



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

MATHEUS PHILIPPE PAIXÃO DE LIRA

**BORO, MAGNÉSIO E MELATONINA COMO ATENUADORES DO DÉFICIT
HÍDRICO NA FISIOLOGIA DE PLANTAS DE CANA-DE-AÇUCAR**

**CATOLÉ DO ROCHA - PB
2024**

MATHEUS PHILIFE PAIXÃO DE LIRA

**BORO, MAGNÉSIO E MELATONINA COMO ATENUADORES DO DÉFICIT
HÍDRICO NA FISIOLOGIA DE PLANTAS DE CANA-DE-AÇUCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a coordenação do Curso de Bacharelado em 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: Profa. Dra. Danielly da Silva Lucena

**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.

L768b Lira, Matheus Philipe Paixão de.
Boro, magnésio e melatonina como atenuadores do déficit hídrico na fisiologia de plantas de cana-de-açúcar [manuscrito] / Matheus Philipe Paixão de Lira. - 2024.
35 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. Danielly da Silva Lucena, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA".
1. Atenuadores. 2. Déficit hídrico. 3. Saccharum officinarum L.. I. Título

21. ed. CDD 571.2

MATHEUS PHILIPPE PAIXAO DE LIRA

BORO, MAGNÉSIO E MELATONINA COMO ATENUADORES DO DÉFICIT
HÍDRICO NA FISIOLOGIA DE PLANTAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

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 Bacharel em
Agronomia

Aprovada em: 22/11/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **Danielly da Silva Lucena** (***.427.484-**), em **07/08/2025 19:23:00** com chave **140b609273dd11f0bf2706adb0a3afce**.
- **Paulo Cássio Alves Linhares** (***.581.244-**), em **07/08/2025 20:47:35** com chave **e46ba0d473e811f0ae291a7cc27eb1f9**.
- **Maria Lucia Mauricio da Silva** (***.603.904-**), em **07/08/2025 20:32:42** com chave **d0b4da7673e611f08b9306adb0a3afce**.

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/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Folha de Aprovação do Projeto Final

Data da Emissão: 07/08/2025

Código de Autenticação: eaa708



*Primeiramente, dedico este trabalho a Deus, o maior orientador da minha vida. Ele nunca me abandonou nos momentos difíceis. As minhas mães, Ugraneide Batista Das Neves e Luci Paixão Das Neves, que foram meus pilares durante minha trajetória acadêmica. Ao meu avô, Ailton Pedro Da Silva (in memoriam), que já se foi, que se faz presente em todos os dias da minha vida. Sei que, de algum lugar, ele olha por mim. **Dedico!***

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todo suporte e sustento.

“Deem graças em todas as circunstâncias, pois esta é a vontade de Deus para vocês em Cristo Jesus” (1 Tessalonicenses 5:18).

Às minhas mães, Ugraneide Batista das Neves e Luci Paixão das Neves, pelo apoio incondicional, por serem a minha fonte de inspiração e o meu porto mais seguro, mesmo nos momentos mais difíceis da minha vida. Não sei o que seria de mim sem o amor e cuidado de vocês.

A tia/mãe Vanessa Batista da Silva, que me adotou como filho e hoje sou completamente grato por tê-la em minha vida, sem você eu também não teria chegado até aqui. Saiba o quanto eu admiro você pela sua força de vontade e por sempre lutar por mim, e se fazendo presente na minha vida, me apoiando nas minhas decisões e dando conselhos.

Ao meu pai, Mariano Gomes de Lira, pelo apoio. Você é essencial na minha vida, obrigada por tudo que faz e tem feito por mim. E não existem palavras suficientes para expressar o quanto estou agradecido.

A meu avô, Aílton Pedro da Silva (*in memoriam*), embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força.

À professora e orientadora Dra. Danielly da Silva Lucena, por aceitar e embarcar comigo na estrada do conhecimento. Este trabalho não seria possível sem a sua ajuda dedicada. Agradeço por confiar em mim e estar ao meu lado em todos os momentos de descobertas, erros e acertos. Aprendemos juntos, saímos da nossa zona de conforto e foi incrível perceber que as pessoas que mais admiramos são aquelas dispostas a aprender sempre mais. Obrigado por compartilhar tanta sabedoria.

Aos professores, Dr. Paulo Cássio e Dra. Maria Lúcia, obrigado por aceitar o convite para participar da minha banca examinadora. Obrigado pela confiança, pela atenção dedicada à minha pesquisa e pelas valiosas sugestões para tornar este trabalho ainda mais consistente e relevante. Sou imensamente grato por todo o conhecimento compartilhado, orientação e incentivo que recebi.

À Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), pela oportunidade de aprendizado, crescimento e realizações. Aos funcionários, docentes e técnicos-administrativos que, com dedicação e comprometimento, contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho e para minha formação.

“Os sonhos são como uma bússola, indicando os caminhos que seguiremos e as metas que queremos alcançar. São eles que nos impulsionam, nos fortalecem e nos permitem crescer.”

(Augusto Cury)

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das culturas mais importantes mundialmente e desempenha um papel significativo na economia global como uma importante cultura agrícola comercial. No entanto, a produção da cana-de-açúcar enfrenta várias consequências e desafios significativos ligados diretamente ao déficit hídrico, que reverberam de maneira drástica a produtividade e o rendimento das plantas. Portanto, os atenuadores como Boro, Magnésio e melatonina são essenciais para minimizar os efeitos do déficit hídrico em função dos seus mecanismos de crescimento, fisiológicos e bioquímicos nela envolvida. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a ação do Boro, Magnésio e Melatonina como atenuadores de estresse hídrico em plantas de cana-de-açúcar. Conduziu-se um experimento em casa de vegetação sob blocos casualizados com diferentes tratamentos que consistiram em 2 (duas) condições hídricas (80% e 50% da capacidade de campo - CC) e 4 (quatro) condições de suplementação via foliar: ácido bórico (300 mg L⁻¹), magnésio (2%) e melatonina (0,5 mM e 1,0 mM). Avaliou-se: assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água (EUA), temperatura foliar (T_f) e déficit de pressão de vapor (VPD). Realizou-se teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparar os tratamentos testados. Os resultados apresentados sobre teores de clorofila, demonstraram que as plantas expostas ao déficit hídrico (50% CC), tiveram uma redução significativa nos conteúdos de clorofila. Os resultados obtidos a partir da análise de variância demonstraram que a assimilação líquida de CO₂ (A) foi maior em plantas sob déficit hídrico (50% CC), com uso de 1,0 mM de Melatonina, e déficit hídrico (50% CC), com uso de 0,5 mM de Melatonina (médias de 28,54; e 26,40 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente). Para condutância estomática (g_s), o tratamento controle registrou os maiores valores (média de 0,17 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), resultados semelhantes também foram observados para transpiração (E). Os resultados demonstram que a suplementação foliar com boro, magnésio e, especialmente, melatonina atenua os efeitos negativos do déficit hídrico em plantas de cana-de-açúcar, promovendo melhorias nas respostas fisiológicas, como a assimilação de CO₂. Assim, o uso desses compostos pode ser uma estratégia promissora para manter a produtividade da cultura em condições de estresse hídrico.

