M. F.; EL SHERIF, F. Evaluation of the effects of *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis salina*, and *Enterobacter cloacae* on growth, yield and active compound compositions of *Moringa oleifera* under salinity stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, p. 1687-1696, 2021.
- AMITRANO, C.; VITALE, E.; MICCO, V.; ARENA, C. Light fertilization affects growth and photosynthesis in mung bean (*Vigna radiata*) plants. **Journal of Environmental Accounting and Management**, v. 6, p. 295-304, 2018.
- ANWAR, F.; LATIF, S.; ASHRAF, M.; HASSAN, A. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. **Phytotherapy Research**, v. 659, p. 651-659, 2007.
- ARENA, C.; TSONEV, T.; DONEVA, D.; MICCO, V.; MICHELOZZI, M.; BRUNETTI, C.; CENTRITTO, M.; FINESCHI, S.; VELIKOVA, V.; LORETO, F. The effect of light quality on growth, photosynthesis, leaf anatomy and volatile isoprenoids of a monoterpene-emitting herbaceous species (*Solanum lycopersicum* L.) and an isoprene-emitting tree (*Platanus orientalis* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 130, p. 122-132, 2016.
- BALI, A. S.; SIDHU, G. P. S.; KUMAR, V.; BHARDWAJ, R. Mitigating cadmium toxicity in plants by phytohormones. In: HASANUZZAMAN, M.; PRASAD, M. N. V.; FUJITA, M. (eds.). **Cadmium toxicity and tolerance in plants: from physiology to remediation**. Cambridge: Academic Press, 2019. 375-396 p.
- BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* Lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114-124, 2017.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for 4159 water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.
- BATISTA-SILVA, W.; HEINEMANN, B.; RUGEN, N. The role of amino acid metabolism during abiotic stress release. **Plant Cell & Environment**, v. 42, p. 1630-1644, 2019.
- BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase – improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v. 44, p. 276-287, 1971.

- BENINCASA, M. M. P.; **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; FALAVIGNA-GUILHERME, A. L.; PATERNIANI, J. E. S.; KLEIN, M. R. F.; ARAUJO, A. A.; SILVA, G. F. Aplicação da Moringa no tratamento de águas de abastecimento e residuárias. In: SILVA, G. F.; SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; BERGAMASCO, R.; PAIVA, P. M. G.; SANT'ANNA, M. C. S.; SERAFINI, M. R.; BERY, C. C. S. (eds.). **Potencialidades da *Moringa oleifera* Lam.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2018. 93-144 p.
- BHATTACHARYA, A. **Effect of high-temperature stress on the metabolism of plant growth regulators**. In: BHATTACHARYA, A. (ed.). Effect of high temperature on crop productivity and metabolism of macro molecules. Cambridge: Academic Press, 2019. 485-591 p.
- BLEECKER, A. B.; KENDE, H. Ethylene: a gaseous signal molecule in plants. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, v. 16, p. 1-18, 2000.
- BLUNK, S.; HEER, M. I.; MALIK, A. H.; FREDLUND, K.; EKBLAD, T.; STURROCK, C. J.; MOONEY, S. J. Seed priming enhances early growth and improves area of soil exploration by roots. **Environmental and Experimental Botany**, v. 158, p. 1-11, 2019.
- BOLARINWA, I. F.; ARUNA, T. E.; RAJI, A. O. Nutritive value and acceptability of bread fortified with moringa seed powder. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, p. 195-200, 2019.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Chemistry**, v. 48, p. 248-254, 1976.
- BRIGGS, G. E.; KIDD, M. A.; WEST, A. R. C. S. A quantitative analysis of plant growth. **Annals of Applied Biology**, v. 7, p. 202-223, 1920.
- BRIGGS, W.R. The LOV domain: a chromophore module servicing multiple photoreceptors. **Journal of Biomedical Science**, v. 14, p. 499-504, 2007.
- BRITO, G. G.; SOFIATTI, V.; LIMA, M. M. A.; CARVALHO, L. P.; SILVA FILHO, J. L. Physiological traits for drought phenotyping in cotton. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p. 117-125, 2011.

