



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GENÉTICA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO

GABRIEL BAIACA FELIX DE SIQUEIRA

**ANÁLISE DO TEOR HÍDRICO E POTENCIAL À DANOS OXIDATIVOS E
FOTOSSINTÉTICOS EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) SOB RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA B EXCESSIVA.**

RECIFE

2025

GABRIEL BAIACA FELIX DE SIQUEIRA

**ANÁLISE DO TEOR HÍDRICO E POTENCIAL À DANOS OXIDATIVOS E
FOTOSSINTÉTICOS EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) SOB RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA B EXCESSIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Ciências
Biológicas - Bacharelado da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Tercilio Calsa Junior

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Siqueira, Gabriel Baiaca Felix de.

Análise do teor hídrico e potencial a danos oxidativos e fotossintéticos em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob radiação ultravioleta b excessiva. / Gabriel Baiaca Felix de Siqueira. - Recife, 2025.

45 p. : il., tab.

Orientador(a): Tercilio Calsa Junior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Genética. 2. Biologia Molecular. 3. Fisiologia Vegetal. 4. Estresses Abióticos. 5. Radiação Ultravioleta B. 6. Biotecnologia . I. Junior, Tercilio Calsa. (Orientação). II. Título.

570 CDD (22.ed.)

GABRIEL BAIACA FELIX DE SIQUEIRA

**ANÁLISE DO ESTADO HÍDRICO, OXIDATIVO E POTENCIAL À DANOS
FOTOSSÍNTÉTICOS EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) SOB RADIAÇÃO
UVB EXCESSIVA.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Ciências
Biológicas - Bacharelado da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 25/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Tercilio Calsa Junior (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antonio Oliveira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Lucas Carvalho de Freitas (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à todas as pessoas que amo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família, especialmente meu pai e minha mãe e meu irmão que nunca mediram esforços para a minha felicidade e meu futuro, inúmeras vezes optando pela garantia de algo para mim, estarei eternamente grato por tudo que fizeram por mim e espero retribuir ao menos um pouco tudo o que fizeram por mim durante a vida.

Agradeço a todos os envolvidos no Laboratório de Genômica e Proteômica de Plantas (LGPP) da Universidade Federal de Pernambuco, especialmente meu orientador Prof. Dr. Tercilio Calsa Junior pela oportunidade, paciência e conhecimento compartilhado ao decorrer dessa jornada. Também a Paulo, Lucas, Cássio e os demais membros da pós-graduação do laboratório, que sempre estiveram à disposição para me ajudar, também agradeço aos estagiários que juntos enfrentamos essa realidade tão importante que é uma iniciação científica.

Agradeço ao CNPq pelo suporte financeiro e todo apoio destinado ao projeto envolvendo cana-de-açúcar e radiação ultravioleta B.

Por fim agradeço as amigas que fiz durante a vida, que sem elas jamais seria possível passar por esse ciclo. Ivson, Aísha, Mayza, Joanna, Duda entre tantos outros que são certezas para a vida e quem sem eles ela não faria muito sentido.

Eu hoje joguei tanta coisa fora
Eu vi o meu passado passar por mim
Cartas e fotografia, gente que foi embora
A casa fica bem melhor assim
O céu de Ícaro tem mais poesia que o de Galileu
E lendo os teus bilhetes, eu penso no que fiz
Querendo ver o mais distante sem saber voar
(Paralamas do Sucesso, "Tendo a Lua", 1991)

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais importantes no âmbito social, econômico e ambiental para o Brasil, como principal matéria prima para a produção de açúcar e como fonte de biocombustível. Essa importante planta depende das condições climáticas para seu desenvolvimento e produtividade, afetados de forma rigorosa pelas mudanças climáticas já em curso e com previsão de maior intensificação, gerando estresses como o déficit hídrico e a radiação ultravioleta B. O impacto da radiação UVB em excesso na cana-de-açúcar e seu rendimento tem sido pouco estudado pela ciência considerando sua importância e necessidade cada vez maior de pesquisas fisiológicas e moleculares sobre os mecanismos de resposta a esse a esse estresse abiótico e de estratégias de melhoramento genético e adaptação desta cultura ao cenário edafoclimático previsto. Este trabalho apresenta avaliações em parâmetros de crescimento, bioquímicos e fisiológicos e danos oxidativos e fotossintéticos causados pela radiação ultravioleta B excessiva. Os dados do teor relativo de água mostram que as plantas expostas à tal radiação por meio da condutância estomática adaptaram-se para menor impacto negativo do estresse, resultando assim em plantas com maiores médias para a massa seca, massa fresca e teor relativo de água. Os resultados da perda de eletrólitos ligados diretamente ao dano à membrana da planta foram analisados um impacto maior nas plantas que foram expostas à UVB, confirmando sua capacidade de causar esse efeito negativo em suas membranas. Para o índice colorimétrico RGB e medição de clorofila com o uso do medidor portátil SPAD observou-se o teor do pigmento fotossintético clorofila como menor nos tratamentos onde as plantas tinham a presença da radiação. Esses dados e informações poderão ser úteis em programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, visando aumentar sua adaptação às futuras condições climáticas previstas em curto ou médio prazo, principalmente no que diz respeito à tolerância ao estresse causado pela radiação UVB

Palavras-chave: estresse abiótico; mudanças climáticas; adaptação; radiação ultravioleta B.

ABSTRACT

Sugarcane is one of the most important agricultural crops in Brazil from a social, economic and environmental perspective, as the main raw material for sugar production and as a source of biofuel. This important plant depends on climate conditions for its development and productivity, which are severely affected by climate change, which is already underway and is expected to become more intense, generating stresses such as water deficit and ultraviolet B radiation. The impact of excess UVB radiation on sugarcane and its yield has been studied little by science, considering its importance and the increasing need for physiological and molecular research on the response mechanisms to this abiotic stress and strategies for genetic improvement and adaptation of this crop to the predicted edaphoclimatic scenario. This work presents evaluations of growth, biochemical, and physiological parameters, as well as oxidative and photosynthetic damage caused by excessive ultraviolet B radiation. Relative water content data show that plants exposed to such radiation adapted to a lesser negative impact of stress through stomatal conductance, resulting in plants with higher averages for dry mass, fresh mass, and relative water content. The results of electrolyte loss directly linked to plant membrane damage were analyzed, showing a greater impact in plants exposed to UVB, confirming its ability to cause this negative effect on their membranes. For RGB colorimetric indices and chlorophyll measurement using the portable SPAD meter, the content of the photosynthetic pigment chlorophyll was lower in treatments where the plants were exposed to radiation. This data and information may be useful in sugarcane genetic improvement programs, aiming to increase its adaptation to future climate conditions predicted in the short or medium term, especially regarding tolerance to stress caused by UVB radiation.

Keywords: abiotic stress; climate change; adaptation; ultraviolet B radiation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama com espectro da luz ultravioleta	19
Figura 2 - Efeitos da luz UVB nas plantas	20
Figura 3 - Estufa indoor para realização do experimento, com divisão em duas partes uma com luz branca (controle) e outra com luz branca e luz UVB, dividida ao meio por poliéster.....	24
Figura 4 - Esquema UVB com a divisão dos quatro tratamentos em dois lados sem UVB e com UVB.....	24
Figura 5 - Metodologias para realização da perda de eletrólitos. (A) Cortes das folhas de cana em área de 0,5 cm ² . (B) Doze amostras, triplicata de cada tratamento (UV-NP-); (UV-NP+); (UV+NP-); (UV+NP+) em tubos eppendorf para aquecimento em bloco aquecedor.....	26
Figura 6 - Massa Fresca.....	31
Figura 7 - Massa Seca	32
Figura 8 - Média TRA	33
Figura 9 - Gráfico perda de eletrólitos	34
Figura 10 - Análise RGB pouco antes da coleta.....	36
Figura 11 - Análise RGB 24 h pós coleta	36
Figura 12 - Análise do teor de clorofila com SPAD.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos.....	23
Tabela 2 - Parâmetros ambientais	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETENE – Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DNA – Ácido Desoxirribonucleico

GAPDH – Gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase (Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase)

PIB – Produto Interno Bruto

PSI – Fotossistema 1

PSII – Fotossistema 2

RGB – (Red, Green, Blue)