Palavras-Chave: atenuadores; déficit hídrico; *Saccharum officinarum* L..

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is one of the most important crops worldwide and plays a significant role in the global economy as a major commercial agricultural commodity. However, sugarcane production faces several significant challenges directly related to water deficit, which drastically affects plant productivity and yield. Therefore, mitigating agents such as boron, magnesium, and melatonin are essential to minimize the effects of water stress due to their involvement in growth, physiological, and biochemical mechanisms. Thus, the objective of this research was to evaluate the role of boron, magnesium, and melatonin as stress-mitigating agents in sugarcane plants. The experiment was conducted in a greenhouse under a randomized block design with different treatments consisting of two water conditions (80% and 50% of field capacity – FC) and four foliar supplementation treatments: boric acid (300 mg L⁻¹), magnesium (2%), and melatonin (0.5 mM and 1.0 mM). The following variables were evaluated: CO₂ assimilation (A, μmol m⁻² s⁻¹), stomatal conductance (gs, mol m⁻² s⁻¹), transpiration (E, mmol m⁻² s⁻¹), water use efficiency (WUE), leaf temperature (Tf), and vapor pressure deficit (VPD). Tukey's test (p ≤ 0.05) was used to compare the tested treatments. The results regarding chlorophyll content showed that plants exposed to water deficit (50% FC) had a significant reduction in chlorophyll levels. The analysis of variance indicated that net CO₂ assimilation (A) was higher in plants under water deficit (50% FC) treated with 1.0 mM melatonin (28.54 μmol m⁻² s⁻¹) and 0.5 mM melatonin (26.40 μmol m⁻² s⁻¹). For stomatal conductance (gs), the control treatment showed the highest values (mean of 0.17 mol m⁻² s⁻¹), with similar results also observed for transpiration (E). The results demonstrate that foliar supplementation with boron, magnesium, and especially melatonin mitigates the negative effects of water deficit in sugarcane plants, promoting improvements in physiological responses such as CO₂ assimilation. Therefore, the use of these compounds may be a promising strategy to sustain crop productivity under water stress conditions.

Keywords: attenuators; water deficit; *Saccharum officinarum* L.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Cultura da Cana-de-açúcar.....	15
2.2	Déficit Hídrico.....	17
2.3	Boro, Magnésio e Melatonina como atenuadores de déficit hídrico.....	18
3	METODOLOGIA	20
3.1	Área experimental	20
3.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	20
3.3	Condução do experimento.....	20
3.4	Variáveis analisadas.....	21
3.5	Análise estatística.....	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÕES	23
	REFERÊNCIAS	24
	APÊNDICE A – TRATAMENTOS E REPETIÇÕES	35
	APÊNDICE B – IRRIGAÇÃO COM USO DE BÉQUER DE 1L E UMA PROVETA DE 100 ML	35

1 INTRODUÇÃO

A cultura *Saccharum officinarum* L. desempenha um papel essencial na economia brasileira, destacando-se pela ampla gama de produtos derivados, como açúcar, rapadura, álcool e cachaça. Além disso, o bagaço, um subproduto do processamento da cana, tem aplicações diversas e estratégicas, sendo utilizado na produção de papel, na alimentação de ruminantes durante períodos de estiagem e na cogeração de energia em usinas. Essa versatilidade também inclui seu uso na produção de biocombustíveis, oferecendo uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis, contribuindo para redução das mudanças climáticas (RAMOS, 2006; REDAE; AMBAYE, 2018; SATHISH *et al.*, 2018).

As mudanças climáticas, amplamente atribuídas às ações humanas que promovem a emissão de gases de efeito estufa, afetam de maneira desigual diferentes regiões do mundo, com países pobres e em desenvolvimento figurando entre os mais vulneráveis (NOBRE, 2001). No caso do Brasil, projeções indicam um aumento de temperatura entre 1°C e 6°C, o que intensificará a evaporação e comprometerá o equilíbrio hídrico essencial para o desenvolvimento das plantas e cultivos (RODRIGUEZ, 2004). Esses impactos se manifestam diretamente na agricultura e nas áreas florestais, pilares fundamentais da biodiversidade e da economia brasileira (NOBRE *et al.*, 2005). Nesse contexto, pesquisas que busquem estratégias para mitigar os efeitos do déficit hídrico em plantas, especialmente em culturas-chave para a economia nacional, são de importância crucial para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Compostos, como Boro, Magnésio e Melatonina têm sido usados em diferentes culturas como atenuadores de estresse hídrico e evidenciado resultados promissores. O magnésio é absorvido pelas plantas na forma de Mg^{2+} e tem um papel essencial na clorofila, onde compõe uma estrutura central. Além disso, esse nutriente está ligado ao transporte de carboidratos e se concentra especialmente nas folhas, sendo acumulado nas áreas em crescimento do caule e das raízes (MARSCHNER, 2012). O boro é importante para o crescimento das plantas, pois está envolvido na formação da parede celular, incluindo a síntese de pectina, celulose e lignina, e sua deficiência pode inibir o crescimento (SILVEIRA *et al.*, 2002). A melatonina é uma molécula do grupo da indolamina presente em plantas (ERLAND *et al.*, 2019), ela é precursora de compostos como serotonina, ácidos

indol-3-acético (AIA), e atua como promotora de crescimento e enraizamento, sendo essencial para prevenir estresses nas plantas (CHEN *et al.*, 2009).

Nesse sentido, o objetivo com esse trabalho foi avaliar a ação do Boro, Magnésio e Melatonina como atenuadores de déficit hídrico em plantas de cana-de-açúcar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tem grande importância no cenário econômico mundial. Pertencente à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*, um híbrido multiespécie amplamente cultivado desde a antiguidade, originário do continente asiático, especificadamente da Índia (NOBILE *et al.*, 2017). *Saccharum officinarum* L. é uma monocotiledônea, C4, que apresenta ciclo de vida semiperene, ou seja, relativamente longo. É uma espécie bem adaptada à alta intensidade luminosa, temperaturas elevadas e escassez hídrica (LACERDA *et al.*, 2019).

Cultivada no Brasil há quase cinco séculos, a cana-de-açúcar foi introduzida no país por Martim Afonso de Sousa, marcando o início de um dos mais bem-sucedidos empreendimentos da história brasileira, com produtos derivados que moldaram a economia nacional (CARVALHO *et al.*, 2013). A indústria açucareira no Brasil começou a se consolidar por volta do século XVI, período em que mudas trazidas da Ilha da Madeira, em Portugal, foram implantadas no território brasileiro (CESNIK, 2007). A história da cana-de-açúcar está profundamente ligada ao desenvolvimento econômico e social de diversas civilizações, desempenhando um papel central na formação das sociedades coloniais das Américas. Introduzido com técnicas e práticas comerciais do Mediterrâneo, o cultivo da cana-de-açúcar tornou-se um dos pilares da economia colonial brasileira (SCHWARTZ, 1988).