- BUSSONI, A.; ALVAREZ, J.; CUBBAGE, F.; FERREIRA, G.; PICASSO, V. Diverse strategies for integration of forestry and livestock production. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 333-344, 2019.
- CARVALHO, C. A. C. **Impacto do estresse térmico e de CO<sub>2</sub> no crescimento inicial e na fisiologia do meloeiro**. 2015. 140 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.
- CARVALHO, D. B.; CARVALHO, R. I. N. Qualidade fisiológica de sementes de guanxuma em influência do envelhecimento acelerado e da luz. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 489-494, 2009.
- CHINCHILLA, S.; IZZO, L. G.; VAN SANTEN, E.; GÓMEZ, C. Growth and physiological responses of lettuce grown under pre-dawn or end-of-day sole-source light-quality treatments. **Horticulturae**, v. 4, p. 8, 2018.
- CHITIYO, S. T.; NCUBE, B.; NDHLALA, A. R.; TSVUURA, Z. Biochemical responses of *Moringa oleifera* Lam. Plants to graded moisture deficit. **South African Journal of Botany**, v. 138, p. 41-49, 2021.
- CHRISTIE, J. M.; BRIGGS, W. R.; Blue light sensing in higher plants. **Journal of Biological Chemistry**, v. 276, p. 11457-11460, 2001.
- CICERI, D.; ALLANORE, A. Local fertilizers to achieve food self-sufficiency in Africa. **Science of The Total Environment**, v. 648, p. 669-680, 2019.
- COPOLOVICI, L.; KÄNNASTE, A.; PAZOUKI, L.; NIINEMETS, Ü. Emissions of green leaf volatiles and terpenoids from *Solanum lycopersicum* are quantitatively related to the severity of cold and heat shock treatments. **Journal of Plant Physiology**, v. 169, p. 664-672, 2012.
- CORTNER, O.; GARRETT, R. B.; VALENTIM, J. F.; FERREIRA, J.; NILES, M. T.; REIS, J.; GIL, J. Perceptions of integrated crop-livestock systems for sustainable intensification in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 82, p. 841-853, 2019.
- DAHER, B.; HANNIBAL, B.; PORTNEY, K. E.; MOHTAR, R. H. Toward creating an environment of cooperation between water, energy, and food stakeholders in San Antonio. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 2913-2926, 2019.
- D'ALESSANDRO, S.; HAVAUX, M. Sensing  $\beta$ - carotene oxidation in photosystem II to master plant stress tolerance. **New Phytologist**, v. 223, p. 1776-1783, 2019.
- DEBBARMA, J.; SARKI, Y. N.; SAIKIA, B.; BORUAH, H. P. D.; SINGHA, D. L.; CHIKKAPUTTAIAH, C. Ethylene Response Factor (ERF) family proteins in abiotic stresses and CRISPR–Cas<sub>9</sub> genome editing of ERFs for multiple abiotic stress

- tolerance in crop plants: A review. **Molecular Biotechnology**, v. 61, p. 153-172, 2019.
- DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.
- DOLGIKH, V. A.; PUKHOVAYA, E. M.; ZEMLYANSKAYA, E. V. Shaping ethylene response: the role of EIN3/EIL1 transcription factors. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. e1030, 2019.
- DOMENICO, M.; LINA, C.; FRANCESCA, B. Sustainable crops for food security: Moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**, v. 1, p. 409-415, 2019.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric 4194 Method for determination of sugars and related compounds. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.
- DUBOIS, M.; VAN DEN BROECK, L.; INZE, D. The pivotal role of ethylene in plant growth. **Trends in Plant Science**, v. 23, p. 311-323, 2018.
- FARHANGI-ABRIZ, S.; GHASSEMI-GOLEZANI, K. Jasmonates: Mechanisms and functions in abiotic stress tolerance of plants. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, p. 101210, 2019.
- FARIAS, S. G. G.; FREIRE, A. L. O.; SANTOS, D. R.; SILVA, R. B.; FREIRE, J. L. O. Resposta de plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) inoculadas com fungos micorrízicos e submetidas ao estresse hídrico. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 5, p. 36-46, 2008.
- FERREIRA, D. T. R. G. SILVA, V. M.; SILVA, I. C.; ARAUJO NETO, J. C.; SOUZA, R. C.; FERREIRA, V. M. Germinação de três Euphorbiaceae influenciada pela luz e níveis de palhada. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, p. 215-222, 2017.
- FRANÇA, F. R. M.; SANTOS FREITAS, L.; RAMOS, A. L. D.; SILVA, G. F.; BRANDÃO, S. T. Storage and oxidation stability of commercial biodiesel using *Moringa oleifera* Lam as an antioxidant additive. **Fuel**, v. 203, p. 627-632, 2017.
- GANIE, S. A.; AHAMMED, G. J.; WANI, S. H. Vascular plant one zinc-finger (VOZ) transcription factors: novel regulators of abiotic stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 67, p. 799-807, 2020.
- GAO, X.; REN, C.; ZHAO, H. Protective effects of ischemic postconditioning compared with gradual reperfusion or preconditioning. **Journal of Neuroscience Research**, v. 86, p. 2505-2511, 2008.