ROs – Espécies Reativas de Oxigênio

RT-qPCR – Reverse Transcription quantitative Polymerase Chain Reaction

SPAD – Soil Plant Analysis Development

TRA – Teor Relativo de Água

UV – Radiação Ultravioleta

UVA – Radiação Ultravioleta A

UVB – Radiação Ultravioleta B

UVC – Radiação Ultravioleta C

UVR8 – UV *Resistance Locus* 8

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral:	14
2.2. Objetivos específicos:	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. Importância ambiental, social e econômica da cana-de-açúcar	15
3.2. Estresses abióticos	16
3.3. Radiação UVB e seus impactos em plantas	17
3.4. Estudos anteriores sobre cana-de-açúcar e radiação UVB	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1. Delineamento Experimental exposição à Radiação UVB	22
4.2. Teor Relativo de Água (TRA)	24
4.3. Análise de perda de eletrólitos (% danos à membrana)	25
4.4. Análise RGB	26
4.5. Análise teor de clorofila nas folhas com medidor portátil SPAD	27
4.6. Análise Estatística	27
5. RESULTADO E DISCUSSÃO	28
5.1. Parâmetros ambientais	28
5.2. Teor Relativo de Água (TRA) – Massa fresca (MF), Massa Seca (MS), Massa Túrgida (MT)	29
5.3. Análise perda de eletrólitos (% dano à membrana)	33
5.4. Análise RGB	35
5.5. Análise do teor de clorofila nas folhas com o medidor portátil SPAD	37
6. CONCLUSÕES	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar pertencente à família Poaceae e gênero *Saccharum* (*Saccharum spp.*) denota uma das mais importantes culturas economicamente e socialmente, é a matéria prima para produção de açúcar e do biocombustível etanol. O Brasil é estabelecido como um grande produtor de tal planta e sua produção mais que dobrou nas últimas décadas para atender às demandas globais de bioenergia e reduzir a dependência do petróleo bruto e mitigar as mudanças climáticas (Bordonal *et al.* 2018). Dentre os variados estresses ambientais aos quais as plantas são expostas rotineiramente, alguns apresentam destaque em nível mundial, sendo dessa forma alvo de inúmeros estudos e análises, buscando compreender essa relação abiótica e seus impactos diretos, que afetam de maneira negativa importantes aspectos da planta. O aumento da radiação UVB na superfície da Terra devido à depleção da camada de ozônio estratosférico, por exemplo, é uma das mudanças do padrão atual de mudança climática (Kataria; Jajoo; Guruprasad, 2014).

É notório que a radiação UV trata-se de um fator essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, todavia, essa radiação em excesso, especialmente a UVB que fica no intervalo (280 nm - 315 nm) do comprimento de onda, pode levar danos ao DNA, proteínas, membranas e geração de espécies reativas de oxigênio (ROs), sendo assim, um potencial estressor para as plantas (Kramer *et al.*; 1991, Jansen *et al.*, 1998).

A radiação UV-B intensa pode causar morte celular nas plantas, sendo caracterizada por danos morfofisiológicos e por danificar o DNA, comprometendo seu crescimento e metabolismo. Além disso, o estresse gerado pela UV-B estimula a produção de espécies reativas de oxigênio (ROs) e prejudica o processo fotossintético, uma vez que danifica o fotossistema II (PSII) (Chen, Dong e Huang, 2022).

Dado esse contexto da importância da cana-de-açúcar e os impactos climáticos causados pela depleção de camada de ozônio e aumento da incidência de radiação UVB no planeta, torna-se mais que necessário avaliar os efeitos de tal estresse abiótico sob as plantas em uma perspectiva fisiológica, bioquímica e genética, tendo conhecimento que poucos estudos estão sendo feitos nesse contexto cana-UVB, este trabalho é essencial para que futuramente possa haver uma adaptação de um futuro não muito distante.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral:

Quantificar e avaliar respostas fisiológicas e bioquímicas dos aspectos fotossintéticos e relações hídricas da cana-de-açúcar submetida à radiação UVB excessiva.

2.2. Objetivos específicos:

- Monitorar parâmetros ambientais do experimento: altura máxima, luminosidade, radiação UV, temperatura da planta, temperatura da câmara, temperatura higrômetro, umidade relativa do ar, umidade substrato, pH substrato, temperatura substrato;
- Analisar o Teor Relativo de Água (TRA) medindo a massa fresca, seca e túrgida;
- Analisar a Perda de Eletrólitos (% dano à membrana);
- Analisar o índice colorimétrico RGB;
- Analisar o teor de clorofila nas folhas com o medidor portátil SPAD.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Importância ambiental, social e econômica da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) pertencente à família Poaceae é uma planta tropical robusta e vigorosa, com seu crescimento maior do que grande parte das espécies de cultivo, em parte devido a sua alta eficiência fotossintética como gramínea C4, sendo assim mais eficiente em condições quentes e secas. Trata-se de uma das culturas agrícolas mais importantes, sua relevância compreende aspectos econômicos, sociais e ambientais, contribui com cerca de 70 % da produção mundial do açúcar e detém enorme potencial para biomassa e biocombustíveis à base de etanol. Quando comparados a demais resíduos agrícolas, os da cana-de-açúcar são uma rica fonte de materiais lignocelulósicos utilizados assim para síntese de etanol combustível ou fonte de energia, podendo ser produzido a partir do caldo e do bagaço, bem como resíduos da parte aérea (Dinesh Babu *et al.*, 2022).

O Brasil apresenta destaque sendo o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento a safra 2024/2025 obteve produção estimada de 676,96 milhões de toneladas. A colheita dos estados da região Nordeste é estimada em 54,4 milhões de toneladas com área colhida superando 897 mil hectares (CONAB, 2025). A variedade RB 92579, também chamada de RB 579 é muito cultivada em território brasileiro, principalmente na região Nordeste, devido à sua resistência à seca.

3.2. Estresses abióticos

Estresse abiótico se caracteriza por ser qualquer fator ambiental limitante no crescimento e produtividade das plantas, como calor excessivo, frio intenso, seca, salinidade, radiação UV e presença de metais pesados. Com base em dados da FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), mais de 90% das terras utilizadas na agricultura são impactadas por esses estresses (Imran et al., 2021).

Os estresses abióticos provocam alterações na morfologia, composição química, funcionamento interno e na organização dos tecidos das plantas. Essas mudanças têm interferência em funções vitais como a fotossíntese, respiração, crescimento e desenvolvimento. Se o estresse insistir por muito tempo ou for muito intenso, a planta pode não resistir, resultando em sua morte (Nadarajah, 2020). Essas ameaças apresentam perspectiva de tornarem-se ainda mais significativas sob as mudanças climáticas e uma população e demanda em constante crescimento (Kopecká et al., 2023).

A cana-de-açúcar é frequentemente afetada por esses estresses, no cenário do cultivo em território brasileiro, o fator mais limitante da produtividade canavieira é dado pelo estresse hídrico. Seja pela seca, pouca chuva ou irrigação insuficiente, sem água a cana não consegue realizar suas funções básicas com eficiência. Com o fechamento dos estômatos, para evitar a perda da água, a captação de CO₂ diminui, prejudicando a produção de energia da planta, além de reduzir o tamanho das folhas, que acarreta a redução da captação da luz solar e interfere negativamente na fotossíntese, ocorre também a queda na transpiração, que afeta a saúde e o crescimento da planta, a diminuição do potencial hídrico e a diminuição do crescimento e abertura estomática. O estresse hídrico comumente vem junto com outros estresse, como altas temperaturas, que aceleram a perda de água, e radiação UV-B, que pode danificar o DNA, proteínas e membranas das células vegetais. Esses fatores combinados agravam mais ainda a produtividade da cana (Souza, 2015).

3.3. Radiação UVB e seus impactos em plantas

A Radiação Ultravioleta abrange aproximadamente de 7 a 9 % da energia total da radiação solar que atinge a superfície do planeta Terra, tendo sua divisão em três faixas de comprimento de onda: UVA (320 – 400 nm); UVB (280 – 320 nm) e UVC (280 – 100 nm) (Figura 1). A UVA é considerada a faixa menos prejudicial a UVB tem a capacidade de causar efeitos prejudiciais nas plantas e a UVC é extremamente prejudicial a todos os organismos, porém é absorvida pela camada de ozônio. A depleção da camada de ozônio tem intensificado os efeitos da radiação ultravioleta nos organismos com tendência a crescer. É notório que a radiação ultravioleta causa diferentes impactos e respostas nas plantas, podemos citar danos ao DNA e às proteínas, geração de ROs e implicações diretas na fisiologia celular, desenvolvimento, morfologia e crescimento. (Jacobo-Velázquez, Moreira-Rodríguez e Benavides, 2022). Esses fatores tornam a Radiação Ultravioleta B um importantíssimo estresse abiótico para estudos e análises, vinculado com a importância e contexto da cana de açúcar no Brasil.