No Brasil, a produção de açúcar começou a se consolidar nas décadas de 1530 e 1540, com a criação dos primeiros engenhos. Esses engenhos eram pequenas unidades de produção que utilizavam a força animal, principalmente cavalos e bois, para moer a cana. Inicialmente, a mão de obra era composta majoritariamente por indígenas nativos, que foram forçados ao trabalho nas plantações e nos engenhos. Com o passar do tempo, a mão de obra indígena foi gradativamente substituída pela africana, trazida através do tráfico negreiro (SCHWARTZ, 1988).

Atualmente, a produção de cana-de-açúcar desempenha um papel fundamental na economia brasileira, tanto pela alta exportação quanto pela comercialização no mercado interno. Esse cultivo é base para a produção de açúcar, etanol e outros produtos como cachaça, ração animal e itens de confeitaria (PEREIRA; BARRETO, 2020). A importância da cana-de-açúcar no Brasil se destaca

em diversos aspectos. A fabricação de açúcar e etanol, em particular, representa uma das principais fontes de receita para o país (MARTINELLI *et al.*, 2011). Além disso, a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar oferece uma alternativa energética sustentável e renovável. Utilizado como biocombustível, o etanol brasileiro substitui parte da gasolina nos veículos, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis. Esse processo não apenas diminui impactos ambientais, mas também gera empregos e renda no setor sucroenergético (MEIRA FILHO; MACEDO, 2010).

O plantio da cana-de-açúcar também tem um impacto significativo na geração de empregos no Brasil, além de contribuir para o desenvolvimento regional. Várias cidades e municípios brasileiros têm na cana-de-açúcar a principal atividade econômica, gerando renda e movimentando a economia local (BARROS; SILVA, 2011; CIB, 2016; CNPTIA, 2016). A produção estimada na safra de 2024/2025 é de aproximadamente de 689,8 milhões de toneladas para o país, com uma redução de 3,3% ao se comparar com a safra passada (CONAB, 2024).

Atualmente, com o crescente desenvolvimento e a expansão de novas tecnologias que facilitaram a produção, bem como, com mão de obra qualificada, o estado de São Paulo lidera a produção da cana-de-açúcar e concentra a maior área plantada da cultura, seguido pelos estados de Minas Gerais e Goiás, que também são considerados o celeiro da produção, com quase 75% da produtividade nacional, de acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024).

No Nordeste do Brasil, a produção de cana-de-açúcar na safra 2023/2024 é de aproximadamente 56,48 milhões de toneladas, discreta redução de 0,7% quando comparada à safra passada (CONAB, 2024). A região encontra-se em terceiro lugar no ranking da produção de cana-de-açúcar sendo ultrapassado apenas pelas regiões Sudeste e Centro-Oeste. O estado de Alagoas destaca-se como maior produtor dessa região com produção estimada de 21 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra de 2023/2024, apresentando crescimento de mais de 18% nos últimos anos (CONAB, 2024).

Apesar da grande relevância da cana-de-açúcar para a economia, os produtores enfrentam uma série de desafios para sua produção. Um dos principais desafios são as condições climáticas adversas, como secas prolongadas ou chuvas

intensas, reduzindo o crescimento da planta e sua produtividade (MEIRA FILHO; MACEDO, 2010).

2.2 Déficit Hídrico em plantas de cana-de-açúcar

A água é crucial para o desenvolvimento das plantas, estando envolvida na fotossíntese, no transporte e na absorção de nutrientes. É um recurso indispensável, constituindo 90-95% da biomassa vegetal, e essencial para manter a função dos tecidos e das células (TAIZ; ZEIGER, 2009). As plantas enfrentam diversos desafios relacionados a disponibilidade hídrica, quando o solo começa a ficar seco, as raízes detectam a falta de água e informam a parte superior da planta. Essa troca de informações resulta em respostas que ajudam a planta a sobreviver até que a água volte a estar disponível, e essa comunicação acontece de diferentes maneiras, não apenas pela diminuição do fluxo de água (DAVIES; ZHANG, 1991).

O déficit hídrico ocorre quando a planta não tem água suficiente no solo para suas necessidades, prejudicando também a absorção de nutrientes, o que afeta o crescimento das plantas, inibindo a fotossíntese, a expansão radicular, levando à morte da planta, devido ao fechamento dos estômatos para reduzir a transpiração (MARENCO; LOPES, 2005). É um problema bastante comum à produção de várias culturas, podendo apresentar um impacto negativo significativo no crescimento e desenvolvimento das plantas em geral (LECOUER; SINCLAIR, 1996) e, conseqüentemente produtividade agrícola (FLEXAS *et al.*, 2006; PIMENTEL, 2004).

Na cana-de-açúcar e em diversas culturas, a escassez hídrica ocorre quando a transpiração excede a absorção de água. Compreender como as plantas respondem a esse estresse abiótico é fundamental para selecionar as melhores variedades e práticas de manejo, otimizando a utilização dos recursos naturais (BRAY, 1997). Thompson (1976) aponta que a deficiência hídrica pode ocorrer ao longo de todo o ciclo da cana-de-açúcar, mas seu impacto na produtividade depende da interação entre a época do ano em que ocorre e a fase fenológica da cultura.

Em condições de escassez hídrica as plantas tendem a diminuir a perda de água pelo fechamento dos estômatos, o que evita a redução do potencial de água na planta, contudo, o déficit hídrico influencia negativamente o alongamento celular, principalmente das folhas e colmo, causa acentuada senescência foliar e restrição ao surgimento de novas folhas, sendo o grau dessas alterações

dependente da intensidade do estresse hídrico e do genótipo de cana-de-açúcar (SMIT; SINGELS, 2006).

Alguns estudos identificam que o período crítico de deficiência hídrica para a cana-de-açúcar ocorre durante seu máximo desenvolvimento. Para a cana-de-açúcar plantada em fevereiro e junho, o intervalo mais sensível ao déficit hídrico é do 4º ao 8º mês. Já para a cana plantada em outubro, esse período crítico se estende do 8º ao 11º mês. A produção é mais afetada por secas no verão, especialmente em canas com 4 a 8 meses de idade, o que destaca a importância da irrigação adequada nesse estágio e do uso de atenuadores de estresse hídrico (ROSENFELD, 1989).

2.3 Boro, Magnésio e Melatonina como atenuadores de déficit hídrico

A disponibilidade hídrica é um dos fatores limitantes para a produção agrícola, principalmente em regiões áridas e semiáridas. A falta de água em determinada intensidade e duração induz na planta uma série de alterações fisiológicas, bioquímicas e morfológicas, como redução da taxa fotossintética e da biomassa da planta, por exemplo, prejudicando a produção agrícola (BARBOSA, 2010). Nesse cenário, alguns compostos têm sido utilizados como alternativa para o aumento da tolerância aos estresses abióticos nas plantas, dentre esses estão o Boro e Magnésio (micronutrientes) e a Melatonina (hormônio).