- GARCIA, T. B.; SOARES, A. A.; COSTA, J. H.; COSTA, H. P. S.; NETO, J. X. S.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; SILVA, F. D. A.; ARANTES, M. R.; SOUSA, D. O. B.; VASCONCELOS, I. M.; OLIVEIRA, J. T. A. Gene expression and spatiotemporal localization of antifungal chitin-binding proteins during *Moringa oleifera* seed development and germination. **Planta**, v. 249, p. 1503-1519, 2019.
- GE, Y.; HAWKESFORD, M. J.; ROSOLEM, C. A.; MOONEY, S. J.; ASHTON, R.W.; EVANS, J.; WHALLEY, W. R. Multiple abiotic stress, nitrate availability and the growth of wheat. **Soil and Tillage Research**, v. 191, p. 171-184, 2019.
- GOLAM, J. A.; SAIKAT; GANTAIT; MONISHA, M.; YOUXIN, Y.; XIN, L. Role of ethylene crosstalk in seed germination and early seedling development: A review. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 151, p 124-131, 2020.
- GÓMEZ, C.; IZZO, L. G. Increasing efficiency of crop production with LEDs. **Aims Agriculture and Food**, v. 3, p. 135-153, 2018.
- GOVAERTS, B.; SAYRE, K. D.; LICHTER, K.; DENDOOVEN, L.; DECKERS, J. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. **Plant and Soil**, v. 291, p. 39-54, 2007.
- GRANELLA, S. J.; BECHLIN, T. R.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M.; OLIVEIRA PAZ, C. H. An approach to recent applications of *Moringa oleifera* in the agricultural and biofuel industries. **South African Journal of Botany**, v. 137, p. 110-116, 2021.
- GUIMARÃES, M. A.; DIAS, D. C. F. S.; LOUREIRO, M. E. Hidratação de sementes. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 2, p. 31-39, 2008.
- GUPTA, B.; HUANG, B. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. **International Journal of Genomics**, v. 2014, p. 1-18, 2014.
- GUPTA, S.; JAIN, R.; KACHHWAHA, S.; KOTHARI, S. L. Nutritional and medicinal applications of *Moringa oleifera* Lam. Review of current status and future possibilities. **Journal of Herbal Medicine**, v. 11, p. 1-11, 2018.
- HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.
- HASAN, M. K.; AHAMMED, G. J.; SUN, S. C.; LI, M. Q.; YIN, H. Q.; ZHOU, J. Melatonin inhibits cadmium translocation and enhances plant tolerance by regulating sulfur uptake and assimilation in *Solanum lycopersicum* L. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, p. 10563-10576, 2019.

- HASAN, M.; ALHARBY, H. F.; HAJAR, A. S.; HAKEEM, K. R.; ALZHRANI, Y. The Effect of magnetized water on the growth and physiological conditions of *Moringa* species under drought stress. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, p. 1-11, 2019.
- HEDHILI, A.; AKINYEMI, B. E.; OTUNOLA, G. A.; ASHIE-NIKOI, P. A.; KULKARNI, M.; HUSSON, F.; VALENTIN, D. *Moringa oleifera* Lam.: A comparative survey on consumer knowledge, usage, attitude and belief in Africa and India. **South African Journal of Botany**, v. 147, p. 153-162, 2022.
- HEKMAT, S.; MORGAN, K.; SOLTANI, M.; GOUGH, R. Sensory evaluation of locally-grown fruit purees and inulin fibre on probiotic yogurt in Mwanza, Tanzania and the microbial analysis of probiotic yogurt fortified with *Moringa oleifera*. **Journal of Health, Population and Nutrition**, v. 33, p. 60-67, 2015.
- HÖLL, J.; LINDNER, S.; WALTER, H.; JOSHI, D.; POSCHET, G.; PFLEGER, S.; ZIEGLER, T.; HELL, R.; BOGS, J.; RAUSCH, T. Impact of pulsed UV- B stress exposure on plant performance: How recovery periods stimulate secondary metabolism while reducing adaptive growth attenuation. **Plant, Cell & Environment**, v. 42, p. 801-814, 2019.
- HU, L.; LIU, P.; JIN, Z.; SUN, J.; WENG, Y.; CHEN, P.; DU, S.; WEI, A.; LI, Y. A mutation in CsHY2 encoding a Phytochromobilin (PΦB) synthase leads to an elongated hypocotyl 1(elh1) phenotype in cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 134, p. 2639-2652, 2021.
- HUCHÉ-THÉLIER, L.; CRESPEL, L.; GOURRIEREC, J. L.; MOREL, P.; SAKR, S.; LEDUC, N. Light signaling and plant responses to blue and UV radiations - perspectives for applications in horticulture. **Environmental and Experimental Botany**, v. 121, p. 22-38, 2016.
- HUSSAIN, A.; RIZWAN, M.; ALI, Q.; ALI, S. Seed priming with silicon nanoparticles improved the biomass and yield while reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat grains. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 7579-7588, 2019.
- IDRIS, A.; LINATOC, A. C.; MUHAMMAD, S. M.; TAKAI, Z. I. An effect of light intensity on the total flavonoid and phenolic content of *Moringa oleifera*. **Journal of Tomography System and Sensor Application**, v. 2, p. 19-24, 2019.