A luz UVB influencia uma série respostas celulares, moleculares e fisiológicas, incluindo sua reprodução, morfologia, fotossíntese e metabólitos especializados, impacta diretamente também os equilíbrios hormonais, metabolismos redox e as respostas ambientais (Figura 2). Mesmo que essa radiação induza principalmente a biossíntese de metabólitos secundários, certas plantas apresentam uma resposta bifásica para as características morfológicas e diferentes doses de UVB, dessa forma, entende-se que a UVB pode estimular respostas específicas, mas também reprimir, dependendo da dose (Meyer; Van De Poel; De Connick, 2021).

Lesões no material genético (DNA) produzidas pelo estresse UVB afetam tanto a replicação quanto a transcrição, inibindo assim o seu metabolismo e desenvolvimento, ademais no processo de fotossíntese a exposição prolongada ao dano UVB danifica de maneira direta os componentes da maquinaria fotossintética, com efeitos mais severos ao fotossistema II (PS II) do que ao fotossistema I (PS I), tal complexo proteico é sensível, pois a radiação degrada proteínas suas fundamentais impactando em sua eficiência, esse estresse também diminui a

atividade da enzima Rubisco, essencial para fixação de carbono e reduz os teores de clorofila pigmento vital para captação de luz (Chen, Dong e Huang, 2022). A variabilidade entre espécies vegetais e duração da exposição à radiação UVB são os principais fatores responsáveis pelas diferentes respostas observadas no crescimento e fisiologia das plantas. Diversos estudos têm empregado exposição suplementar e de curto prazo da radiação UVB em diferentes espécies vegetais, buscando compreender os complexos mecanismos fisiológicos e moleculares envolvidos nos danos causados por esta radiação, bem como processos de morfogênese e os mecanismos de tolerância desenvolvidos pelas plantas. Tais investigações são fundamentais para desvendar como as plantas percebem, respondem e adaptam-se ao estresse por UVB em nível molecular, celular e fisiológico (Apoorva et al., 2021)

Nesse contexto buscar formas de aumentar a resistências das plantas para o estresse causado por UVB é um grande e importante desafio, perspectivas buscam por meio da genética e biologia molecular ciência alvos potenciais biomarcadores que tenham papel direto na interação radiação UVB e planta, inúmeros trabalhos já avaliam esses dois e demonstram moléculas que podem servir para programas de melhoramento genético. As plantas sintetizam biomarcadores, que ajudam a planta a adaptar-se e manter o equilíbrio interno de suas células, servindo assim como indicadores mensuráveis e quantificáveis da reação de uma planta a estímulos externos (Steinfath *et al.*, 2010).

A proteína UV RESISTANCE LOCUS (UVR8) é reconhecida como o principal receptor de radiação nas plantas, desempenhando papel fundamental nos mecanismos de aclimação e tolerância a esse tipo de estresse, além de atuar na regulação de processo metabólicos e de desenvolvimento, o UVR8 desencadeia respostas fisiológicas e fotomorfogênicas, como a inibição do alongamento do hipocótilo e o aumento na produção de flavonoides e antocianinas, compostos que atuam diretamente na proteção contra danos da radiação. Estudos mais recentes indicam que a influência dessa proteína se estende a outros processos tais como: fototropismo (crescimento em direção a luz); termomorfogênese, relógio circadiano, respostas de defesa, sinalização de auxina, desenvolvimento de cloroplasto, abertura estomática, desenvolvimento e enrolamento foliar. Tais atividades e recentes descobertas reafirmam a proteína UVR8 como uma molécula central nas

respostas das plantas para o estresse induzido por UVB excessiva (Fernandéz, Lamattina, Cassia, 2020).

Essa proteína foi superexpressada e silenciada em tomate (*Solanum lycopersicum*) por Li *et al.* (2018) e foi constatado que UVR8 é essencial para a aclimação da planta à radiação UVB, onde após análise quantitativa de RT-PCR os níveis de mRNA em folhas jovens foram consideravelmente superiores nas plantas que tinham a superexpressão, por outro lado o branqueamento (danos) das folhas foram consideráveis e extremamente visíveis nas folhas com a atividade da proteína reduzida. Outros resultados presentes no mesmo estudo confirmam que a UVR8 afeta o desenvolvimento do cloroplasto e o nível nutricional dos frutos de tomate. Indicando que a manipulação da UVR8 representa uma opção para importante para a tolerância ao estresse por radiação UVB em demasia.

Após análise proteômica diferencial Souza (2015) verificou que os estresses por déficit hídrico e alta UVB provocaram alterações significativas no proteoma da fração enriquecida de parede celular nas folhas de cana-de-açúcar da variedade RB867515, as proteínas com localização predita na parede celular vegetal e/ou potencialmente envolvidas em estruturas extracelulares foram mais abundantes sob alta incidência de radiação UVB.

Figura 1 - Diagrama com espectro da luz ultravioleta

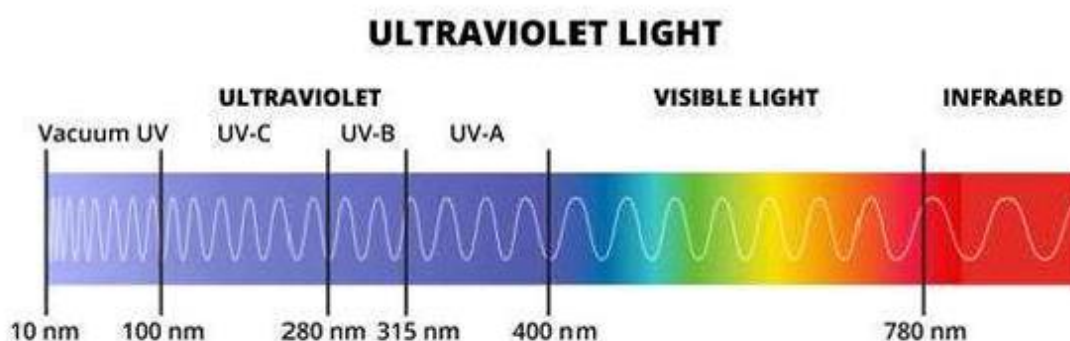
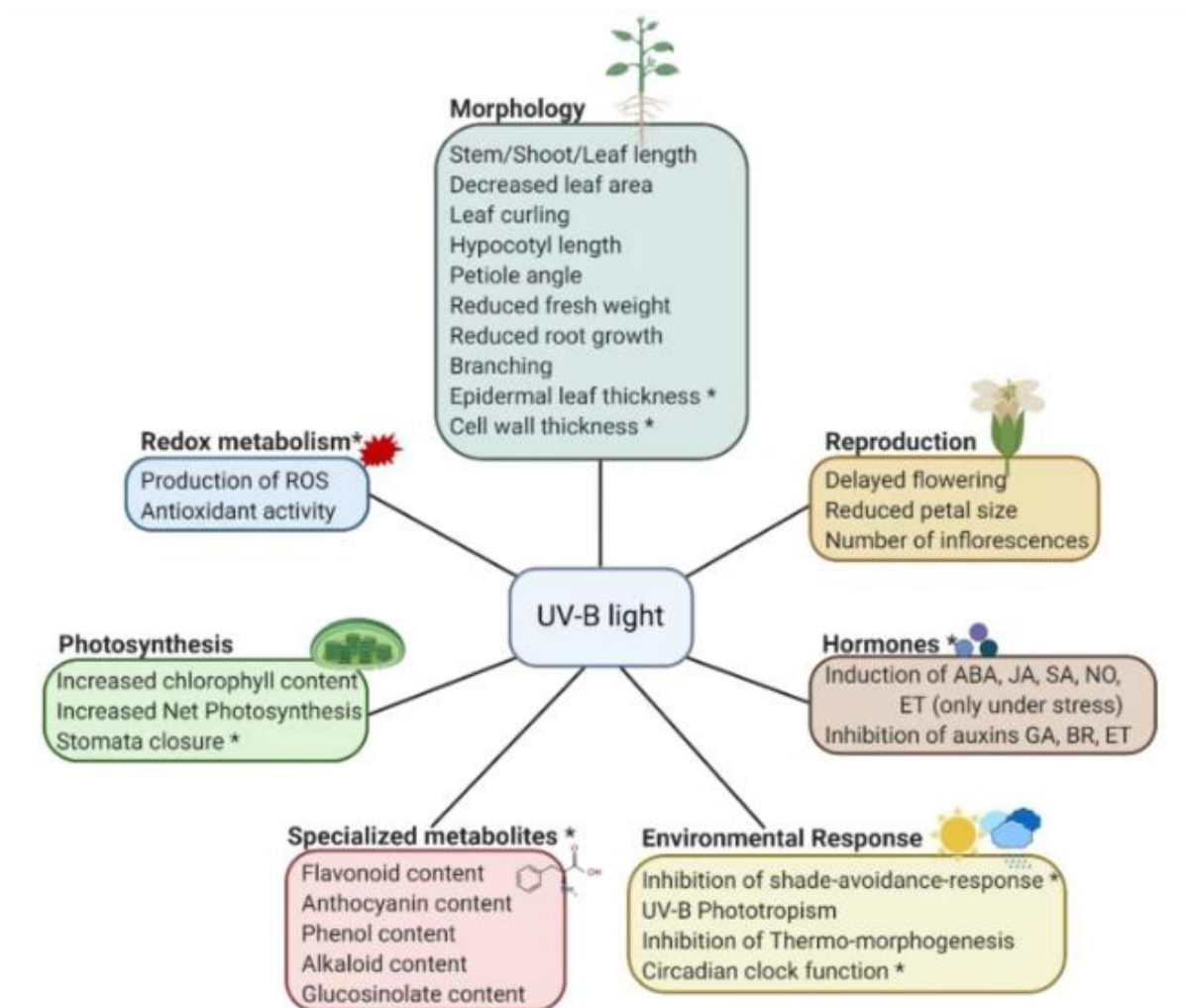


