



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS IV  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRÁRIAS E EXATAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**VIVIANE SILVA MARTINS**

**MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM SOJA COM  
MELATONINA FOLIAR**

**CATOLÉ DO ROCHA, PB**

**2024**

VIVIANE SILVA MARTINS

**MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM SOJA COM  
MELATONINA FOLIAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Agronomia.

**Área de concentração:** Fisiologia de Plantas Cultivadas

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rayane Nunes Gomes

CATOLÉ DO ROCHA, PB

2024

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M386m Martins, Viviane Silva.

Mitigação dos efeitos do déficit hídrico em soja com melatonina foliar [manuscrito] / Viviane Silva Martins. - 2024.  
26 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2024.

"Orientação : Prof. Dra. Rayane Nunes Gomes, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA".

1. Glycine max L.. 2. Estresse abiótico. 3. Fitormônio. 4. Produção vegetal. I. Título

21. ed. CDD 633.34

VIVIANE SILVA MARTINS

MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM SOJA COM  
MELATONINA FOLIAR

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Coordenação do Curso  
de Agronomia da Universidade Estadual  
da Paraíba, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharela em  
Agronomia

Aprovada em: 28/06/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rayane Nunes Gomes** (\*\*\*.797.904-\*\*), em **26/12/2024 17:37:55** com chave **495125eec3c911efb2511a1c3150b54b**.
- **Danielly da Silva Lucena** (\*\*\*.427.484-\*\*), em **26/12/2024 18:43:30** com chave **72d1571ec3d211efa6351a1c3150b54b**.
- **Paulo Cássio Alves Linhares** (\*\*\*.581.244-\*\*), em **26/12/2024 17:32:59** com chave **98bb18f2c3c811efa3481a1c3150b54b**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse [https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar\\_documento/](https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/) e informe os dados a seguir.

**Tipo de Documento:** Folha de Aprovação do Projeto Final

**Data da Emissão:** 26/12/2024

**Código de Autenticação:** db984c



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que foi essencial nos momentos difíceis, pela força e coragem durante toda caminhada. E a toda minha família pelo apoio incondicional, e ao meu orientador pelo apoio e incentivo. DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por me permitir chegar até aqui com saúde e perseverança; sem Ele eu não teria conseguido.

Ao amigo, professor e orientador Dr. Paulo Cássio Alves Linhares pela oportunidade de ser sua orientanda, por acreditar no meu potencial e sempre me incentivar a não desistir, tenho-lhe muita gratidão.

Ao meu filho Lucas Vinícius e ao meu esposo Héder Evangelista pelo apoio, companheirismo, compreensão e paciência durante toda a condução desse trabalho, por acreditarem que eu conseguiria. Toda as dificuldades enfrentadas foram por vocês.

A todas amizadas construídas durante a jornada acadêmica, em especial as minhas amigas Carla Regina, Neidijane Oliveira e Milena Emanuela que Deus me presenteou e que se tornaram irmãs, obrigada por sempre estarem ao meu lado, por tornarem a caminhada mais leve e por contribuírem para a realização desse sonho.

Aos professores e funcionários, pelos ensinamentos e experiências compartilhadas durante esses cinco anos.

A instituição UEPB, Campus IV - Catolé do Rocha, PB, pela oportunidade de realizar minha graduação em Agronomia.

**Muito obrigada!**

## **EPÍGRAFE**

*“A única maneira de fazer um excelente trabalho é amar o que você faz”.*

*Steve Jobs*

## RESUMO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das culturas mais importantes mundialmente, essencial para a produção de óleo vegetal e proteínas. No entanto, a produção de soja enfrenta desafios significativos devido ao estresse hídrico, que pode reduzir drasticamente o rendimento das plantas. A melatonina, um hormônio natural encontrado em plantas e animais, tem emergido como um potencial mitigador do estresse hídrico em plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia da melatonina na mitigação do estresse hídrico em plantas de soja, analisando seus efeitos sobre o crescimento e os mecanismos fisiológicos e bioquímicos envolvidos. Conduziu-se um experimento em casa de vegetação sob delineamento de blocos casualizados com diferentes tratamentos de melatonina (0,0; 0,6 e 0,9 mM) aplicados em plantas de soja submetidas a condições de déficit hídrico [DH] (sem e com). As plantas sob DH foram mantidas a 50% da capacidade de campo (cc). Avaliaram-se: altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), o acúmulo de massa seca da raiz (MSR), do caule (MSC), da folha (MSF), massa seca total (MST), relação raiz/parte aérea (R/PA), e o índice de tolerância ao déficit hídrico pela MSR ( $IT_{MSR}$ ), pela MSPA ( $IT_{MSPA}$ ) e pela MST ( $IT_{MST}$ ). Realizou-se um teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), para comparar os tratamentos testados. Sob condições bem irrigadas as plantas de soja apresentam maior AP, NF e MSC, quando suplementadas com a melatonina a 0,9 mM. Em condições de DH as plantas de soja mantiveram a AP, MSR, MSC e MSF semelhantes ao controle, quando receberam a melatonina foliar. Porém, a melatonina não apresentou efeito mitigador para manter a MST em condições de DH. Maior  $IT_{MSR}$  e  $IT_{MST}$  foram registrados nas plantas que receberam a aplicação de 0,9 mM de melatonina. Portanto, plantas de soja apresentaram tolerância ao DH, com maior AP, DC e NF, além da manutenção do acúmulo de massa seca, quando suplementadas com melatonina a 0,9 mM. Sob condições bem irrigadas e com aplicação de melatonina foliar a 0,9 mM, as plantas de soja apresentaram maior crescimento e acúmulo de biomassa.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L. estresse abiótico; fitormônio; produção vegetal.

## ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* L.) is one of the most important crops worldwide, essential for the production of vegetable oil and proteins. However, soybean production faces significant challenges due to water stress, which can drastically reduce plant yields. Melatonin, a natural hormone found in plants and animals, has emerged as a potential water stress mitigator in plants. The objective of this work was to evaluate the effectiveness of melatonin in mitigating water stress in soybean plants, analyzing its effects on growth and the physiological and biochemical mechanisms involved. An experiment was conducted in a greenhouse under a randomized block design with different melatonin treatments (0.0, 0.6 and 0.9 mM) applied to soybean plants subjected to water deficit [WD] conditions (without and with). Plants under WD were maintained at 50% of field capacity (cc). The following were evaluated: plant height (PH), stem diameter (SD), number of leaves (NL), leaf area (LA), dry mass accumulation of the root (RDM), stem (SDM), leaf (LDM), total dry mass (MST), root/shoot ratio (R/PA), and the water deficit tolerance index by RDM ( $TIS_{RDM}$ ), SDM ( $TIS_{SDM}$ ) and TDM ( $TIS_{TDM}$ ). A Tukey test ( $p < 0.05$ ) was performed to compare the treatments tested. Under well-irrigated conditions, soybean plants show higher PH, NL and SDM when supplemented with 0.9 mM melatonin. Under WD conditions, soybean plants maintained PH, RDM, SDM and LDM similar to the control, when they received foliar melatonin. However, melatonin did not have a mitigating effect to maintain TDM in WD conditions. Higher  $TIS_{RDM}$  and  $TIS_{TDM}$  were recorded in plants that received the application of 0.9 mM melatonin. Therefore, soybean plants showed tolerance to WD, with higher PH, SD and NL, in addition to maintaining dry mass accumulation, when supplemented with 0.9 mM melatonin. Under well-irrigated conditions and 0.9 mM foliar melatonin application, soybean plants showed greater growth and biomass accumulation.

**Keywords:** *Glycine max* L. abiotic stress; phytohormone; vegetables production.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Altura de plantas (AP, A), diâmetro do caule (DC, B), número de folhas (NF, C) e área foliar (AF, D), de plantas de soja sob concentrações de melatonina foliar em diferentes condições hídricas..... 18
- Figura 2.** Acúmulo de massa seca da raiz (MSR, A), do caule (MSC, B), da folha (MSF, C), massa seca total (MST, D) e relação raiz/parte aérea (R/PA, E), de plantas de soja sob concentrações de melatonina foliar em diferentes condições hídricas..... 20
- Figura 3.** Índice de tolerância ao déficit hídrico pela massa seca da raiz (ITMSR) [A], pela massa seca da parte aérea (ITMSPA) [B] e pela massa seca total (ITMST) [C], de plantas de soja sob concentrações de melatonina foliar..... 22

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
<b>2.1 Importância agroeconômica da cultura da soja</b> .....	12
<b>2.2 Déficit hídrico na cultura da soja</b> .....	12
<b>2.3 Melatonina na atenuação do déficit hídrico</b> .....	13
<b>2.4 Produção de soja no Nordeste</b> .....	14
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
<b>3.1 Área experimental</b> .....	15
<b>3.2 Delineamento experimental e tratamentos</b> .....	15
<b>3.3 Condução experimental</b> .....	15
<b>3.4 Características analisadas</b> .....	16
<b>3.5 Análise estatística</b> .....	17
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	17
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	24
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	25

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) instituiu-se em uma das culturas agrícolas mais cultivadas mundialmente, devido ao seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, que oferece diversas aplicações na alimentação humana e animal, com importante papel socioeconômico, além de se constituir em matéria-prima indispensável para impulsionar diferentes complexos agroindustriais.

Originada no Leste da Ásia, a soja foi domesticada na China há cerca de 5.000 anos e, ao longo dos séculos, disseminou-se para outras regiões, tornando-se um cultivo essencial em países como Brasil, Estados Unidos e Argentina. No Brasil foi cultivada como uma cultura de verão na produção de forragem em meados da década de 60. Com aumento do preço da soja na década de 70 a cultura ganhou visibilidade por parte dos agricultores, que já produziam aproximadamente 500 mil toneladas/ano, conforme dados da Embrapa (2019).

No cenário mundial, o Brasil está entre os maiores produtores e exportadores dessa commodity (FILASSI; OLIVEIRA, 2022; COSTA JUNIOR.; OGINO, 2024). Os mesmos autores mencionam que, estudos na área de ciência e tecnologia na otimização do cultivo da soja têm favorecido a competitividade do agronegócio brasileiro, principalmente no mercado internacional.

No Brasil, a região Centro-Oeste é conhecida por ser a maior produtora de grãos, ocupando a marca de 54 milhões de toneladas na safra 2020/2021. Destes, 35 milhões de toneladas foram produzidas pelo estado do Mato Grosso, o qual ocupa a primeira posição como o estado mais produtor do país. Contudo, o aumento excessivo na produção desta oleaginosa, como outros alimentos, se dá em decorrência do aumento populacional (CONAB, 2022), além do uso de plantas cada vez mais adaptadas para se desenvolver em diversas regiões (FAVORETO et al., 2018; FAVORETO et al., 2017).

A população mundial atualmente ultrapassa a marca de 7,6 bilhões de pessoas e especifica que até 2050 esse número seja acrescido de 2,2 bilhões (DESA, 2017). Garantir a segurança alimentar de uma população crescente será desafiador e exigirá um acréscimo em torno de 70% na produção agrícola mundial (FAO, 2010) e o uso racional e eficiente da água deverá ser levado em consideração, devido as alterações climáticas naturais.