- ILIĆ, Z. S.; FALLIK, E.; Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, p. 79-90, 2017.
- IQBAL, N.; KHAN, N. A.; FERRANTE, A.; TRIVELLINI, A.; FRANCINI, A.; KHAN, M. I. R. Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 475, 2017.
- JING, X.; WANG, H.; GONG, B.; LIU, S.; WEI, M.; AI, X.; LI, Y.; SHI, Q.; Secondary and sucrose metabolism regulated by different light quality combinations involved in melon tolerance to powdery mildew. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 124, p. 77-87, 2018.
- JOHNSON, R. E.; KONG, Y.; ZHENG, Y. Elongation growth mediated by blue light varies with light intensities and plant species: A comparison with red light in arugula and mustard seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 169, p. e103898, 2020.
- JUNG, J. H.; KIM, H. Y.; KIM, H. S.; JUNG, S. H. Transcriptome analysis of *Panax ginseng* response to high light stress. **Journal of Ginseng Research**, v. 44, p. 312-320, 2020.
- KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant physiology**, v. 57, p. 315-319, 1976.
- KARTHICKEYAN, V. Effect of cetane enhancer on *Moringa oleifera* biodiesel in a thermal coated direct injection diesel engine. **Fuel**, v. 235, p. 538-550, 2019.
- KAZAN, K. Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 20, p. 219-229, 2015.
- KHOLIF, A. E.; GOUDA, G. A.; ANELE, U. Y.; GALYEAN, M. L. Extract of *Moringa oleifera* leaves improves feed utilization of lactating Nubian goats. **Small Ruminant Research**, v. 158, p. 69-75, 2018.
- KRAUSE, G. H.; WINTER, K.; KRAUSE, B.; VIRGO, A. Light-stimulated heat tolerance in leaves of two neotropical tree species, *Ficus insipida* and *Calophyllum longifolium* Funct. **Plant Function and Evolutionary Biology**, v. 42, p. 42-51, 2015.
- KUCZYŃSKA, A.; CARDENIA, V.; OGRODOWICZ, P.; KEMPA, M.; RODRIGUEZ-ESTRADA, M. T.; MIKOŁAJCZAK, K. Effects of multiple abiotic stresses on lipids and sterols profile in barley leaves (*Hordeum vulgare* L.). **Plant**

- Physiology and Biochemistry**, v. 141, p. 215-224, 2019.
- KULAK, M.; OZKAN, A.; BINDAK, R. A bibliometric analysis of the essential oil-bearing plants exposed to the water stress: How long way we have come and how much further? **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 418-436, 2019.
- LANOUE, J.; LEONARDOS, E. D.; GRODZINSKI, B. Effects of light quality and intensity on diurnal patterns and rates of photo-assimilate translocation and transpiration in tomato leaves. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1-15, 2018.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531p.
- LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v. 103, p. 561-579, 2009.
- LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. 173, p. F4.3.1-F4.3.8, 2001.
- LIN, Z.; ZHONG, S.; GRIERSON, D. Recent advances in ethylene research. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 3311-3336, 2009.
- LIU, X.; MA, D.; ZHANG, Z.; WANG, S.; DU, S.; DENG, X.; YIN, L. Plant lipid remodeling in response to abiotic stresses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 165, p. 174-184, 2019.
- MACÁRIO, A. P. S.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; BRITO NETO, J. F.; MELO, A. S.; DANTAS NETO, J. Allometric models for estimating *Moringa oleifera* leaflets area. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e005220, 2020.
- MAJEED, A.; MUHAMMAD, Z.; ISLAM, S.; AHMAD, H. Salinity imposed stress on principal cereal crops and employing seed priming as a sustainable management approach. **Acta Ecologica Sinica**, v. 39, p. 280-283, 2019.
- MANTOVANI, A. A method to improve leaf succulence quantification. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 42, p. 9-14, 1999.
- MARIAS, D. E.; MEINZER, F. C.; STILL, C. Impacts of leaf age and heat stress duration on photosynthetic gas exchange and foliar nonstructural carbohydrates in *Coffea Arabica*. **Ecology and Evolution**, v. 7, p. 1297-1310, 2017.
- MARTINS, J. J. F.; SOARES, A. M. V. M.; AZEITEIRO, U. M.; CORREIA, M. L. T. Anthropogenic action effects caused by soybean farmers in a watershed of Tocantins - Brazil and its connections with climate change. **Climate Change-Resilient Agriculture and Agroforestry**, p. 257-281, 2019.