Figura 1. Diagrama com espectro da luz ultravioleta. (Fonte: ISTOCK. *Diagrama de vetor com espectro de luz ultravioleta (UV) isolado em fundo branco.*)

Figura 2 - Efeitos da luz UVB nas plantas

Fonte: (Meyer; Van De Poel; De Connick, 2021).

3.4. Estudos anteriores sobre cana-de-açúcar e radiação UVB

O estudo pioneiro de Souza (2015) já apontava que a variedade RB867515 tem maior tolerância aos estresses combinados, mantendo melhores taxas de trocas gasosas e menor dano oxidativo. Entretanto, o trabalho também identificou proteínas diferencialmente acumuladas, associadas a processos como defesa celular, resposta a estresses abióticos, biossíntese de lignina e flavonoides. Sendo essas proteínas relacionadas à regulação gênica, pois refletem possíveis mudanças na expressão de genes induzidos pelas condições adversas. A autora aponta que os resultados obtidos formam um conjunto de proteínas e seus genes codificantes com

potencial para atuar como marcadores funcionais, podendo ser utilizados em programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar voltados à seleção de variedades mais tolerantes ao estresse hídrico e à radiação UV-B. Sugerindo assim, que embora não tenha feito análises transcriptômicas diretas, o trabalho traz indícios relevantes sobre o papel da expressão gênica regulada por estresses ambientais na adaptação fisiológica da cultura.

O estudo realizado por Silva, Sousa e Calsa Junior (2018) teve foco em avaliar os efeitos combinados dos estresses hídrico e por radiação UVB sob cana-de-açúcar e relatou que tais condições impactam diretamente os aspectos fisiológicos da planta, como a fotossíntese, transpiração e condutância estomática. O experimento foi realizado com as variedades RB867515 e RB92579, e foi observado que ambas sofreram com os estresses aplicados, entretanto a variedade RB867515 apresentou melhor desempenho sob condições adversas, mantendo taxas superiores de trocas gasosas e maior eficiência no uso da água. Essa variedade apresentou uma maior capacidade de adaptação, que pode estar relacionada a mecanismos mais eficientes de regulação estomática. Tais resultados mostram em determinadas condições a UVB tem capacidade de amenizar os efeitos da seca ao reduzir a perda de água com a variedade RB867515 uma forte candidata para programas de melhoramento genético visando a maior resistência dessa planta para estresse abióticos.

Esses estudos buscam antecipar uma realidade breve, para dessa forma nos beneficiarmos desse conhecimento, e assim, programas de melhoramento genético temos opções de plantas mais resistentes, produtivas e mais adaptadas a esse estresse, ainda com a necessidade de mais estudos e investimento para pesquisa nesse contexto de variedades de cana-de-açúcar e estresses abióticos especialmente UVB com foco em análises moleculares, fisiológicas, bioquímicas e genéticas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Delineamento Experimental exposição à Radiação UVB

O experimento foi realizado em casa de vegetação de cultivo *indoor* GrowPower (120 x 120 x 200 cm) no Laboratório de Genômica e Proteômica de Plantas (LGPP) na Universidade Federal de Pernambuco, campus Recife no período de dias entre 18 e 24 de abril de 2024. Diferentes análises foram subsequentes a tal período. Para o experimento foram utilizadas 36 plantas de Cana-de-açúcar da variedade RB 92579 devido sua importância na região nordeste adquiridas junto ao CETENE com aproximadamente 60 dias pós plantio e de forma randomizada 18 plantas foram selecionadas para o controle sem exposição à UVB e outras 18 para serem expostas a radiação.

A estufa conta com dois exaustores um em cada lateral para manutenção da temperatura e umidade e dois temporizadores, um deles conectado a luz branca configurado para o fotoperíodo 12/12 h, ou seja, 12 h com a luz ligada e 12 com a luz apagada, das 6:00 às 18:00 com a luz ligada. E outro timer ligado diretamente à luz UVB com sua configuração delineada para 6 horas de radiação das 9:00 horas às 15:00 horas. Como fonte de radiação ultravioleta B (UVB) foi utilizada uma lâmpada fluorescente UVB-T5 de 24 W (50/60 Hz) fixada a parte estrutural da estufa com a possibilidade de regulação da distância da lâmpada para o topo das plantas com intensidade de 4,5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. A lâmpada foi envolta com acetato de celulose (0,10 mm de espessura; Grafix Plastics) para a garantia do bloqueio completo da radiação ultravioleta C ($\lambda < 280 \text{ nm}$). A estufa *indoor* foi separada ao meio com o uso de uma cortina de poliéster (0,125 mm de espessura; Metalgamica Produtos Gráfica Ltda.) para o bloqueio de comprimentos de onda (λ) menores que 320 nm e impedir a passagem lateral de luz UVB para as plantas no tratamento controle (Figura 3).

As plantas do experimento foram submetidas a quatro tratamentos: A) Sem exposição à radiação UVB e sem aplicação de nanopartículas (UV-NP-); B) Sem exposição à radiação UVB e com aplicação de nanopartículas (UV-NP+); C) Com exposição à radiação UVB e sem aplicação de nanopartículas (UV+NP-); D) Com

exposição à radiação UVB e com aplicação de nanopartículas (UV+NP+) (Tabela 1) e (Figura 4).

A nanopartícula empregada neste experimento é uma tecnologia em desenvolvimento e aprimoramento pelo laboratório de Nanotecnologia do CETENE (Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste). Produzida via síntese hidrotérmica, sua estrutura contém Nitrogênio (N), Fosforo (P), Potássio (K), Calcio (Ca) e Enxofre (S) como seus principais componentes. Dados obtidos com a utilização da nanopartícula não são apresentados devido a encaminhamento de pedido de patente.

Tabela 1 – Tratamentos para delineamento experimental: (A) UV-NP-; (B) UV-NP+; (C) UV+NP-; (D) UV+NP+.

Identificação	UVB	Nanopartícula	Tratamento
A	Sem radiação	Sem aplicação	UV-NP-
B	Sem radiação	Com aplicação	UV-NP+
C	Com radiação	Sem aplicação	UV+NP-
D	Com radiação	Com aplicação	UV+NP+

Durante os seis dias de experimento diferentes parâmetros foram medidos nas plantas, os quais foram: altura máxima (cm) com régua; luminosidade/T (lux/°C) com luxímetro digital vonder LDV 2000; UV ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) com medidor UV; temperatura da folha da planta e estufa (°C) com termômetro laser; temperatura higrômetro (°C) e umidade relativa do ar (%) com termohigrômetro; umidade do substrato (par), pH do substrato (par) e temperatura do substrato (°C) com termopar Three-Way Meter. Tais medidas foram realizadas às 11:00. O material (folhas) para as análises subsequentes foi coletado após o sexto dia de exposição e guardado nas temperaturas adequadas.

Figura 3 - Estufa indoor para realização do experimento, com divisão em duas partes uma com luz branca (controle) e outra com luz branca e luz UVB, dividida ao meio por poliéster.