Na ausência hídrica as plantas sofrem várias consequências, por exemplo os tecidos vasculares perdem água e não se reidratam, assim como as trocas gasosas e a respiração não acontecem. Com isso, inúmeras atividades metabólicas se desestabilizam

e não fornecem a energia e os nutrientes necessários para a retomada do crescimento do eixo embrionário e para o desenvolvimento vive-douro da planta (CARDOSO, 2012; TAIZ et al., 2017).

Melhorar a capacidade da cultura em se adaptar e se desenvolver em condições de estresses ambientais é uma importante estratégia agrônômica. Nesse sentido, uma alternativa é a utilização de fitohormônios ou bioestimuladores na produção agrícola, os quais apresentam efeitos positivos na regulação do crescimento e no desenvolvimento da tolerância em plantas (ALTAF et al., 2022). Os relatos dos estudos com melatonina são vários, nos quais ela é qualificada como um importante regulador de crescimento vegetal, pois melhora o crescimento e o desenvolvimento das plantas, além de melhorar a tolerância a diferentes estresses, como o déficit hídrico (XIE et al., 2017; AHMAD et al., 2019; JIA et al., 2020).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo testar a aplicação de melatonina foliar para mitigar os efeitos do déficit hídrico na cultura da soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância agroeconômica da cultura da soja

A soja (*Glycine max* L.) é uma leguminosa pertencente à família das fabáceas, na qual também faz parte o feijão, a ervilha e a lentilha. Apresentam diversas variedades, possuem o fruto do tipo vagem e sistema radicular pivotante, com raiz principal e capacidade de fixar nitrogênio ao solo. Os grãos são ricos em lipídeos (20%) e proteínas (40%), desta forma é frequentemente destinada à produção de óleo vegetal e ração animal, determinando seu valor comercial (RODRIGUES et al., 2010).

A cultura é uma realidade no agronegócio brasileiro, gerando renda e empregos diretos e indiretos para o país. O Brasil é o maior produtor em nível mundial, com produção estimada em 155.736,5 milhões de toneladas e produtividade de 3.537 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2022/23 (CONAB, 2023). É a principal *commodity* agrícola produzida, devido aos grandes avanços tecnológicos empregados na cultura, o que permite sua produção em todo país (EMBRAPA, 2011). Além disso, com o crescimento do mercado favorece a forte expansão territorial da cultura que ocupa a região tradicional do cerrado e centro oeste. A implantação em regiões norte e nordeste, conhecida como região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) vem se fortalecendo gradativamente.

O uso e consumo da soja *in natura* não é comum, apenas parte dos produtos derivados da soja são reconhecidos pela maior parte da população, como leite de soja, shoyo, queijo e proteínas texturizadas como a carne. A maior parte da soja produzida no país é destinada para comercialização de grãos secos (soja *commodity*), sendo aproveitada na produção de ração animal e óleo vegetal (ESPOLADOR et al., 2017).

Além da importância econômica, a soja ainda traz grandes benefícios para os sistemas de produção agrícola, pois sendo leguminosa pode apresentar vários benefícios ao solo como a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). Sendo bastante utilizada em sistemas de integração e rotação de cultura pela adaptabilidade ao sistema de plantio direto. Com isso, agregando vantagens na rentabilidade e benefícios ao ambiente agrícola (AL-KAISI et al., 2016).

### 2.2 Déficit hídrico na cultura da soja

A soja apresenta alto potencial genético produtivo, entretanto o rendimento é

altamente influenciado por fatores ambientais, especialmente, pela disponibilidade hídrica (CAVALCANTE et al., 2020). Nesse aspecto, a ocorrência de eventos climáticos durante a safra da soja, especialmente na Região Nordeste, é a principal causa das reduções no rendimento dos grãos, pois afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, atrasando a semeadura e colheita, prejudicando assim a produtividade (BOSSOLANI et al., 2022).

A demanda hídrica da soja varia entre 450 a 800 mm durante o ciclo, com maior necessidade entre o florescimento e enchimento de grãos, necessitando de uma demanda hídrica de até  $7,4 \text{ mm dia}^{-1}$  (GAVA et al., 2015). Diante disso, a ocorrência de restrição hídrica no florescimento provocando redução na produtividade da cultura, devido ao fechamento estomático, enrolamento de folhas que diminuem a taxa fotossintética e a produção de biomassa (FIOREZE et al., 2013; GAVA et al., 2015).

Os efeitos que o déficit hídrico causa na planta são múltiplos, como a redução da taxa de germinação das sementes, limitação da área foliar, atividade fotossintética prejudicada, fechamento estomático, comprometimento da translocação de assimilados, com isso resulta na redução da altura, número de vagens e produtividade. Contudo, as respostas a essa condição variam de acordo com a espécie, estágio fenológico, intensidade e duração do estresse (SANTOS et al., 2022).

### **2.3 Melatonina na atenuação do déficit hídrico**

Melhorar a capacidade das plantas em se adaptarem a condições de estresses ambientais, principalmente o estresse hídrico é uma importante estratégia agrônômica. Nesse sentido, a utilização de fitohormônios ou bioestimuladores na produção agrícola apresentam efeitos benéficos na regulação do crescimento e no desenvolvimento da tolerância em plantas (ALTAF et al., 2022).

A melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina), chamada também como mel, é uma molécula do grupo da indolamina produzida em todo o reino vegetal (ERLAND et al., 2019). Presente em todos os organismos vivos, de animais a plantas (ARNAO; HERNÁNDEZ-RUIZ, 2018). Nas plantas, atua como um promotor de resistência ao estresse e inibe a ação oxidativa ao regular positivamente a expressão de genes reativos, induzindo a atividade de enzimas antioxidantes e mantendo redox estado das células. Além disso, desempenha papéis importantes em vários processos fisiológicos, como fotossíntese, respiração e o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas

(DEBNATH et al., 2018). A partir de sua aplicação a planta é capaz de responder de forma positiva ao estresse hídrico. Além de promover melhor qualidade e rendimento de grãos.