O boro (B) está relacionado a muitos processos fisiológicos, como a síntese de parede celular, lignificação, respiração e metabolismo de carboidratos, além de influenciar na integridade e funcionalidade da membrana plasmática e na homeostase citoplasmática (CAKMAK; RÖMHELD, 1998). Nas plantas, a falta de B afeta o transporte e a função dos reguladores de crescimento, causando problemas no desenvolvimento. Isso ocorre devido ao aumento do ácido indolacético, à diminuição da produção de proteínas, à dificuldade na formação da parede celular e à ineficiência na translocação de produtos da fotossíntese, levando ao acúmulo de compostos fenólicos (MELO; LEMOS, 1991). Alterações anatômicas, fisiológicas e bioquímicas também foram observadas na ausência desse nutriente (SHELP, 1993).

Na cana-de-açúcar a falta de B compromete o crescimento da planta, provoca a morte de células apicais e diminui a formação de novas brotações e raízes, pode haver ainda encurtamento das folhas e necrose do tecido meristemático (TARIQ;

MOTT, 2007). Em contrapartida, esse micronutriente vem sendo aplicado via foliar em diversas culturas como um atenuador de estresse hídrico, estudos indicam que a suplementação com B pode mitigar os efeitos prejudiciais causados pela pouca disponibilidade de água (SOUZA JÚNIOR, 2021).

O magnésio é um mineral essencial e desempenha um papel crucial na fotossíntese, sendo um componente chave na estrutura da clorofila. É essencial na transferência de energia entre as moléculas de ATP e ADP, influenciando processos como fotossíntese, respiração, síntese de compostos orgânicos, absorção de íons e crescimento das raízes. Além disso, atua como ativador de enzimas importantes para a produção e translocação de açúcares (MALAVOLTA *et al.*, 1997; CHEN *et al.*, 2018).

O Magnésio é um nutriente essencial para as plantas, sua deficiência pode causar clorose nas folhas mais velhas, comprometer o transporte de carboidratos das folhas para o caule, além de afetar o crescimento radicular, influenciando também a absorção de outros nutrientes (WIEND, 2007; BRANDÃO; OTÁVIO, 2019).

A melatonina é um sinalizador biológico amplamente presente em todos os organismos vivos, desde animais até plantas (ARNAO; HERNÁNDEZ-RUIZ, 2018). Em plantas, desempenha um papel essencial na resistência ao estresse, protegendo-as contra danos oxidativos ao promover a atividade de enzimas antioxidantes e manter o equilíbrio redox nas células (CAMPOS *et al.*, 2019). Além disso, a melatonina regula processos fisiológicos cruciais, como a fotossíntese, a germinação de sementes, o crescimento de plântulas e o retardamento da senescência (ZHANG *et al.*, 2013). Esse hormônio, tem sido testado como atenuante de estresse hídrico em algumas culturas, dentre elas a melancia (BARBOSA *et al.*, 2022) e o café (CAMPOS, 2016).

3 METODOLOGIA

3.1 Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (casa de vegetação), no Departamento de Agrárias e Exatas (DAE), da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), em Catolé do Rocha, Paraíba, entre os meses de setembro e novembro de 2024.

O município está localizado geograficamente sob latitude de 6° 20' 28" S e longitude 37° 44' 59" W, a 272/m de altitude, com classificação climática segundo Koppen (2024), do tipo BSH, semiárido quente e seco, a vegetação característica na região é do tipo Caatinga arbustiva-arbórea, com temperatura média de 27 °C e, pluviosidade média anual de 874 mm, concentrada nos meses de fevereiro a abril e distribuída de forma irregular.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em blocos casualizados (DBC), com 6 tratamentos de 5 repetições, com cinco repetições, totalizando 30 unidades experimentais (Apêndice A). Os tratamentos consistiram de 2 (duas) condições hídricas (80% e 50% da capacidade de campo - CC) e 4 (quatro) condições de suplementação via foliar: ácido bórico (300 mg L⁻¹), magnésio (2%) e melatonina (0,5 mM e 1,0 mM). Cada unidade experimental foi composta por uma planta de cana-de-açúcar, sendo os tratamentos definidos como: T1 = Controle (80% CC, sem tratamento foliar); T2 = Déficit hídrico (50% CC); T3 = Déficit hídrico (50% CC) + Magnésio (2%); T4 = Déficit hídrico (50% CC) + Ácido bórico (300 mg L⁻¹); T5 = Déficit hídrico (50% CC) + Melatonina (0,5 mM); e T6 = Déficit hídrico (50% CC) + Melatonina (1,0 mM).

3.3 Condução do experimento

As plantas matrizes utilizadas para produção das mudas foram cedidas pelo setor de viveiricultura da UEPB, Campus IV. O plantio dos toletes foi realizado no dia 11 de setembro de 2024, em areia, os sulcos foram abertos com cerca de 20 cm de profundidade, com distância de aproximadamente de 15 cm entre os sulcos, e, após a distribuição das gemas estas foram recobertas com

uma camada de 10 cm de areia. Após 15 dias as mudas foram transplantadas para vasos de polietileno com capacidade de 3 dm³, os quais continham uma mistura de solo + areia (1/2).

Nos tratamentos submetidos às condições hídricas (80 e 50% CC), a umidade do solo foi monitorada usando um sensor de umidade do solo, Medidor Multiparâmetros (Cittius®, Brasil), para fazer a reposição da água de acordo com cada condição hídrica testada. A irrigação foi realizada diariamente, de forma manual, durante toda a condução do experimento. Utilizando um béquer de 1L e uma proveta de 100 mL (Apêndice B).

Para os tratamentos com aplicação de Boro (B), uma solução composta por 1L de água destilada, 300 mg L⁻¹ de ácido bórico (H₃BO₃) e 0,5 mL de detergente neutro foi formulada. Nos tratamentos com aplicação de Magnésio (Mg 2%) foi utilizado como fonte o Sulfato de Magnésio (MgSO₄·7H₂O) diluído em água destilada na concentração de 2% (v/v), acrescido 0,5 mL de óleo mineral. As soluções de melatonina nas concentrações de 0,5 mM e 1,0 mM foram preparadas dissolvendo-se o composto em água destilada, com a adição de 0,5 mL de detergente neutro. O detergente foi utilizado para reduzir a tensão superficial da água, promovendo uma maior área de molhamento das folhas. A aplicação das soluções foi realizada até atingir o ponto de escorrimento das folhas, garantindo a cobertura uniforme da superfície foliar.

Foram realizadas três aplicações com auxílio de um pulverizador manual, com capacidade para 1,5 L (Compressão Prévia; Ducampo®, Brasil), a primeira aplicação foi realizada 10 dias após o transplante, seguida pela segunda aplicação aos 21 dias e a terceira aos 31 dias após o transplante.

Buscando garantir que todas as folhas das plantas recebessem os tratamentos uniformemente, as aplicações foram realizadas nas faces abaxial e adaxial das folhas (FERNÁNDEZ *et al.*, 2006). No momento de cada aplicação, foram tomados os devidos cuidados a fim de evitar o contato das soluções com as plantas dos tratamentos diferentes.