- MATIC, I.; GUIDI, A.; KENZO, M.; MATTEI, M.; GALGANI, A. Investigation of medicinal plants traditionally used as dietary supplements: A review on *Moringa oleifera*. **Journal of Public Health in Africa**, v. 9, p. e841, 2018.
- MIAO, Y.; CHEN, Q.; QU, M.; GAO, L.; HOU, L. Blue light alleviates ‘red light syndrome’ by regulating chloroplast ultrastructure, photosynthetic traits and nutrient accumulation in cucumber plants. **Scientia Horticulturae**, v. 257, p. e108680, 2019.
- MONTEIRO, C. B.; LOPES, J. C.; ZANOTTI, R. F.; PAIVA, C. E. C.; ESBERARD, P. O etileno reverte os efeitos deletérios do estresse salino em sementes de milho? **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, p. e1006, 2015.
- NIEVOLA, C. C.; CARVALHO, C. P.; CARVALHO, V.; RODRIGUES, E. Rapid responses of plants to temperature changes. **Temperature**, v. 4, p. 371-405, 2017.
- NOTUNUNU, I.; MOLELEKI, L.; ROOPNARAIN, A.; ADELEKE, R. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on the molecular responses of maize under drought and heat stresses: A review. **Pedosphere**, v. 32, p. 90-106, 2022.
- NUNES, L. R. L.; PINHEIRO, P. R.; PINHEIRO, C. L.; LIMA, K. A. P.; DUTRA, A.S. Germination and vigour in seeds of the cowpea in response to salt and heat stress. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 143-151, 2019.
- OBATA, T.; FERNIE, A. R. The use of metabolomics to dissect plant responses to abiotic stresses. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 69, p. 3225-3243, 2012.
- OLADIPO, B.; BETIKU, E. Process optimization of solvent extraction of seed oil from *Moringa oleifera*: an appraisal of quantitative and qualitative process variables on oil quality using D-optimal design. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, p. e101187, 2019.
- OLDONI, T. L. C.; MERLIN, N.; BICAS, T. C.; PRASNIEWSKI, A. C.; CARPES, S. T.; ASCARI, J.; ALENCAR, S. M.; MASSARIOLI, A. P.; BAGATINI, M. D.; MORALES, R.; THOMÉ, G. Antihyperglycemic activity of crude extract and isolation of phenolic compounds with antioxidant activity from *Moringa oleifera* Lam. leaves grown in Southern Brazil. **Food Research International**, v. 141, p. e110082, 2021.
- OLIVER, R. J.; FINCH, J. W.; TAYLOR, G. Second generation bioenergy crops and climate change: a review of the effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and drought on water use and the implications for yield. **GCB Bioenergy**, v. 1, p. 97-114, 2009.
- OMOTOSO, G. O.; GBADAMOSI, I. T.; OLAJIDE, O. J.; DADA-HABEEB, S. O.; AROGUNDADE, T. T.; YAWSON, E. O. *Moringa oleifera* phytochemicals protect

- the brain against experimental nicotine-induced neurobehavioral disturbances and cerebellar degeneration. **Pathophysiology**, v. 25, p. 57-62, 2018.
- OYEYINKA, A. T.; OYEYINKA, S. A. *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, p. 127-136, 2018.
- ÖZCAN, M. M. *Moringa* spp: composition and bioactive properties. **South African Journal of Botany**, v. 11, p. 25-31, 2018.
- PAIVA, P. M. G.; PONTUAL, E. V.; NAPOLEÃO, T. H.; COELHO, L. C. B. B. Tecidos de *Moringa oleifera* Lam. como fontes de proteínas bioativas: lectinase inibidores de proteases. In: SILVA, G. F.; SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; BERGAMASCO, R.; PAIVA, P. M. G.; SANT'ANNA, M. C. S.; SERAFINI, M. R.; BERY, C. C. S. (eds.). **Potencialidades da *Moringa oleifera* Lam.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2018. 201-226 p.
- PAN, C.; ZHANG, H.; MA, Q.; FAN, F.; FU, R.; AHAMMED, G. J.; YU, J.; SHI, K. Role of ethylene biosynthesis and signaling in elevated CO<sub>2</sub>-induced heat stress response in tomato. **Planta**, v. 250, p. 563-572, 2019.
- PAZOUKI, L.; KANAGENDRAN, A.; Li, S.; KÄNNASTE, A.; MEMARI, H. R.; BICHELE, R.; NIINEMETS, Ü. Mono- and sesquiterpene release from tomato (*Solanum lycopersicum*) leaves upon mild and severe heat stress and through recovery: from gene expression to emission responses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 132, p. 1-15, 2016.
- PENG, G.; XIE, X. L.; JIANG, Q.; SONG, S.; XU, C. J.; Chlorophyll a/b binding protein plays a key role in natural and ethylene-induced degreening of Ponkan (*Citrus reticulata* Blanco). **Scientia Horticulturae**, v. 160, p. 37-43, 2013.
- PEREIRA, F. S. G.; SOBRAL, A. D.; SILVA, A. M. R. B.; ROCHA, M. A. G. *Moringa oleifera*: uma cultura agrícola promissora e de inclusão social para o Brasil e regiões semiáridas para a produção de biomassa energética (biodiesel e briquetes). **Gorduras de Oleaginosas, Lípidos de Culturas**, 25, p. e106, 2017.
- PEREIRA, F. S. G.; SOBRAL, A. D.; SILVA, A. M. R. B.; ROCHA, M. A. G. *Moringa oleifera*: a promising agricultural crop and of social inclusion for Brazil and semi-arid regions for the production of energetic biomass (biodiesel and briquettes). **Oilseeds & fats Crops and Lipids**, v. 25, p. 1-11, 2018.