Muitos estudos confirmam a melatonina como promotora de crescimento e de enraizamento primário e secundário, fator essencial para prevenção de possíveis estresses (CHEN et al., 2020). Ainda, atua na regulação da germinação de sementes, potencializando o percentual de germinação, promovendo um maior desenvolvimento radicular e peso fresco final (HERNADEZ-RUIZ et al., 2010; WEI et al., 2014; XIAO et al., 2019).

## **2.4 Produção de soja no Nordeste**

Nos últimos anos, a produção de soja no Nordeste do Brasil tem crescido, impulsionada pela tecnologia agrícola e pela demanda crescente de mercados internos e externos. A soja, que antes era majoritariamente cultivada no Sul e Centro-Oeste do Brasil, passou a ser cultivada também no Nordeste, especialmente nos estados da Bahia, Maranhão e Piauí. A expansão do cultivo de soja no Nordeste brasileiro tem sido notada principalmente na Bahia, onde a produção se intensificou, com destaque para o avanço das áreas cultivadas no cerrado baiano, região que passa a ser um dos maiores polos produtores do grão (MARCUS, 2021).

A soja tem gerado impactos econômicos positivos para a região, com o aumento das exportações e o desenvolvimento de infraestruturas de transporte, como rodovias e portos. Isso tem gerado emprego e renda, especialmente em áreas rurais. O cultivo da soja no Nordeste é responsável pela geração de milhares de empregos diretos e indiretos, especialmente nas áreas de logística, processamento e comércio, o que tem contribuído para o desenvolvimento das economias locais (SANTOS, 2020).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área experimental**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Centro de Ciências Humanas e Agrárias, pertencente a Universidade Estadual da Paraíba, Campus IV, no município paraibano de Catolé do Rocha, durante o período de abril a junho de 2024. Esse município está localizado geograficamente sob Latitude de 6° 20' 28" Sul e Longitude de 37° 44' 59" Oeste, apresentando clima tropical, predominante o semiárido no interior, com médias térmicas elevadas (em torno de 27 °C) e chuvas escassas e irregulares (menos de 800 mm por ano).

#### **3.2 Delineamento experimental e tratamentos**

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), sob esquema fatorial 3x2, com 5 repetições, totalizando 6 tratamentos e 30 unidades experimentais. Os tratamentos corresponderam a aplicação concentrações de melatonina foliar (0,0; 0,6 e 0,9 mM). Cada repetição correspondeu a uma planta, que foi a unidade experimental composta por um vaso de polietileno com capacidade de 3 dm<sup>3</sup>.

Como forma de garantir que todas as folhas recebessem os tratamentos uniformemente, foram realizadas aplicações tanto na superfície abaxial e quanto na adaxial das folhas (FERNÁNDEZ et al., 2006). No momento de cada aplicação, foram tomados os cuidados necessários a fim de evitar o contato de plantas com diferentes concentrações de melatonina.

#### **3.3 Condução experimental**

A cultivar de soja utilizada nesse experimento foi a BRS 325RR, o qual foi cultivado 3 sementes por vaso, para aproveitar o máximo de aproveitamento das sementes, em solo areno-argiloso com acréscimo de substrato a base de esterco bovino, na proporção de 2:1, protegidas por tela de sombrite, com taxa de sombreamento de 50%, a fim de evitar prejuízos devido à alta radiação solar. Após 9 dias da germinação, foi realizado o desbaste das plantas, deixando 1 por vaso, correspondendo a uma unidade experimental. Os dados de umidade relativa do ar foram registrados durante todo o

período do experimento, utilizando-se um Termo-Higrômetro Digital, RC-51 Datalogger, Elitech®.

A aplicação de melatonina nas plantas foi realizada a partir do estágio V3, em três ciclos, com intervalos de 7 dias de uma aplicação para outra, juntamente com a irrigação diária com duas diferentes lâminas de água, de 80 e 50% da capacidade de campo as quais foram sendo aplicadas até o final do experimento.

As aplicações referentes a cada tratamento, foram realizadas utilizando-se um borrifador manual com capacidade para 200 ml. Na preparação da solução de melatonina foi adicionado detergente neutro na concentração de 0,01%, como forma de quebrar a tensão superficial da água, e assim aumentar a área de molhamento das folhas, sendo realizada até o ponto de escorrimento.

### 3.4 Características analisadas

Para estudar a influência da melatonina como atenuante no déficit hídrico sob diferentes lâminas de água na cultura da soja, foram realizadas algumas determinações ao longo do experimento, a saber: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da raiz (MSR), massa seca do caule (MSC) e massa seca da folha (MSF) e massa seca total (MST = MSR + MSC + MSF). A partir disso, foi analisada a relação raiz/parte aérea (R/PA), através da MSR e da massa seca da parte aérea (MSPA = MSC + MSF).

Para aferição da AP (cm), foi utilizada régua graduada em cm e um paquímetro digital para DC (mm). A AF (m<sup>2</sup>) foi determinada através do método das dimensões lineares, pelo comprimento e a largura dos folíolos, multiplicando-se por um fator de correção (Oliveira, 1977), conforme a seguinte equação (1):

$$AF = (C * L) K$$

Sendo que:

C= Comprimento do folíolo;

L= Largura máxima do folíolo;

K= 0,703 (fator de correção).

Para a determinação da MSR, MSC, MSF, MSPA e MST, as plantas foram separadas em raiz, caule e folha, pesadas de forma individual em balança analítica com precisão de 0,001 g, e em seguida acondicionadas em sacos de papel *kraft* e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por um período de 48h.