3.4 Variáveis analisadas

Foi realizada uma análise de trocas gasosas, com um analisador de gases por infravermelho de fluxo aberto (IRGA) (CIRAS-3, PP System, Amesbury, MA,

EUA). Os parâmetros analisados foram: assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água (EUA), Temperatura foliar (T_f) e déficit de pressão de vapor (VPD).

Os pigmentos fotossintetizantes: clorofila a , b e total, também foram determinados. A medição da clorofila foi realizada na mesma folha utilizada para a determinação das trocas gasosas, utilizado o Clorofilog portátil da marca Falker, modelo CFL 1030. Este equipamento opera com três comprimentos de onda: dois na banda do vermelho, próximos aos picos de absorção de cada tipo de clorofila ($\lambda = 635$ nm e 660 nm), e um no infravermelho próximo ($\lambda = 880$ nm). Os resultados são expressos em IFC (Índice de Clorofila Falker), conforme descrito por Falker (2008).

3.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste 'F' ao nível de 5% de significância e, quando significativos, foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para comparação das médias, utilizando-se o *software* estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019). Os gráficos foram elaborados utilizando o *software* SigmaPlot versão.

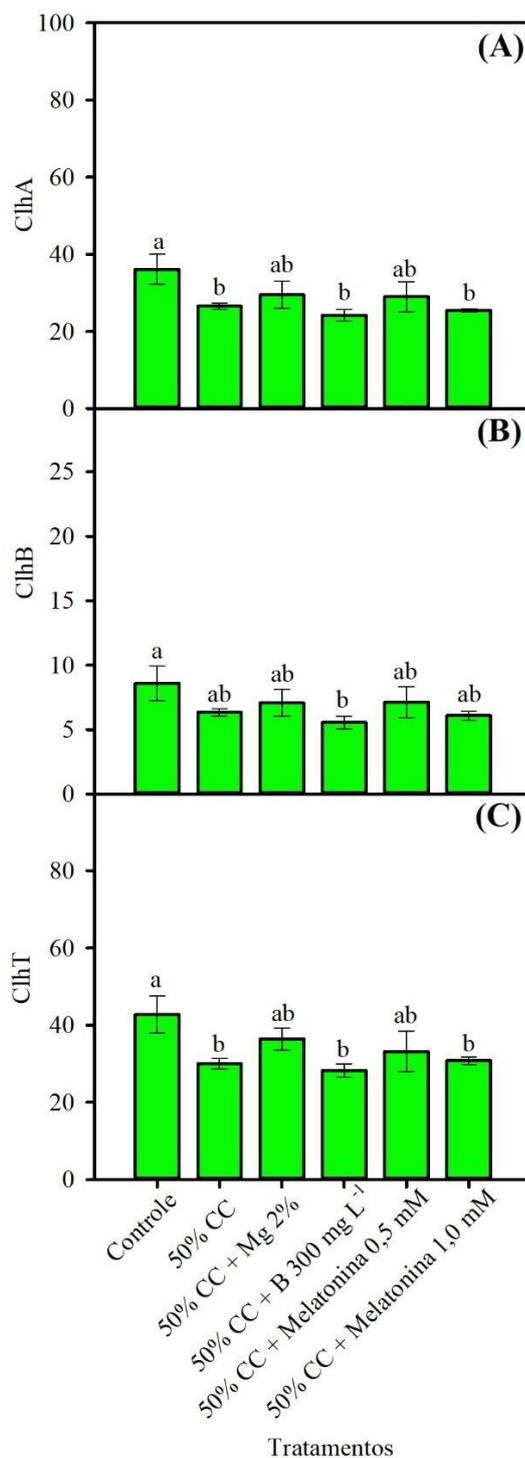
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na (Figura 1 A-C) mostram os teores de clorofila *a* (ChIA), clorofila *b* (ChIB) e clorofila total (ChIT) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a condições de déficit hídrico e diferentes tratamentos foliares. Observa-se que, de forma geral, o tratamento controle apresentou maior média (36,08 (*a*); 8,58 (*b*); 42,74 (total)). As plantas expostas ao déficit hídrico (50% CC) apresentaram uma redução significativa nos conteúdos de clorofila, indicando o impacto do estresse hídrico sobre a fotossíntese.

Em relação a assimilação de clorofila *a* o tratamento controle apresentou maior média diferindo-se estatisticamente dos tratamentos com déficit hídrico (50% CC); déficit hídrico (50% CC) + Ácido bórico (300 mg L^{-1}) e déficit hídrico (50% CC) + Melatonina (1,0 mM) (Figura 1A). O déficit hídrico a 50% da capacidade de campo (CC) resultou em uma redução significativa no conteúdo de clorofila *a*. A aplicação de magnésio (2%) e melatonina (0,5 mM) mostrou-se mais eficiente, elevando os níveis de clorofila *a* em comparação ao déficit hídrico isolado, embora ainda não alcançassem os valores do controle. Esses resultados sugerem que o magnésio, essencial para a estrutura do núcleo da clorofila, e a melatonina, com seu papel antioxidante e regulador de estresse, contribuíram para minimizar os danos causados pelo déficit hídrico (CHEN *et al.*, 2018; CAMPOS *et al.*, 2019)

Para clorofila *b* (Figura 1B) resultados semelhantes foram registrados, o tratamento controle apresentou melhor assimilação, média de clorofila *b*, diferindo estatisticamente apenas do tratamento com déficit hídrico a 50% CC e aplicação de boro (300 mg L^{-1}), o que indica que os demais tratamentos atenuaram os efeitos do estresse hídrico para esse parâmetro. Na análise para clorofila total (Figura 1C) o tratamento controle também apresentou maior média, diferindo estatisticamente dos tratamentos com déficit hídrico (50% CC); déficit hídrico (50% CC) + Magnésio (2%) e déficit hídrico (50% CC) + Melatonina (1,0 mM), mostrando que para esse parâmetro a aplicação de magnésio (2%) e melatonina (0,5 mM) é eficiente, elevando os níveis de clorofila total e melhorando as taxas fotossintéticas.

Figura 1. Clorofila *a* (ClhA, A), clorofila *b* (ClhB, B) e clorofila total (ClhT, C), de plantas de cana-de-açúcar em condições de déficit hídrico e aplicação de tratamentos foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Teste t, $p \leq 0,05$). As barras representam o erro padrão da média ($n=5$).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

De acordo com os resultados obtidos a partir da análise de variância, a assimilação líquida de CO₂ (*A*) foi maior em plantas sob déficit hídrico (50% CC), com uso de 1,0 mM de Melatonina e déficit hídrico (50% CC) com uso de 0,5 mM de Melatonina (médias de 28,54; 26,40 respectivamente), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. O tratamento com déficit hídrico isolado (50% CC) mostrou uma redução acentuada na assimilação de CO₂ (média de 8,20), evidenciando o impacto negativo do estresse hídrico na eficiência fotossintética.