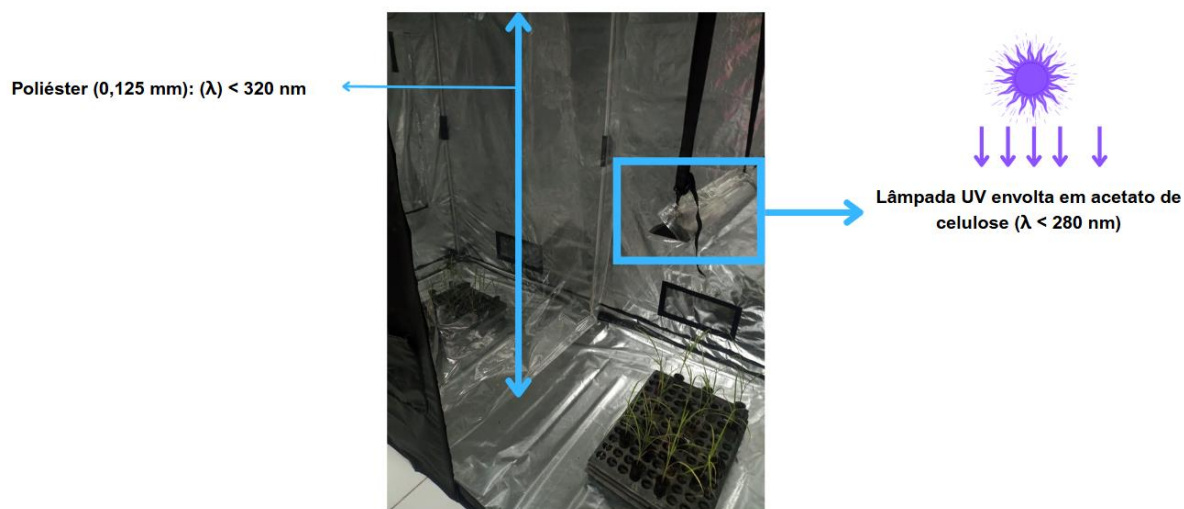
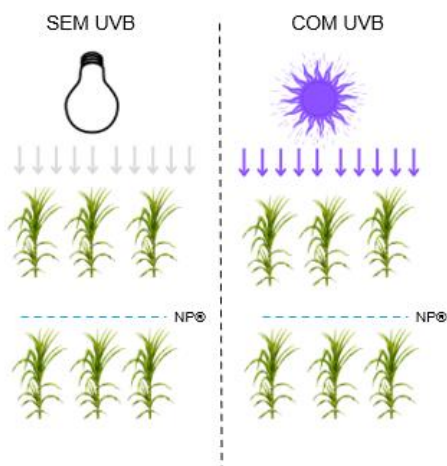


Figura 4 - Esquema UVB com a divisão dos quatro tratamentos em dois lados sem UVB e com UVB.



4.2. Teor Relativo de Água (TRA)

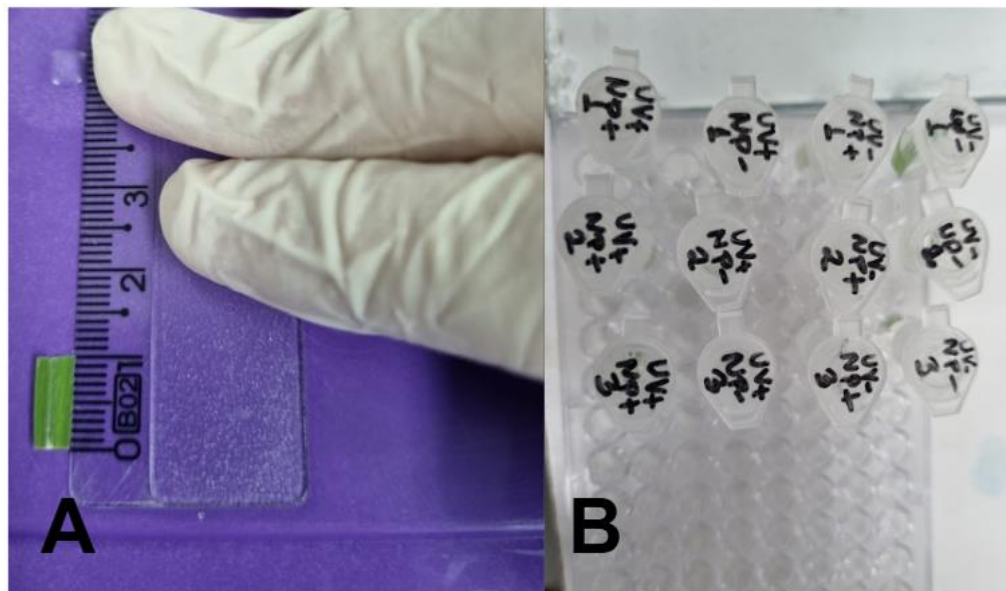
O teor relativo de água foi medido de acordo com Métodos de avaliação das condições hídricas das plantas. – Métodos de avaliação das condições hídricas das plantas (Portal Embrapa). A pesagem de Massa Fresca (MF) em gramas (g) é feita imediatamente pós coleta em seguida acondicionado em estufa pré-aquecida, para

desativamento da atividade fisiológica da planta e assim prevenir a perda de material com a intensificação da respiração pelo aumento da temperatura. A secagem dura cerca de três horas com aproximadamente 70 °C de temperatura na estufa de secagem, então é medida a Massa Seca (MF). Considera-se que a Massa Seca entre outros parâmetros fisiológicos pode variar ao decorrer do tempo, dia ou fase de desenvolvimento da planta, assim a comparação de resultados com base em tal massa pode ser insatisfatória, como alternativa afim de eliminar esse problema é expresso o teor de água com base na Massa Túrgida (MT). A MT foi medida com a coleta de discos do material foliar com cerca de 1 cm de diâmetro adicionados em um tubo eppendorf, após a medição da MF, os discos são imersos em água destilada e deixados até que os tecidos atinjam a sua turgidez máxima. Baseado nessas três medições em gramas (g) o TRA é calculado pela seguinte fórmula: $tra = [(MF - MS) / (MT - MS)] \times 100$. As medições do TRA de cada tratamento foram feitas em triplicatas. (Guimarães e Stone, 2008).

4.3. Análise de perda de eletrólitos (% danos à membrana)

A perda de eletrólitos, para avaliação da porcentagem do dano à membrana, foi feita com a utilização de um Condutivímetro (TDS-110, Instrutherm) 48 horas após a coleta do material vegetal (Refrigerado até as análises). Foi coletado amostras de folha e raiz com área de 0,5 cm² (0,5 cm de base x 1,0 cm de altura) de cada tratamento (Figura 3 A), as amostras foram colocadas em tubos *eppendorf* com 1 mL de água destilada (Figura 3 B). Em seguida encubadas em Bloco Aquecedor à 27 °C por 24 horas, posteriormente as amostras foram transferidas para Becker de 5 mL aos quais foram adicionados 4 mL de água destilada, assim com o Condutivímetro determinando a condutividade elétrica (C1) expressa em Micro Siemens (μS). Seguidamente as amostras foram novamente aquecidas no Bloco Aquecedor à 95 °C por 1 hora, após seu resfriamento, foi realizada uma segunda leitura com o Condutivímetro determinando a (C2). A porcentagem de dano à membrana foi calculada pela fórmula: $\%DM = (C1/C2) \times 100$. Os resultados obtidos para cada tratamento foram feitos em triplicata, como as leituras de C1 e C2 foram adaptadas para o volume de 5 mL, os dados passaram por correção de valor com C1 sendo multiplicado por 5 e C2 por 25.

Figura 5 - Metodologias para realização da perda de eletrólitos. (A) Cortes das folhas de cana em área de 0,5 cm². (B) Doze amostras, triplicata de cada tratamento (UV-NP-); (UV-NP+); (UV+NP-); (UV+NP+) em tubos eppendorf para aquecimento em bloco aquecedor.



4.4. Análise RGB

As análises colorimétricas foram realizadas *in vivo* no sexto dia do experimento em estufa *indoor* e após 24 horas das amostras coletadas e posteriormente armazenadas em tubos de polipropileno do tipo *falcon* de 15 mL mantidos em geladeira. As leituras foram realizadas com a utilização do Colorímetro aplicativo digital Color Meter para a detecção dos níveis de cores vermelha, verde e azul, baseando-se no sistema R, G, B. A medição foi feita para as três folhas mais largas de cada tratamento, seguindo as seguintes condições: aproximadamente de 7 cm de distancia das folhas, o dispositivo detector a um ângulo de 45° e com incidencia de luz branca vertical em 90° a 10 cm de distancia. Em seguida foi tirada a média RGB para os quatro tratamentos, resultando assim em três valores para cada.