A tolerância ao déficit hídrico das plantas de soja suplementadas com a melatonina foliar foi testada, através do índice de tolerância ao estresse (ITS), utilizando dados de massa seca (MS) da parte aérea, raiz e total, através da seguinte fórmula:

$$\text{ITS (\%)} = \frac{\text{MS sob Déficit hídrico}}{\text{MS Controle}} \times 100$$

### 3.5 Análise estatística

Para verificar se houve efeito significativo entre os tratamentos testados, foi realizada uma análise de variância (Teste F,  $p \leq 0,05$ ). Depois disso, realizou-se um teste de comparação de médias (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), entre os tratamentos, com o auxílio do *software* Sisvar<sup>®</sup>, versão 5.8 (FERREIRA, 2019).

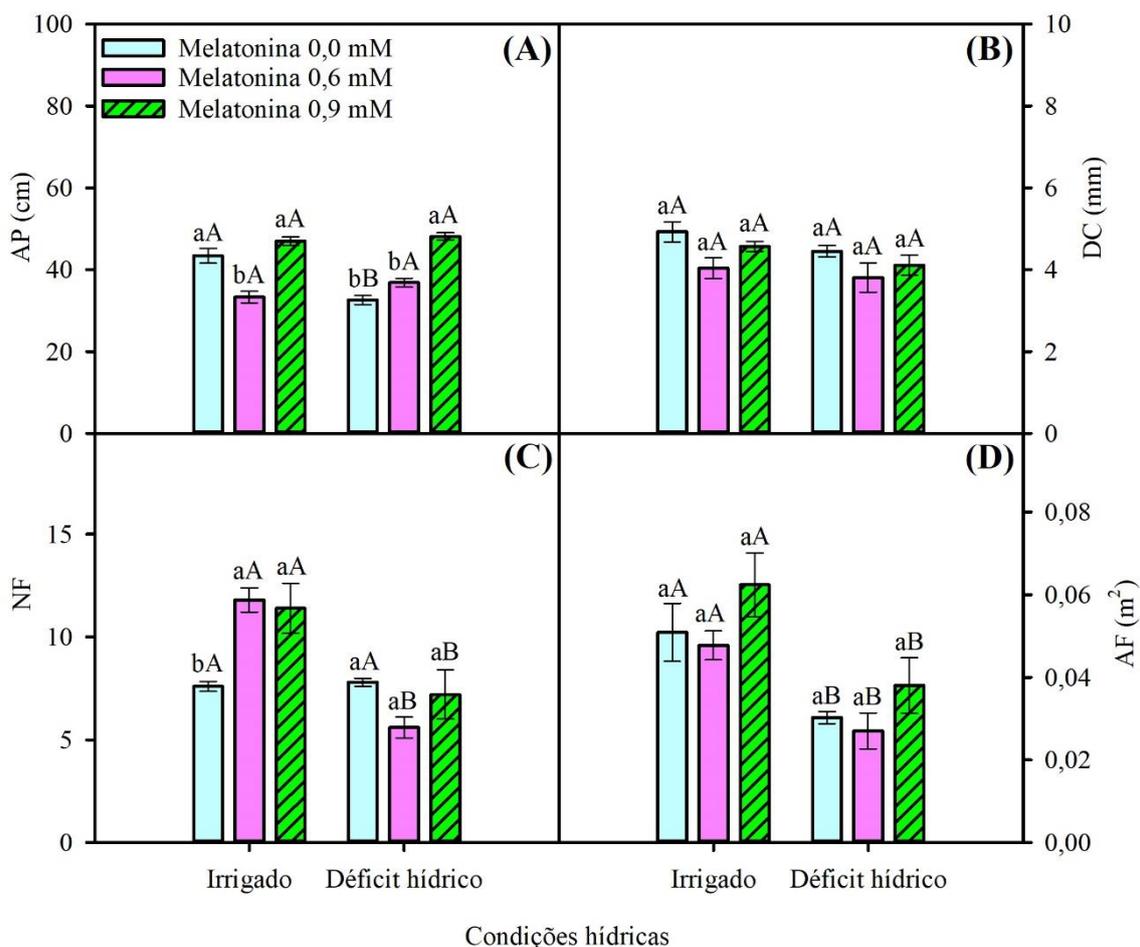
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de soja responderam de forma positiva à aplicação de melatonina foliar, de forma que foram mais tolerantes ao déficit hídrico. De forma geral, os resultados mostraram que a aplicação de melatonina à 0,9 mM pode mitigar os efeitos desse estresse abiótico em plantas de soja (Figuras 1 a 3). Plantas que apresentam mecanismos de tolerância ao estresse hídrico podem manter seu crescimento, através de respostas morfológicas e fisiológicas impulsionadas por um atenuante, como é o caso da melatonina, que é uma substância atuante na amenização dos efeitos deletérios de estresses abióticos (ERLAND et al., 2019; ALTAF et al., 2022).

Assim, analisando as respostas do crescimento das plantas de soja, foi possível verificar que as mesmas apresentaram maior AP quando suplementadas com 0,9 mM de melatonina, em condições bem irrigadas (Figura 1A). Além disso, também foi observado que as plantas apresentaram maior NF, nessas condições (Figura 1C). Estes resultados mostram a importância da melatonina para o crescimento dos vegetais, pois em condições bem irrigadas as plantas foram mais responsivas, aumentando o crescimento (ARNAO; HERNÁNDEZ-RUIZ, 2018). Isto, possivelmente pode estar relacionado com a capacidade antioxidante e hormonal da melatonina, que atua no crescimento dos vegetais (LIU et al., 2015).