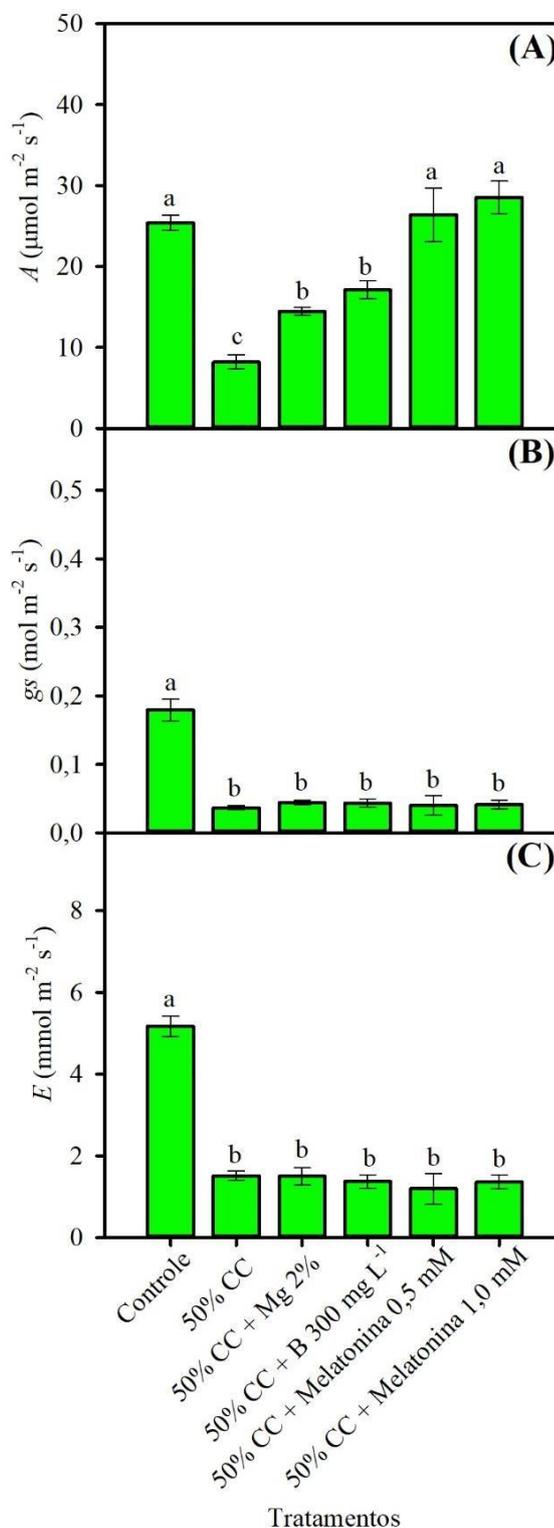
O tratamento com boro (300 mg L⁻¹) e magnésio (2%) mostraram efeito positivo quando comparado ao tratamento com déficit hídrico isolado (50% CC), embora, diferindo estatisticamente do tratamento controle, com plantas submetidas a condição hídrica de 80% da capacidade de campo (Figura 2A).

A Figura 2B apresenta os resultados da condutância estomática (*gs*), para o tratamento controle foram registrados os maiores valores de condutância estomática (média de 0,17), diferindo estatisticamente das plantas submetidas aos demais tratamentos e, indicando uma maior abertura dos estômatos e, conseqüentemente, maior troca gasosa com o ambiente onde há melhor disponibilidade hídrica.

Os resultados para transpiração (*E*) estão representados na Figura 2C, para essa variável, o tratamento controle, onde as condições de disponibilidade hídrica são ideais, exibiu os maiores valores de transpiração, indicando uma atividade estomática normal e eficiente troca de vapor d'água com o ambiente, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, onde uma redução significativa na transpiração é observada, devido ao fechamento parcial ou total dos estômatos como resposta ao estresse hídrico, minimizando a perda de água.

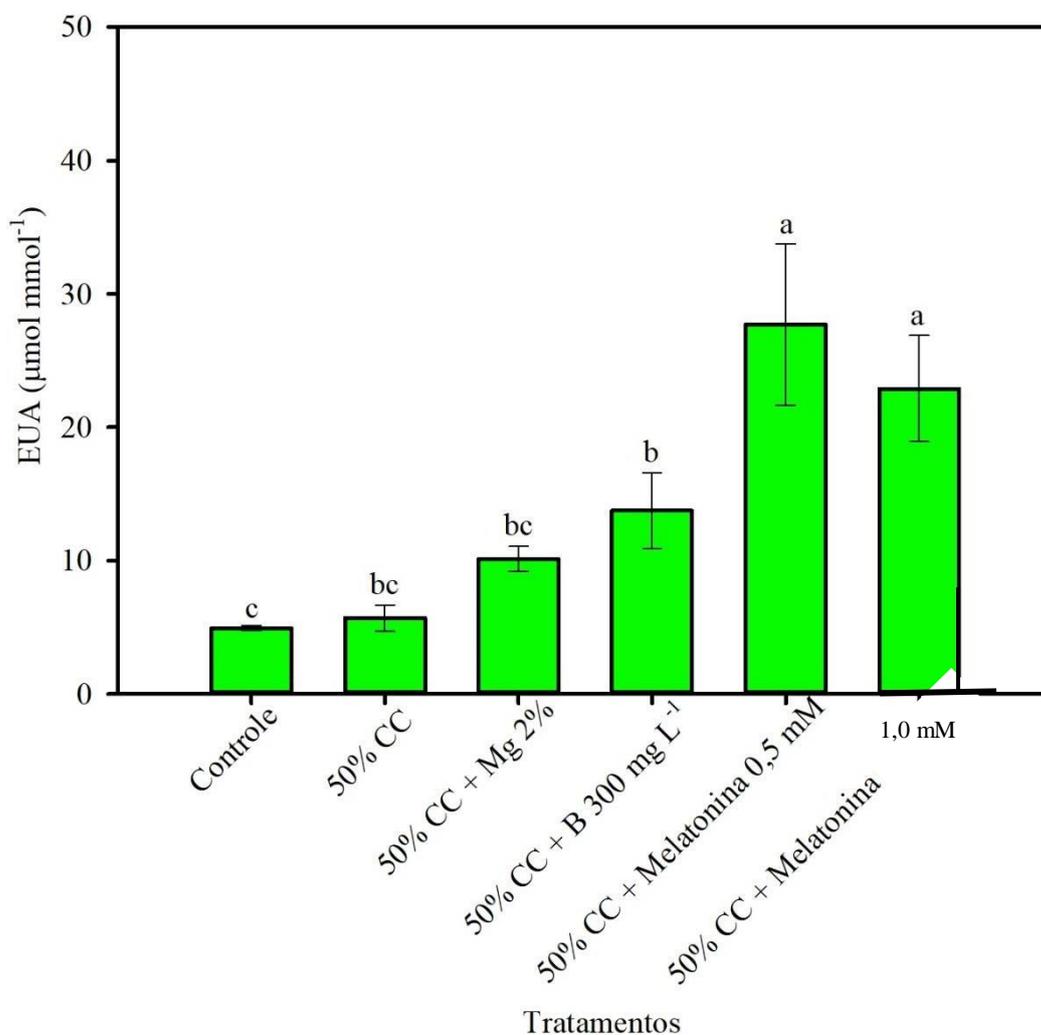
Em relação a eficiência no uso da água (EUA) (Figura 3), os resultados obtidos mostraram que em plantas de cana-de-açúcar sob déficit hídrico (50% CC) e suplementadas com melatonina a 0,5 mM e 1,0 mM, respectivamente, houve uma maior eficiência no uso da água, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos e, indicando que em condições de estresse hídrico esse hormônio pode ser uma alternativa para a produção agrícola. Apesar de menos expressivo, em relação aos tratamentos suplementados com melatonina, as plantas sob déficit hídrico (50% CC) suplementadas com boro (300 mg L⁻¹) também apresentaram efeito positivo em relação a eficiência no uso da água.