4.5. Análise teor de clorofila nas folhas com medidor portátil SPAD

O medidor portátil SPAD (Soil Plant Analysis Development) fornece valores que correlacionam-se com a concentração de clorofila na folha, seu cálculo é baseado a diferença de absorção de luz em dois comprimentos de onda distintos, o primeiro de 650 nm, onde a clorofila absorve intensamente a luz, o segundo a 940 nm, usado como referencia por não ser significativamente absorvido pelos pigmentos foliares. Dessa forma o equipamento compara a transmitância de luz nesses dois comprimentos de onda, gerando um índice proporcional ao teor de clorofila presente no tecido vegetal (Swiader e Moore, 2002). Para análise com o SPAD *in vivo* pouco antes da coleta foram escolhidas 5 plantas representativas e saudáveis de cada tratamento para ser feita a leitura do teor de clorofila nas folhas, em cada planta 3 leituras foram feitas, em três partes distintas, com a utilização do medidor portátil de clorofila SPAD (Soil Plant Analysis Development). Os resultados foram as médias das três medições por planta nos quatro tratamentos.

4.6. Análise Estatística

Os dados referentes as taxas de crescimento e quantificação dos pigmentos fotossintéticos (TRA, perda de eletrólitos, RGB e teor de clorofila na folhas com o medidor portátil SPAD) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software GraphPad Prism 10.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1. Parâmetros ambientais

Ao decorrer dos seis dias de realização experimental, os parâmetros ambientais foram monitorados e mantiveram sua constância entre os tratamentos como mostrado na tabela 4. A altura média das plantas foi de 22 centímetros. A exposição à UVB foi confirmada pelas medições de intensidade luminosa e UV (214,9 lux e 342 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, respectivamente) nos grupos UV+, já os grupos UV- mantiveram valores nulos para medição UV, com sua intensidade luminosa média em 171,4 lux. Essa diferença nos valores de luminosidade (lux) deve-se à presença simultânea de uma luz branca e uma luz UVB nos grupos UV+, enquanto os grupos UV- foram expostos somente à luz branca. As temperaturas de ambiente, planta e substrato apresentaram poucas variações entre os tratamentos, comprovando a eficiência no controle das condições experimentais. A umidade relativa do ar manteve-se constante em 55% e o pH do substrato com variações entre 7,0 e 7,5 confirmando sua estabilidade. Esses dados mostram que as variações observadas nos parâmetros fisiológicos e bioquímicos das plantas ao decorrer do experimento não foram influenciadas por alterações ambientais significativas, garantindo a confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos, que estão mostrados na tabela 4 a média dos seis dias de tais parâmetros.

Tabela 2 - Parâmetros ambientais

Parâmetro	UV-NP-	UV-NP+	UV+NP-	UV+NP+
Altura máxima (cm)	22	22	22	22
Luminosidade/T (lux/°C)	171.4/28,1	171.4/28,1	214.9/28,3	214.9/28,3
UV (uW/cm ²)	0	0	342	342
Temperatura planta (°C)	25.6	25.6	25.7	25.7
Temperatura câmara (°C)	26.3	26.3	27	27
Temperatura higrômetro (°C)	26.7	26.7	26.5	26.5
Umidade relativa do ar (%)	55	55	55	55
Umidade substrato (DRY)	3	3.1	3.8	3.2
pH substrato	7.3	7.1	7.5	7
Temperatura substrato (°C)	24,8	25,0	25,1	25,1

5.2. Teor Relativo de Água (TRA) – Massa fresca (MF), Massa Seca (MS), Massa Túrgida (MT)

O teor relativo de água (TRA) foi mensurado a partir do valor de massa fresca (MF), massa túrgida (MT) e massa seca (MS). Os valores médios de massa fresca foram observados maiores nos tratamentos com exposição à UVB (UV+NP-) e

(UV+NP+), com valores próximos aos tratamentos com ausência de UVB (UV-NP-) e (UV-NP+), o maior valor médio para massa fresca foi apresentado no tratamento (UV+NP-), dados apontam um maior acúmulo de água nas plantas que receberam a radiação UVB em comparação as que não (Figura 4). O mesmo padrão segue para os resultados obtidos em massa seca com o tratamento (UV+NP-) com a maior média (Figura 5) para o material foliar guardado durante 24 horas em geladeira após coleta. A média TRA contendo os valores das três massas segue o observado anteriormente que os tratamentos com a presença da UV resultaram em valores maiores (Figura 6). Os dados obtidos corroboram as hipóteses descritas em Middleton e Teramura (1993) e Day e Volgemam (1995), que sugerem que à exposição à radiação UVB pode alterar a dinâmica estomática, dessa forma reduzindo a taxa de transpiração foliar. Segundo Bernado *et al.* (2022), tal redução na transpiração aumenta a eficiência do uso da água. Além disso a literatura indica que o fechamento estomático tem a capacidade de elevar a temperatura foliar, conforme predito em Williams *et al.* (2022) que observaram que um incremento de 0,1 °C já tem a capacidade de alterar a condutância estomática, nos experimentos realizados para esse trabalho também foi observado o aumento de 0,1 °C na temperatura foliar nas plantas expostas à radiação UVB, alinhando-se com essas premissas. Os dados foram coletados em condições controladas e *indoor* testes em maior escala e em campo tornam-se necessários para validação de respostas em cenários reais. Vale ainda ressaltar que em condições naturais, esse fechamento prolongado dos estômatos pode impactar diretamente na fotossíntese (Flexas *et al.*, 2006).

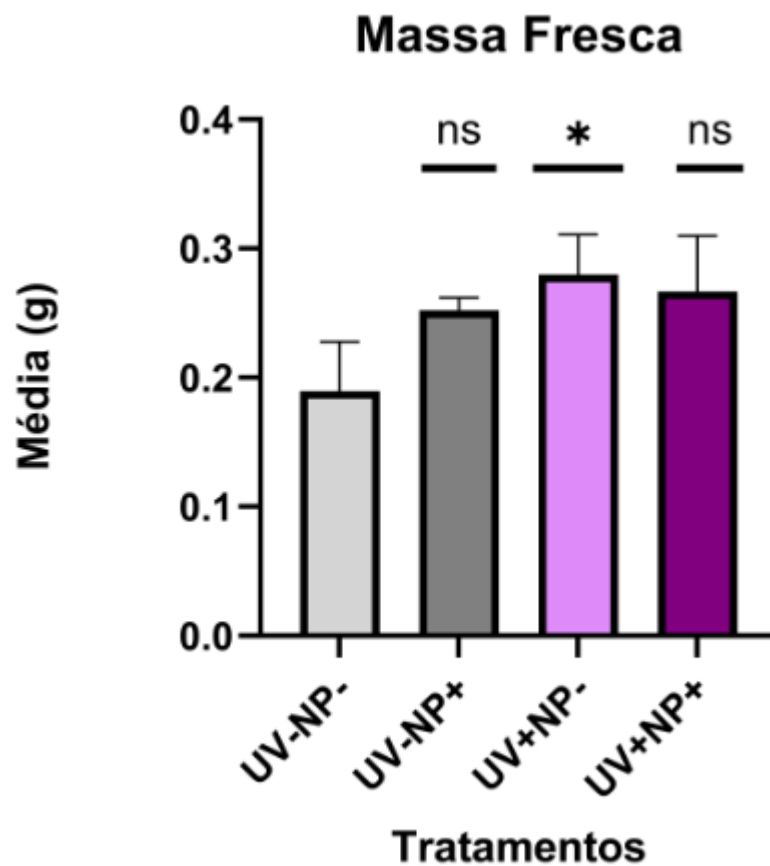
Figura 6 - Massa Fresca

Figura 6: Determinação das médias de Massa Fresca (MF) das folhas de cana-de-açúcar com e sem exposição à radiação UVB em quatro tratamentos: UV-NP- com 0,1896 g de média; UV-NP+ com 0,2521 g de média; UV+NP- com 0,2797 g de média e UV+NP+ com 0,2669 g de média. As médias seguidas por asteriscos (*) diferem significativamente entre os tratamentos ($p < 0,05$, ANOVA seguido de teste de Tukey).