De outra forma, as plantas de soja mantiveram maior AP quando em condições de déficit hídrico e suplementadas com 0,6 e 0,9 mM de melatonina foliar, respectivamente, diferindo significativamente das plantas controle (Figura 1A). Dessa forma, a fica evidenciado o efeito mitigador dessa substância ao déficit hídrico, pois foi possível manter o crescimento das plantas mesmo com a redução da água de irrigação no sistema radicular. As plantas que possuem essa capacidade de manter seu crescimento em baixos níveis de água, apresentam mecanismos de respostas para a tolerância ao déficit hídrico, o que podem ter sido influenciados pela ação da melatonina aplicada nas mesmas (ALTAF et al., 2022).

**Figura 1.** Altura de plantas (AP, A), diâmetro do caule (DC, B), número de folhas (NF, C) e área foliar (AF, D), de plantas de soja sob concentrações de melatonina foliar em diferentes condições hídricas. Letras maiúsculas comparam as condições hídricas e as minúsculas comparam as concentrações de melatonina. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média (n= 5).

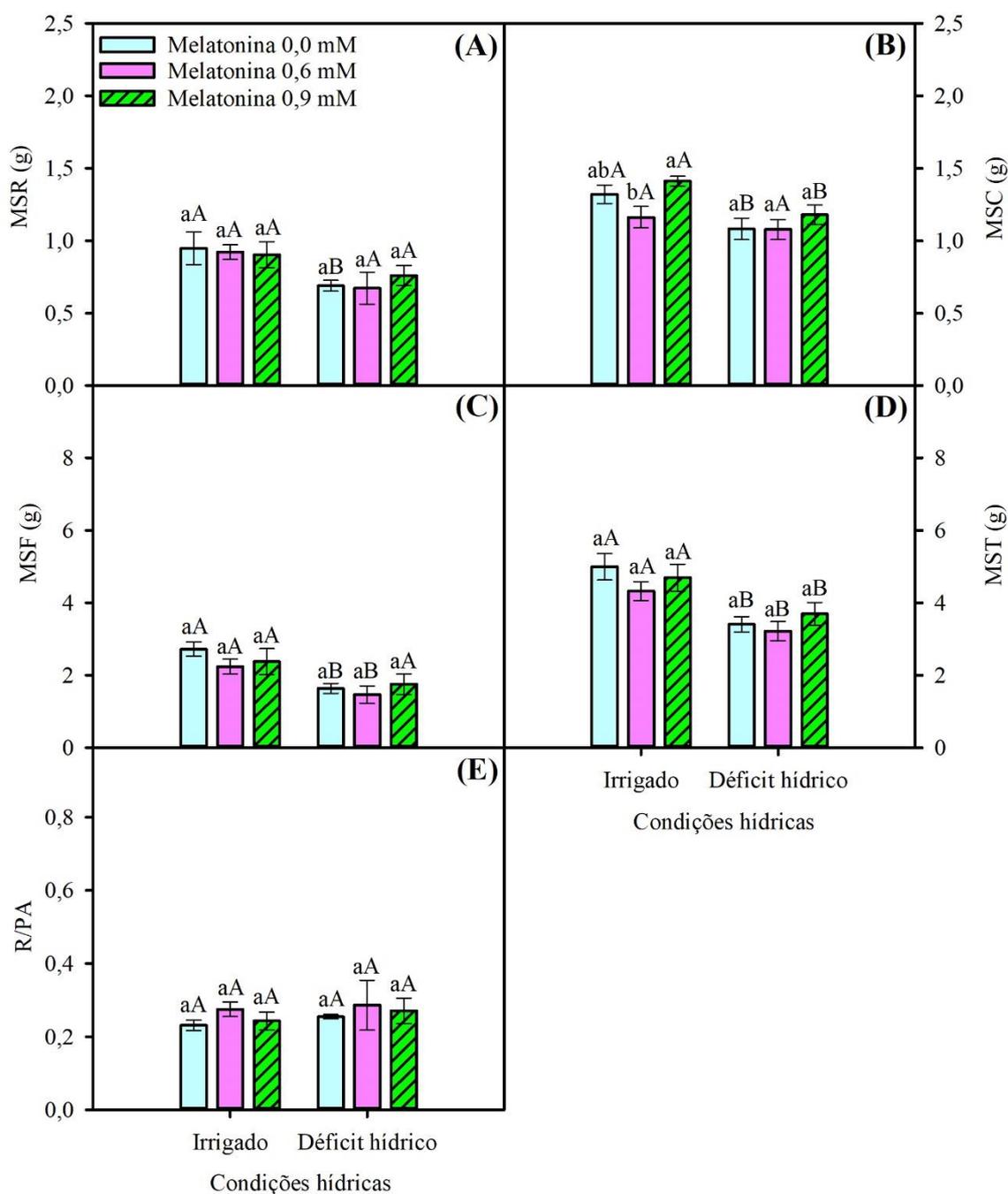


Fonte: elaborada pela autora, 2024.

Quando analisando de forma mais específica, as plantas não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos testados para o DC (Figura 1B). Além disso, não houve diferença significativa entre os tratamentos de aplicação de melatonina foliar quando em condições bem irrigadas (Figura 1D). Já para a condição de déficit hídrico, a melatonina não apresentou efeito positivo para manter a AF, onde as plantas apresentaram redução significativa dessa característica (Figura 1D). Esse resultado, pode ser relacionado com o estágio de desenvolvimento das plantas de soja, em que as plantas já apresentavam um grande número de folhas, entrando no período de produção (AL-KAISI et al., 2016). Assim, as plantas aumentam a senescência foliar das folhas mais velhas, após a remobilização dos nutrientes por seguinte, abscisão foliar (TAIZ et al., 2017). Deste modo, a aplicação de melatonina não foi suficiente para mitigar esses processos morfo-fisiológicos.