Figura 2. Assimilação líquida de CO₂ (A, A), condutância estomática (*g_s*, B) e transpiração (*E*, C), de plantas de cana-de-açúcar em condições de déficit hídrico e aplicação de tratamentos foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Teste t, $p \leq 0,05$). As barras representam o erro padrão da média.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Figura 3. Eficiência do uso da água (EUA), de plantas de cana-de-açúcar em condições de déficit hídrico e aplicação de tratamentos foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Teste t, $p \leq 0,05$). As barras representam o erro padrão da média ($n=5$).



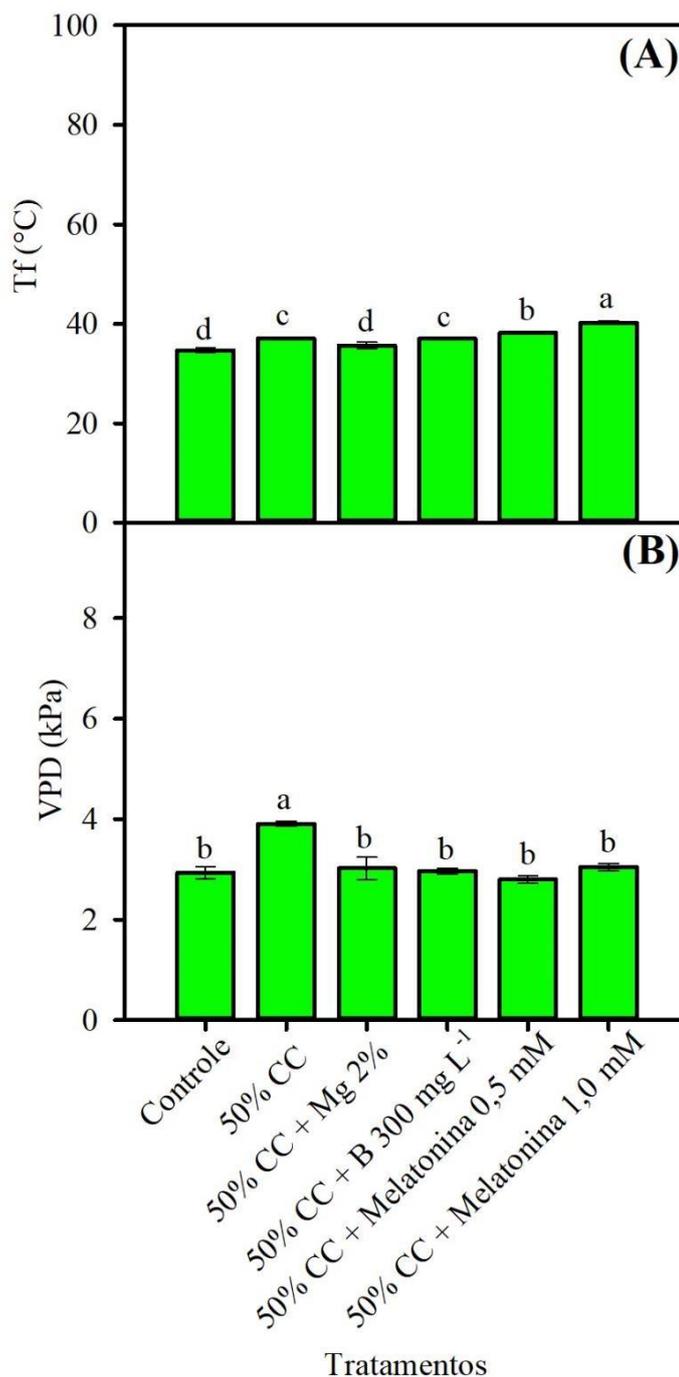
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

A Figura 4A apresenta os resultados para temperatura foliar (T_f) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a condições de déficit hídrico e tratamentos foliares. O controle, mantido em condições ideais de disponibilidade hídrica, apresentou os menores valores de temperatura foliar (média de 34,7 °C), refletindo uma maior eficiência na regulação térmica, diferindo estatisticamente das plantas sob déficit hídrico (50% CC) e suplementadas com melatonina a 1,0 mM que apresentaram maior temperatura foliar (média de 40,1 °C). Esse aumento é atribuído à redução da

transpiração devido ao fechamento dos estômatos nas plantas sob déficit hídrico. Ainda para essa variável, as plantas suplementadas com magnésio (2%) apresentaram uma diminuição significativa na temperatura foliar (média de 35,6 °C).

Em relação ao déficit de pressão de vapor (VPD) os resultados mostraram que o tratamento controle, mantido em condições hídricas ideais, apresentou os menores valores de VPD, indicando um equilíbrio entre a evaporação da água pelas folhas e o ambiente circundante, resultado semelhante estatisticamente foi observado para os demais tratamentos com plantas sob estresse hídrico e suplementadas. Em contraste, as plantas sob déficit hídrico isolado (50% CC) exibiram valores significativamente maiores de VPD, resultado da redução da transpiração devido ao fechamento estomático.

Figura 4. Temperatura foliar (Tf, A) e déficit de pressão de vapor (VPD, B), de plantas de cana-de-açúcar em condições de déficit hídrico e aplicação de tratamentos foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Teste t, $p \leq 0,05$). As barras representam o erro padrão da média (n=5).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, em plantas de cana-de-açúcar a suplementação foliar traz respostas positivas em condições de estresse hídrico.

Portanto, a suplementação foliar com boro magnésio , melatonina e boro atenua os efeitos causados pelo estresse hídrico em plantas cana-de-açucar.

REFERÊNCIAS

ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin and its relationship to plant hormones. **Annals of Botany**, v. 121, p. 195-207, 2018.

BARBOSA, FERNANDO SILVA. **Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

BARBOSA, M. E.; SILVEIRA, C. A.; BONACINA, C.; LOURENCETO, L.; SOUZA, S. G. H. Efeito priming da melatonina na germinação e no crescimento inicial de melancia submetido ao déficit hídrico. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, v. 7, n. 3, p. 1-14, 2022.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 2, n. 02, p. 48-54, 1997.