Figura 7 - Massa Seca

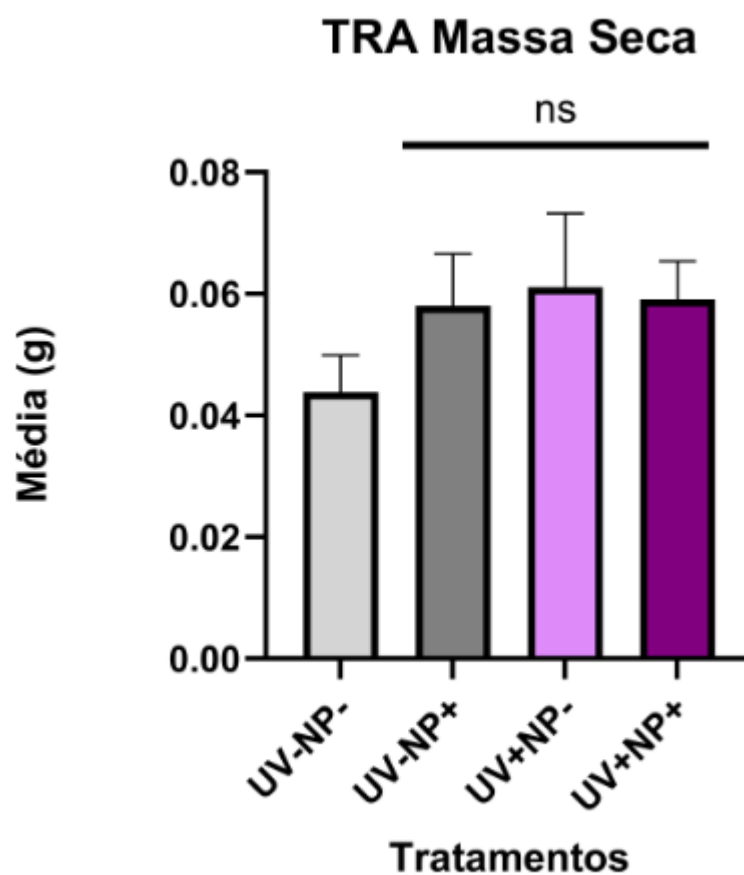


Figura 7: Determinação das médias de Massa Seca (MS) das folhas de cana-de-açúcar com e sem exposição à radiação UVB em quatro tratamentos: UV-NP- com 0,0438 g de média; UV-NP+ com 0,0588 g de média; UV+NP- com 0,0611 g de média e UV+NP+ com 0,0591 g de média.

Figura 8 - Média TRA

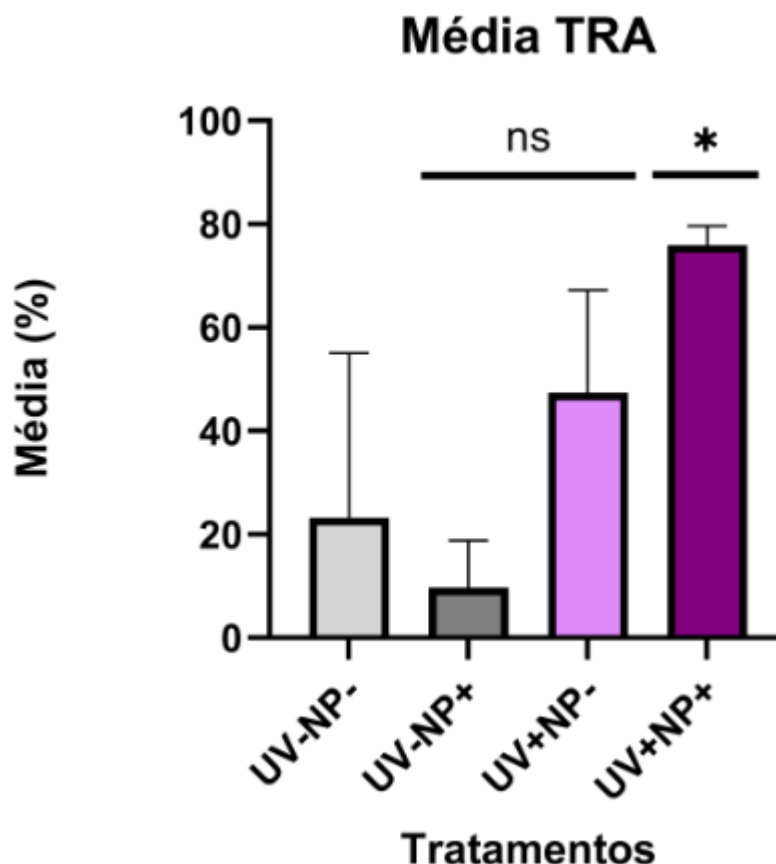


Figura 8: Determinação das médias do Teor Relativo de Água (TRA) das folhas de cana-de-açúcar com e sem exposição à radiação UVB em quatro tratamentos quatro dias após a coleta: UV-NP- com 23,182 g de média; UV-NP+ com 9,730 g de média; UV+NP- com 47,339 g de média e UV+NP+ com 75,992 g de média. As médias seguidas por asteriscos (*) diferem significativamente entre os tratamentos ($p < 0,05$, ANOVA seguido de teste de Tukey).

5.3. Análise perda de eletrólitos (% dano à membrana)

Nossos resultados apontam que a presença da radiação UVB causou um maior número médio de perda de eletrólitos, dessa forma um maior dano à membrana da planta. Os tratamentos com ausência de radiação UVB (UV-NP-) e (UV-NP+) apresentaram valor parecido para perda de eletrólitos com o primeiro com valor médio de 15,85 e o segundo com 16,66, esses valores são muito próximos e não apresentam diferença significativa, sendo o esperado pois ambos não foram expostos ao estresse causado pela luz UVB. O tratamento 3 (UV+NP-) teve o maior

valor médio de perda de eletrólitos sendo assim o tratamento onde as folhas das plantas tiveram maior dano à membrana com valor de 32,50 comprovando que a presença da luz UVB foi prejudicial e causado danos oxidativos significativos. Esses resultados compactuam com os encontrados por Chen *et al* (2023) que dividiu plantas de *Mangifera indica* em dois grupos: um grupo foi exposto à luz solar sob lâmpadas UVB para o tratamento simulado artificialmente da radiação UVB aumentada e outro grupo à luz solar direta como controle. Em seus resultados foi observado também que a radiação UVB ocasionou uma maior condutividade elétrica, inferindo assim maior dano à membrana.

Figura 9 - Gráfico perda de eletrólitos

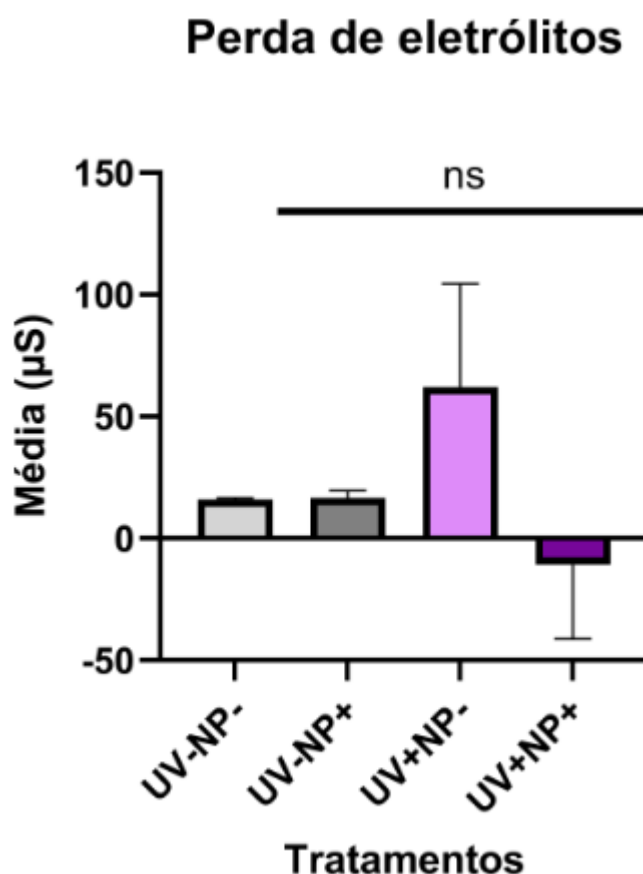


Figura 9. Determinação das médias da perda de eletrólitos (% dano à membrana) das folhas de cana-de-açúcar com e sem exposição à radiação UVB 48 horas após coleta em quatro tratamentos: UV-NP- com média de 15,85 μ S; UV-NP+ com média de 16,66 μ S; UV+NP- com média de 62,09 μ S; UV+NP+ com média de -10,82 μ S. As médias foram feitas seguindo ($p < 0,05$, ANOVA seguido de teste de Tukey).