Quanto ao acúmulo de massa seca das plantas de soja, a melatonina não proporcionou diferença no acúmulo de MSR de plantas de soja, em condições irrigadas (Figura 2A).

**Figura 2.** Acúmulo de massa seca da raiz (MSR, A), do caule (MSC, B), da folha (MSF, C), massa seca total (MST, D) e relação raiz/parte aérea (R/PA, E), de plantas de soja sob concentrações de melatonina foliar em diferentes condições hídricas. Letras maiúsculas comparam as condições hídricas e as minúsculas comparam as concentrações de melatonina. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média ( $n= 5$ ).



Fonte: elaborada pela autora, 2024.

De outra forma, a melatonina nas duas concentrações testadas, foi suficiente para manter o acúmulo de MSR quando as plantas passam por déficit hídrico. Assim como,

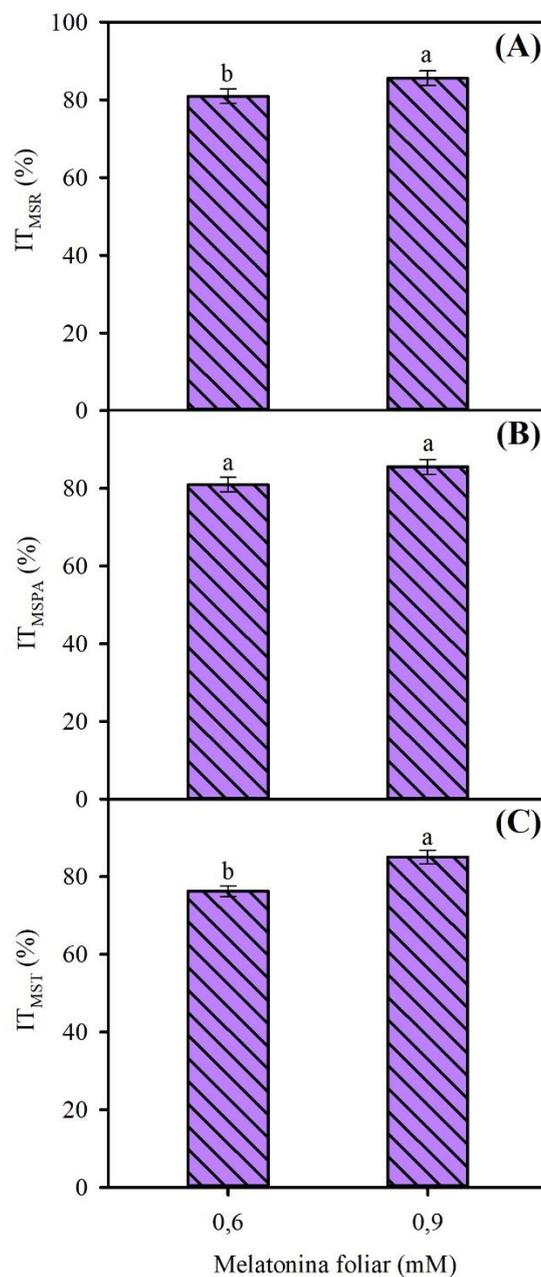
foi observado o mesmo resultado para a aplicação de 0,6 mM de melatonina, para a MSC (Figura 2B), e com 0,9 mM de melatonina para a MSF (Figura 2C).

Com isso, essas plantas de soja foram mais tolerantes ao déficit hídrico, pois mantiveram o acúmulo de biomassa vegetal, principalmente de folha, que é fundamental para o crescimento da mesma, em que representa que houve maior assimilação e incorporação de carbono (TAIZ et al., 2017). Outro ponto em destaque, assim como foi observado na figura anterior, foi que a melatonina a 0,9 mM promoveu maior acúmulo de MSC quando em condições bem irrigadas (Figura 2B).

Quanto a partição de biomassa nas plantas de soja, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos testados para a R/PA (Figura 2E). Esse efeito também foi o mesmo quando em condições irrigadas, para a MST (Figura 2D). No entanto, quando submetidas ao déficit hídrico, as plantas de soja apresentaram redução do acúmulo de MST, não possível a mitigação dos efeitos desse estresse abiótico pela melatonina foliar. Esse resultado, possivelmente estar relacionado com o estágio vegetativo das plantas, como mencionado anteriormente, não sendo possível a mitigação dos efeitos deletérios do déficit hídrico (AL-KAISI et al., 2016). Dessa forma, o crescimento é reduzido por causa da redução do acúmulo de matéria seca nas partes vegetais (NUNES et al., 2019; SOUSA et al., 2019).

Para o índice de tolerância ao déficit hídrico, não foi verificada diferença significativa para as concentrações de melatonina testadas para o  $IT_{MSPA}$ , onde as plantas apresentaram uma média de 80,0% de tolerância a esse estresse abiótico, quando suplementadas com a melatonina (Figura 3B). Já para o  $IT_{MSR}$  e  $IT_{MST}$ , quando aplicada a melatonina a 0,9 mM, as plantas de soja foram mais tolerantes ao déficit hídrico (Figura 3A e C).

**Figura 3.** Índice de tolerância ao déficit hídrico pela massa seca da raiz ( $IT_{MSR}$ ) [A], pela massa seca da parte aérea ( $IT_{MSPA}$ ) [B] e pela massa seca total ( $IT_{MST}$ ) [C], de plantas de soja sob concentrações de melatonina foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média ( $n=5$ ).



Fonte: elaborada pela autora, 2024.

Conforme os resultados encontrados nesta pesquisa, foi possível mostrar o efeito de mitigação do déficit hídrico em plantas de soja, quando suplementadas com a melatonina foliar. A melatonina prove tolerância a esse estresse abiótico, assim como evidenciado nas plantas que receberam a suplementação foliar com 0,9 mM dessa

substância, em que, possivelmente, essas plantas regularam seu sistema antioxidante, para a diminuição da produção de espécies reativas de oxigênio, aliviando o estresse oxidativo (LIU et al., 2015).