BARROS, J. D. S.; SILVA, M. F. P. Cultivo sustentável da cana-de-açúcar. **Revista eletrônica do curso de geografia - Campus Jataí - UFG**, Campos Jataí, Goiânia, v. 1 n. 17, p. 1-8, 2011.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Review Symposium**, v. 193, n. 1-2, p. 71-83, 1997.

CAMPOS, C. N. *et al.* Melatonin reduces oxidative stress and promotes drought tolerance in young *Coffea arabica* L. plants. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 37-47, 2019.

CAMPOS, CLEIDE NASCIMENTO. **Melatonina exógena na promoção de tolerância de mudas de Coffea arabica L. ao déficit hídrico**. 2016. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

CARVALHO, L.D.; BUENO, R.C.O.F.; CARVALHO, M.M.; FAVORETO, A.L.; GODOY, A.F. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. **Revista Enciclopedia Biosfera**, v. 9, n.16, p. 530-543, 2013.

CESNIK, R. Melhoramento da cana-de-açúcar: marco sucro-alcooleiro no Brasil. **Revista Eletrônica de Jornalismo Científico**, v. 1, n. p. 1-4, 2007.

CHEN, Z. C.; PENG, W. T.; LI, J.; LIAO, H. Functional dissection and transport mechanism of magnesium in plants. *Semin. Cell Developmental Biology*, n.74, p. 142-152, 2018.

CHEN, Q. *et al.* Exogenously applied melatonin stimulates root growth and raises endogenous indoleacetic acid in roots of etiolated seedlings of *Brassica juncea*. **Journal Plant Physiology**, v. 166, p. 324–328, 2009.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (2024). **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. 10 (4) -SAFRA 2024/25 - Quarto levantamento. Brasília, pp. 1-50. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (2024). **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. 11(4) –SAFRA 2023/24 – Quarto levantamento. Brasília, pp. 1-52. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>.

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, v. 42, n. 1 p. 55-76, 1991.

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.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030). Porto Alegre, Falker Automação Agrícola. Rev. B. 2008. 33p.

FERNÁNDEZ, V.; RÍO, V. D.; ABADÍA, J.; ABADÍA, A. Foliar iron fertilization of peach (*Prunus persica* (L.) Batsch): effects of iron compounds, surfactants and other adjuvants. **Plant and Soil**, v. 289, p. 239-252, 2006.

FLEXAS, J. *et al.* Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO² concentration. **New Phytologist**, v. 172, p.73-82, 2006.

KOPPER, Classificação climática de Köppen, 2024, Enciclopédia Britânica, 2024, **Anais**. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of-major-climatic-types>. Acesso em: 20 nov. 2024

LACERDA, A. R. S.; SOUZA, A. R.; SANTOS, T. M.; CLEMENTE, J. M.; DUARTE, A. R.; MACHADO, M. G. Produtividade da cana-de-açúcar em resposta a adubação NPK em diferentes épocas. **Revista Multidisciplinar**, v. 18, n. 1, p. 45-51, 2019.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, v. 36, p. 331-335, 1996.

MARSCHNER, P. **Nutrição mineral de plantas superiores**. 3. ed. Austrália: Melbourne, 2012. p. 651.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, MG: Embrapa algodão, 2005.

MARTINELLI, L. A.; GARRETT, R.; FERRAZ, S.; NAYLOR, R. Sugar and ethanol production as a rural development strategy in Brazil: evidence from the state of Sao Paulo. **Agricultural Systems**, v. 104, n. 5, p. 419-428, 2011.

MEIRA FILHO, L. G.; MACEDO, I. C. **Contribuição do etanol para a mudança do clima**. In: SOUZA; L. Leão de; MACEDO, I. C. (Org.). Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010. p. 77-97.

MELO, J.W.; LEMOS, E.G.M. Análise bioquímica de plantas. In: I SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA. Jaboticabal 1, Anais. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 310 – 331.

NOBILE, F. O.; FARINELLI, R. Aplicação de calcário em superfície: estudo da influência nas propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico sob o cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 99-109, 2017.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do País. **Parcerias Estratégicas, Brasília**, n. 12, p. 239-58, 2001.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. – Mudança Ambiental no Brasil – O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. **Scientific American Brasil**, n. 12, p. 70-75, 2005.

PEREIRA, L. A. G.; BARRETO, J. B. Geografia das exportações de açúcar e de etanol no estado de Minas Gerais. **Revista Campo-Território**, v. 15, n. p. 230-258, 2020.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004.

RAMOS, F. A. P. **Comportamento de cana-de-açúcar, cultivar SP79-1011, submetida a diferentes épocas de plantio em duas condições edafoclimáticas**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2006.

REDAE, M. H.; AMBAYE, T. G. *In vitro* propagation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) variety C86-165 through apical meristem. **Biocatalysis and agricultural biotechnology**, v. 14, p. 228-234, 2018.

RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: estudo de caso da bacia do Paracatu**. 2004. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1989. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

RERKASEM, B. et al. Grain set failure in boron deficient wheat. **Plant and Soil**, v. 155, p. 309-312, 1993.

SATHISH, D.; VASUDEVAN, V.; THEBORAL, J.; ELAYARAJA, D.; APPUNU, C.; SIVA, R.; MANICKAVASAGAM, M. Efficient direct plant regeneration from immature leaf roll explants of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) using polyamines and assessment of genetic fidelity by SCoT markers. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v. 54, n. 4, p. 399-412, 2018.

SCHWARTZ, S. B. **Segredos internos: engenhos e escravos na sociedade colonial**. São Paulo: Companhia das Letras, 1988.

SHELP, B. J. Physiology and biochemistry of boron in plants. *In: GUPTA, U. C. Boron and its role in crop production*. Boca Raton: CRC Press, 1993. p.53-85.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MOREIRA, A.; TAKAHASHI, E. N.; SGARBI, F.; BRANCO, E. F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 108-117, 2002.

SOUZA JÚNIOR, . **Boro como atenuador dos efeitos de déficit hídrico em soja (*Glycine max* L.)**. 2021. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Science Direct**, v. 98, p. 91-97, 2005.

TARIQ, M.; MOTT, C. J. B. Effect of Boron on the behavior of nutrients in soil-plant systems. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 1, p. 195-202, 2007.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Artmed, Porto Alegre, 2009. p. 848.

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. **The South African Sugar Journal**, v. 60, n. 11, p. 592-600, 1976.

ZHANG, N. *et al.* Melatonin promotes water-stress tolerance, lateral root formation, and seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Journal of Pineal Research**, v. 54, n. 1, p. 15-23, 2013.

WIEND, T. Magnésio nos solos e nas plantas. **Informações Agronômicas**, n. 117, p. 19-21, 2007.

APÊNDICES

Apêndice A – Tratamentos na casa de vegetação.



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Apêndice B - Irrigação com uso de bégua de 1L e uma proveta de 100 ML



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.