- PEREIRA, K. T. O.; SANTOS, B. R. V.; BENEDITO, C. P.; LOPES, E. G.; AQUINO, G. S. M. Germinação e vigor de sementes de *Moringa oleifera* Lam. em diferentes substratos e temperaturas. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 92-99, 2015.
- PEREIRA, M. C.; CARDOZO, N. P.; GIANCOTTI, P. R. F.; ALVES, P. L. C. Germinação de sementes de Melão-de-São-Caetano sob variação de água, luz e temperatura. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 363-370, 2011.
- QIN, R.; WANG, X. Effects of crown height on the compensatory growth of Italian ryegrass based on combined effects of stored organic matter and cytokinin. **Grassland Science**, v. 66, p. 29-39, 2019.
- QUEIROZ, N. L.; ROCHA, M. S.; ROCHA, M. S.; BELTRÃO, N. E. M. Análise de crescimento não destrutiva em seis linhagens de algodoeiro herbáceo. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 5; Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 2 e I Fórum Capixaba de Pinhão Manso, 2012, Guarapari. Desafios e Oportunidades: **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2012. 110p.
- RAMAN, J. K.; ALVES, C. M.; GNANSOUNOU, E. A review on moringa tree and vetiver grass-Potential biorefinery feedstocks. **Bioresource Technology**, v. 10 p. e094, 2018.
- RHAMAN, M. S.; IMRAN, S.; RAUF, F.; KHATUN, M.; BASKIN, C. C.; MURATA, Y.; HASANUZZAMAN, M. Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. **Plants**, v. 10, p. 37, 2021.
- RIBAUDO, J.; POVOLO, C.; ZAGOTTO, G. *Moringa oleifera* Lam.: A rich source of phytoactives for the health of human being. In: RAHMAN, A. (eds.). **Studies in Natural Products Chemistry**. Amsterdam: Elsevier, 2019. 179-210p.
- RIBEIRO, A. F. F. **Morfofisiologia de plantas jovens de café arábica submetidas a níveis de sombreamento artificial e doses de paclobutrazol**. 2018. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2018.
- RIVAS, R.; OLIVEIRA, M. T.; SANTOS, M. G. Three cycles of water deficit from seed to young plants of *Moringa oleifera* woody species improves stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 63, p. 200-208, 2013.
- RIZWAN, M.; ALI, S.; ALI, B.; ADREES, M.; ARSHAD, M.; HUSSAIN, A.; REHMAN, M. Z.; WARIS, A. A. Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. **Chemosphere**, v. 214, p. 269-277, 2019.

- ROYCHOUDHURY, A.; TRIPATHI, D. K. **Molecular plant abiotic stress: biology and biotechnology**. Wiley, 2019. 480 p.
- SAHAY, S.; YADAV, U.; SRINIVASAMURTHY, S. Potential of *M. oleifera* as a functional food ingredient: A review. **International Journal of Food Science and Nutrition**, v. 2, p. 31-37, 2017.
- SALEMI, F.; ESFAHANI, M. N.; TRAN, L. S. P. Mechanistic insights into enhanced tolerance of early growth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under low water potential by seed-priming with ascorbic acid or polyethylene glycol solution. **Industrial Crops and Products**, v. 137, p. 436-445, 2019.
- SANO, N.; SEO, M. Cell cycle inhibitors improve seed storability after priming treatments. **Journal of Plant Research**, v. 132, p. 263-271, 2019.
- SANT'ANNA, M. C. S.; SILVA, G. F.; SANTANA, M. F. S.; BERY, C. C. S.; LOUZEIRO, H. C. Biodiesel de Moringa. In: SILVA, G. F.; SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; BERGAMASCO, R.; PAIVA, P. M. G.; SANT'ANNA, M. C. S.; SERAFINI, M. R.; BERY, C. C. S. (eds.). **Potencialidades da Moringa oleifera Lam.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2018. 145-162 p.
- SANTANA, C. R.; PEREIRA, D. F.; ARAÚJO, N. A.; CAVALCANTI, E. B.; SILVA, G. B. Caracterização físico-química da moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, p. 55-60, 2010.
- SANTOS, C. M.; GONÇALVES, E. R.; ENDRES, L.; GOMES, T. C. A.; JADOSKI, C. J.; NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, p. 95-102, 2010.
- SANTOS, C. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, M. A. L.; PEDROSA, E. M. R. Evapotranspiration and crop coefficients of *Moringa oleifera* under semi-arid conditions in Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 840-845, 2017.
- SAUCEDO-POMPA, S.; TORRES-CASTILLO, J.A.; CASTRO-LÓPEZ, C.; ROJAS, R.; SÁNCHEZ-ALEJO, E.J.; NGANGYO-HEYA, M.; MARTÍNEZ-ÁVILA, G.C.G. Moringa plants: Bioactive compounds and promising applications in food products. **Food Research International**, v. 111, p. 438-450, 2018.
- SAVVIDES, A.; FANOURLAKIS, D.; IEPEREN, W. van. Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 1135-1143, 2012.