Portanto, as plantas suplementadas com a melatonina foliar ( $M_{0,9}$ ), promoveram maior tolerância ao déficit hídrico. Conforme relatado na literatura, acerca dessa temática, a melatonina é uma substância capaz de promover tolerância a estresses em plantas, através da indução da sua síntese nos vegetais, quando em condições de estresses abióticos, o que diminui o estresse oxidativo, com a indução da expressão de genes relacionados a estresses, como também, pela diminuição da peroxidação lipídica e dos níveis de  $H_2O_2$ , além de aumentar a atividade do sistema antioxidante enzimático (ZHANG et al., 2014; REITER et al., 2015).

## 5 CONCLUSÕES

As plantas de soja apresentaram tolerância ao déficit hídrico, com maior AP, DC e NF, além da manutenção do acúmulo de massa seca, quando suplementadas com melatonina a 0,9 mM.

Sob condições bem irrigadas e com aplicação de melatonina foliar a 0,9 mM, as plantas de soja apresentaram maior crescimento e acúmulo de biomassa.

A suplementação com melatonina foliar (0,9 mM) foi eficiente para mitigar os efeitos do déficit hídrico em plantas de soja, podendo ser uma alternativa prática ao produtor, em condições de escassez hídrica.

Pesquisas futuras podem ser realizadas para detalhar os mecanismos de tolerância ao déficit hídrico em plantas de soja, mitigados com a suplementação de melatonina foliar.

## REFERÊNCIAS

- ALTAF., AHMAD, J. I. A. Melatonin Improves Drought Stress Tolerance of Tomato by Modulating Plant Growth, Root Architecture, Photosynthesis, and Antioxidant Defense System. **Antioxidants**, v. 11, p. 309,2022.
- AL-KAISI, M.; ARCHONTOULIS, S.; KWAH-MENSAH, D. Soybean spatiotemporal yield and economic variability as affected by tillage and crop rotation. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 3, p. 1267-1280, 2016.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin and its relationship to plant hormones. **Annals of Botany**, v. 121, p. 195-207, 2018.
- BOSSOLANI, J. W. et al. Sowing date changes phenological development, plastochron index, and grain yield of soybeans under Cerrado conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 7, p. 488-494, 2022.
- CAVALCANTE, W. S. S. et al. Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **Irriga**, v. 25, n. 4, p. 754-763, 2020.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF, v. 1, n. 1, 2023.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Décimo levantamento, safra 2021/22**. Brasília, DF, v. 9, n. 10, 2022.
- CHEN, L.I. et al. Exogenous melatonin promotes seed germination and osmotic regulation under salt stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plos One**, v.15, n.1, p.e0228241, 2020.
- DESA (2017) - **United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division**. World Population Prospects: The 2017 Revision. Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Sistemas de Produção, n. 15, Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261 p.
- ERLAND, L. A.; SAXENA, P. K.; MURCH, S. J. Melatonin in plant signalling and behaviour. **Functional Plant Biology**, v. 45, n. 2, p. 58-69, 2019.
- ESPOLADOR, F. G. et al. **Soja hortaliça**. Série Produtor Rural, n. 65, Piracicaba: ESALQ Divisão de Biblioteca, 2017. 57p. Disponível em: [https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewisv8Lgp\\_n0AhU5IrkGHbtlBdsQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.esalq.usp.br%2Fbiblioteca%2Ffile%2F3678%2Fdownload%3Ftoken%3DUnn3189r&usg=AOvVaw3yEwiTvhSY9xzg mFzAx\\_Y2](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewisv8Lgp_n0AhU5IrkGHbtlBdsQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.esalq.usp.br%2Fbiblioteca%2Ffile%2F3678%2Fdownload%3Ftoken%3DUnn3189r&usg=AOvVaw3yEwiTvhSY9xzg mFzAx_Y2). Acessado em: 05 de junho de 2024.
- GAVA, R. et al. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista**

**Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015.

HERNANDEZ-RUIZ, J.; CANO, A.; ARNAO, M. B. Melatonin: a growthstimulating compound present in lupin tissues. **Planta**, v. 220, n. 1, p. 140-144, 2010.

LIU, J. et al. Exogenous melatonin improves seedling health index and drought tolerance in tomato. **Plant Growth Regulation**, v. 77, n. 3, p. 317-326, 2015.

MARCUS, L. F. **A expansão da soja no Brasil: Dinâmicas e desafios da produção no Nordeste**. São Paulo: Editora Acadêmica, 2021.

NUNES, L. R. L. et al. Germination and vigour in seeds of the cowpea in response to salt and heat stress. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 143 - 151, 2019.

REITER, R. J. et al. Phytomelatonin: assisting plants to survive and thrive. **Molecules**, v. 20, n. 4, p. 7396-7437, 2015.

SANTOS, R. K. A. et al. Physiological responses of *Eucalyptus urophylla* young plants treated with biostimulant under water déficit. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1072-1081, 2019.

SANTOS, M. R. O impacto da agricultura no desenvolvimento regional: O caso de soja no Nordeste. **Revista de Economia Regional**, v. 14, n. 3, p. 75, 2020.

SOUSA, G. G. et al. Crescimento de morangueiro submetido a níveis de salinidade e adubação orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 4, p. 485-490, 2019.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888p. 2017.

XIAO, S. et al. Exogenous melatonin accelerates seed germination in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **PloS One**, v. 14, n. 6, p. e0216575, 2019.

ZHANG, N. et al. Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. **Journal of Experimental Botany**, p. eru336, 2014.