- SAXE, H.; CANNELL, M. G. R.; JOHNSEN, Ø.; RYAN, M. G.; VOURLITIS, G. Tree and forest functioning in response to global warming. **New Phytologist**, v. 149, p. 369-399, 2001.
- SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, p. 655-662, 2011.
- SERAFINI, M. R.; SILVA, G. F.; BERY, C. C. S.; SANTOS, B. S. Usos medicinais e biotecnológicos. In: SILVA, G. F.; SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; BERGAMASCO, R.; PAIVA, P. M. G.; SANT'ANNA, M. C. S.; SERAFINI, M. R.; *moringa oleifera* leaves improves feed utilization of lactating Nubian goats. **Small Ruminant Research**, v. 158, 2018. 69-75 p.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika Trust**, v. 52, p. 591-609, 1965.
- SHIRKE, P. A.; PATHRE, U. V. Influence of leaf-to-air vapour pressure deficit (VPD) on the biochemistry and physiology of photosynthesis in *Prosopis juliflora*. **Journal of experimental Botany**, v. 55 p. 2111-2120, 2004.
- SILVA, A. E.; FERRAZ, R. L. S.; SILVA, J. P.; COSTA, P. S.; VIÉGAS, P. R. A.; BRITO NETO, J. F.; MELO, A. S.; MEIRA, K. S.; SOARES, C. S.; MAGALHÃES, I. D.; MEDEIROS, A. S. Microclimate changes, photomorphogenesis and water consumption of *Moringa oleifera* cuttings under different light spectrums and exogenous phytohormone concentrations. **Australian Journal Crop Science**, v. 14, p. 751-760, 2020.
- SILVA, J. P. V.; SERRA, T. M.; GOSSMANN, M.; WOLF, C. R.; MENEGHETTI, M. R.; MENEGHETTI, S. M. P. *Moringa oleifera* oil: Studies of characterization and biodiesel production. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, p. 1527-1530, 2010.
- SINGH, A.; KUMAR, A.; YADAV, S.; SINGH, I. K. Reactive oxygen species-mediated signaling during abiotic stress. **Plant Gene**, v. 18, p. e100173, 2019.
- SOUTO, P. C.; MAIOR JÚNIOR, S. G. S. Origem, botânica e morfologia da Moringa. In: SILVA, G. F.; SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; BERGAMASCO, R.; PAIVA, P. M. G.; SANT'ANNA, M. C. S.; SERAFINI, M. R.; BERY, C. C. S. (eds.). **Potencialidades da *Moringa oleifera* Lam.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2018. 15-36p.
- STATSOFT INC. **Statistica: data analysis software system.** version 7, 2004.

- STOHS, S. J.; HARTMAN, M. J. Review of the safety and efficacy of *Moringa oleifera*. **Phytotherapy Research**, v. 29, p. 796-804, 2015.
- TESFAY, S. Z.; MODI, A. T.; MOHAMMED, F. The effect of temperature in moringa seed phytochemical compounds and carbohydrate mobilization. **South African Journal of Botany**, v. 102, p. 190-196, 2016.
- THAO, N. P.; KHAN, M. I. R.; THU, N. B. A.; HOANG, X. L. T.; ASGHER, M.; KHAN, N. A.; TRAN, L. S. P. Role of ethylene and its cross talk with other signaling molecules in plant responses to heavy metal stress. **Plant Physiology**, v.169, p. 73-84, 2015.
- TUAN, P. A.; SUN, M.; NGUYEN, T. N.; PARK, S.; AYELE, B. T. **Molecular mechanisms of seed germination**. In: FENG, H.; NEMZER, B.; DEVRIES, J. W. (eds). Sprouted grains: nutritional value, production and applications. Amsterdã: Woodhead Publishing and AACCC International Press, 2019. 1-24p.
- TURAN, S.; KASK, K.; KANAGENDRAN, A.; Li, S.; ANNI, R.; TALTS, E.; RASULOV, B.; KÄNNASTE, A.; NIINEMETS, Ü. Lethal heat stress-dependent volatile emissions from tobacco leaves: what happens beyond the thermal edge? **Journal of Experimental Botany**, v. 70, p. 5017-5030, 2019.
- URVA; H. S.; JAMIL, Y.; HAQ, Z. U.; MUJAHID, T.; KHAN, A. U.; IQBAL, M.; ABBAS, M. Low power continuous wave-laser seed irradiation effect on *Moringa oleifera* germination, seedling growth and biochemical attributes. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 170, p. 314-323, 2017.
- VASCONCELOS, L. H. C.; VENDRUSCOLO, E. P.; VASCONCELOS, R. F.; SANTOS, M. M.; SELEGUINI, A. Utilização de métodos físicos e de fitorreguladores para superação de dormência em sementes de pinha. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, p. 20-24, 2015.
- VASCONCELOS, M. C.; COSTA, J. C.; SOUSA, J. P. S.; SANTANA, F. V.; SOARES, T. F. S. N.; OLIVEIRA JÚNIOR, L. F. G.; SILVA-MANN, R. Biometric and physiological responses to water restriction in *Moringa oleifera* seedlings. **Floresta e Ambiente**, v. 26, p. 1-8, 2019.
- VASEVA, I. I.; QUDEIMAT, E.; POTUSCHAK, T.; Du, Y.; GENSCHIK, P.; VANDENBUSSCHE, F.; VAN DER STRAETEN, D. The plant hormone ethylene restricts Arabidopsis growth via the epidermis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, p. E4130-E4139, 2018.

- VIEIRA, A. M. S.; AMBROSIO-UGRI, M. C. B.; NISHI, L.; SILVA, G. F.; BERGAMASCO, R. Potencial nutricional e aplicações da moringa na alimentação humana e animal. In: SILVA, G. F.; SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; BERGAMASCO, R.; PAIVA, P. M. G.; SANT'ANNA, M. C. S.; SERAFINI, M. R.; VILLASEÑOR-BASULTO, D. L.; ASTUDILLO-SÁNCHEZ, P. D.; REAL-OLVERA, J.; BANDALA, E. R. Wastewater treatment using *Moringa oleifera* Lam seeds: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 23, 2018. 151-164p.
- VILLASEÑOR-BASULTO, D. L.; ASTUDILLO-SÁNCHEZ, P. D.; REAL-OLVERA, J.; BANDALA, E. R. Wastewater treatment using *Moringa oleifera* Lam seeds: a review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 23, p. 151-164. 2018.
- WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, p. 199-223, 2007.
- WANG, F. H.; AHAMMED, G. J.; LI, G. Y.; BAI, P. T.; JIANG, Y.; WANG, S. X.; CHEN, S. C. Ethylene is involved in red light-induced anthocyanin biosynthesis in cabbage (*Brassica oleracea*). **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 21, p. 955-963, 2019.
- WANG, X. L.; WANG, J. J.; SUN, R. H.; HOU, X. G.; ZHAO, W.; SHI, J.; ZHANG, Y. F.; QI, L.; LI, X. L.; DONG, P. H.; ZHANG, L. X.; XU, G. W.; GAN, H. B. Correlation of the corn compensatory growth mechanism after post-drought rewatering with cytokinin induced by root nitrate absorption. **Agricultural Water Management**, v. 166, p. 77-85, 2016.
- WHITELAM, G. C.; HALLIDAY, K. J. Light and plant development. **Annual Plant Reviews**, 2007, 329 p.
- XIA, X. J.; ZHOU, Y. H.; SHI, K.; ZHOU, J.; FOYER, C. H.; YU, J. Q. Interplay between reactive oxygen species and hormones in the control of plant development and stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, p. 2839-2856, 2015.
- YAO, W.; ZHOU, B.; ZHANG, X.; ZHAO, K.; CHENG, Z.; JIANG, T. Transcriptome analysis of transcription factor genes under multiple abiotic stresses in *Populus simonii* × *P.nigra*. **Gene**, v. 707, p. 189-197, 2019.
- ZAPATA, P. J.; SERRANO, M.; PRETEL, M. T.; AMORÓS, A.; BOTELLA, M. A. Polyamines and ethylene changes during germination of different plant species under salinity. **Plant Science**, v. 167, p. 781-788, 2004.

- ZHAO, W.; ZHENG, Z.; ZHANG, J.; ROGER, S. F.; LUO, X. Allelopathically inhibitory effects of eucalyptus extracts on the growth of *Microcystis aeruginosa*. **Chemosphere**, v. 225, p. 424-433, 2019.
- ZHOU, H.; BEYNON-DAVIES, R.; CARSLAW, N.; DODD, I. C.; ASHWORTH, K. Yield, resource use efficiency or flavour: Trade-offs of varying blue-to-red lighting ratio in urban plant factories. **Scientia Horticulturae**, v. 295, p. e110802, 2022.
- ZILIO, M. **Crescimento e partição de biomassa de cultivares de soja submetida à restrição hídrica em diferentes estádios fenológicos**. 2014. 193 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.