5.4. Análise RGB

As tecnologias de imageamento multiespectral, encontradas em drones e satélites, transformaram de forma revolucionária a pesquisa agrícola ao permitir a análise em detalhes de cultivos em grande escala. Todavia, a utilização dessas imagens requer etapas de pré-processamento complexas, incluindo correções radiométricas e atmosféricas, além de algoritmos avançados para interpretação de informações. Embora toda essa tecnologia capture dados em diversas bandas, muitos estudos demonstram que as bandas do espectro visível (vermelho, verde, azul – RGB) são suficientes para monitorar parâmetros agrônômicos essenciais, tais como, a saúde vegetal, alterações fisiológicas, impactos de estresses, dano oxidativo. Essa eficiente e crescente abordagem pode reduzir custos computacionais e facilitar a adoção de tecnologias em aplicações práticas (Garcia-Caparrós; Llanderal; Lao, 2023). As avaliações RGB foram realizadas em folhas *in vivo* pouco antes da coleta (sexto dia) e 24 horas após a coleta, com o auxílio do aplicativo digital Color Meter. Nossos dados da análise pouco antes da coleta apresentam valores em média para os tratamentos: 1 (UV-NP-): 75 (R), 86 (G), 43 (B); 2 (UV-NP+): 79 (R), 94 (G), 60 (B); 3 (UV+NP-): 62 (R), 79 (G), 42 (B); 4 (UV+NP+): 80 (R), 105 (G), 47 (B). Valores representados graficamente na figura 7. Ao compararmos os tratamentos sem a nanopartícula 1 e 3, encontramos uma diminuição no valor Green para o que foi exposto à radiação, representando assim uma menor taxa de clorofila para tais plantas, esse resultado corrobora com outros trabalhos como Cuadra *et al.* (2022) que demonstrou que a clorofila e pigmentos fotossintéticos foram afetados diretamente pela radiação UVB além do aparato fotossintético em *Gnaphalium vira-vira*, a redução na eficiência do PSII e o aumento do estresse oxidativo podem levar à degradação aceleradas dos pigmentos, esses resultados alinham-se com os encontrados neste trabalho com a redução da banda verde do espectro visível. Os resultados obtidos para a análise RGB feita 24 h após a coleta apresentaram as seguintes médias para os tratamentos: 1 (UV-NP-): 81 (R), 96 (G), 55 (B); 2 (UV-NP+): 91 (R), 103 (G), 64 (B); 3 (UV+NP-): 88 (R), 102 (G), 69 (B); 4 (UV+NP+): 85 (R), 94 (G), 56 (B). Representados graficamente na figura 8. Estes resultados também demonstram uma redução na porcentagem do espectro verde, correlacionando-se com a diminuição da clorofila pela exposição à radiação UVB.

Figura 10 - Análise RGB pouco antes da coleta

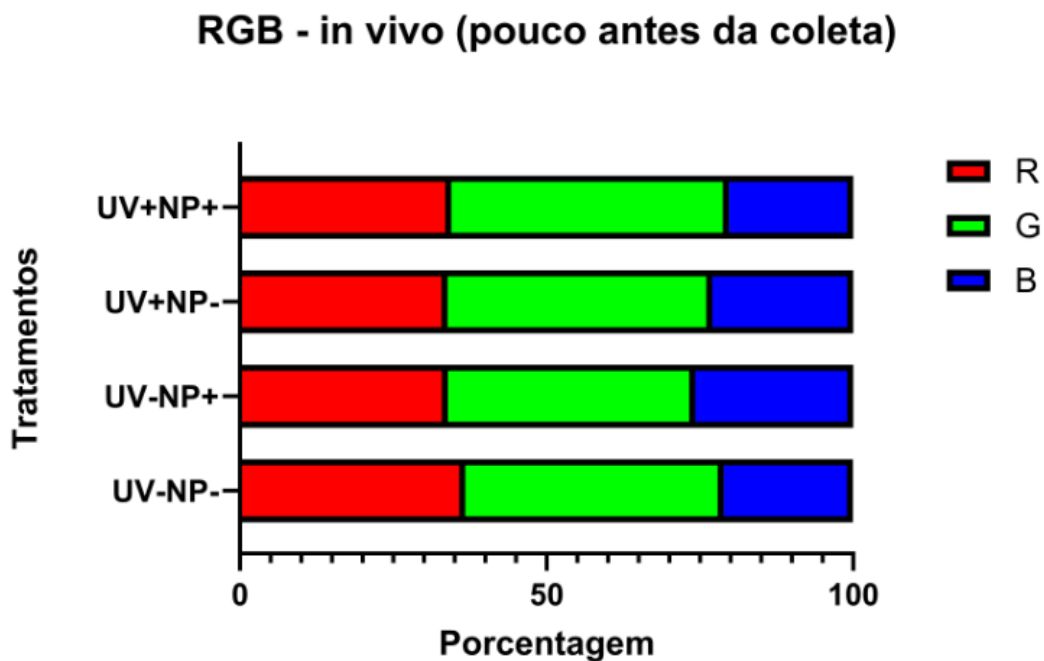


Figura 10. Média das análises RGB nos quatro tratamentos *in vivo* pouco antes da coleta no sexto dia.

Figura 11 - Análise RGB 24 h pós coleta

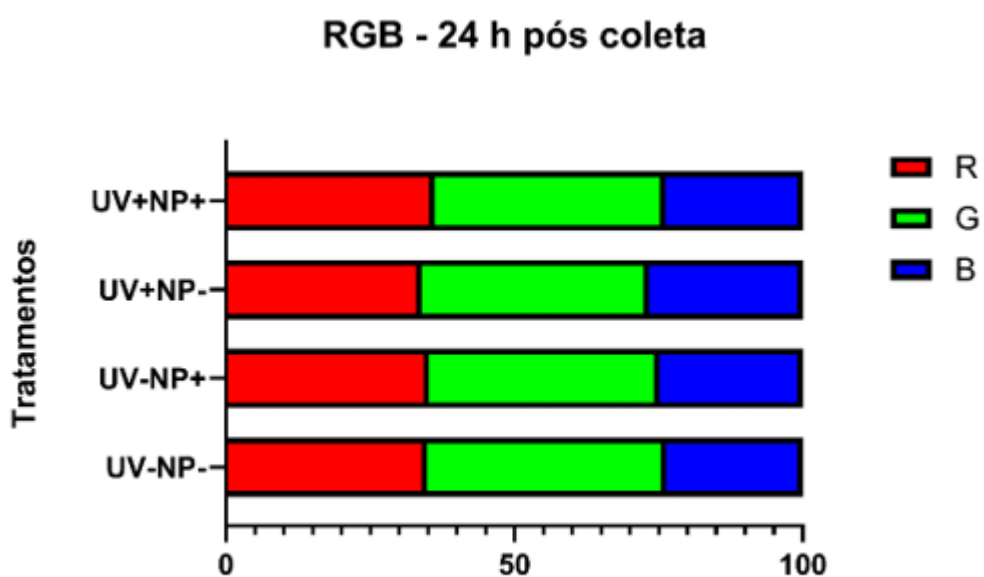


Figura 11. Médias das análises RGB nos quatro tratamentos 24 horas pós coleta.

5.5. Análise do teor de clorofila nas folhas com medidor portátil SPAD

Os pigmentos fotossintéticos desempenham seu papel crucial na fotossíntese e no desenvolvimento das plantas, atualmente a espectrofotometria é o método mais utilizado para quantificar tais pigmentos. Paralelo a isso o medidor de clorofila SPAD (Soil Plant Analysis Development) tem ganho destaque na agricultura devido à sua praticidade e capacidade de realizar análises não destrutivas em folhas (Wei *et al.*, 2024). Essa tecnologia oferece uma análise ágil para mensuração do teor relativo de clorofila (Jiménez-Lao *et al.*, 2021). Nossos resultados para a análise com SPAD apresentaram que os tratamentos com ausência da radiação UVB excessiva tiveram um valor médio maior do que os expostos à luz UVB, o tratamento (UV-NP-) com média de 25,57; o sem radiação e com nanopartícula (UV-NP+) com média de 24,55; o com radiação e sem nanopartícula (UV+NP-) com média de 19,61; e o tratamento com radiação e com nanopartícula (UV+NP+) com média de 23,22, esses dados são apresentados graficamente na figura 10. Tais resultados nos mostram que presença da radiação UVB resultou em um valor médio menor da análise feita com SPAD, dessa forma um valor menor no teor total de clorofila nas folhas. Ao compararmos os dois tratamentos com UVB percebemos que a nanopartícula favoreceu o pigmento demonstrando mais resistência ao estresse causando pela lâmpada UVB. Esses resultados onde o teor de clorofila é prejudicado pela UVB corroboram com os encontrados por Sztatelman et al. (2015) onde os teores de clorofila em folhas de *Arabidopsis* em tratamentos expostos à luz UVB com alta intensidade.

Figura 12 - Análise do teor de clorofila com SPAD

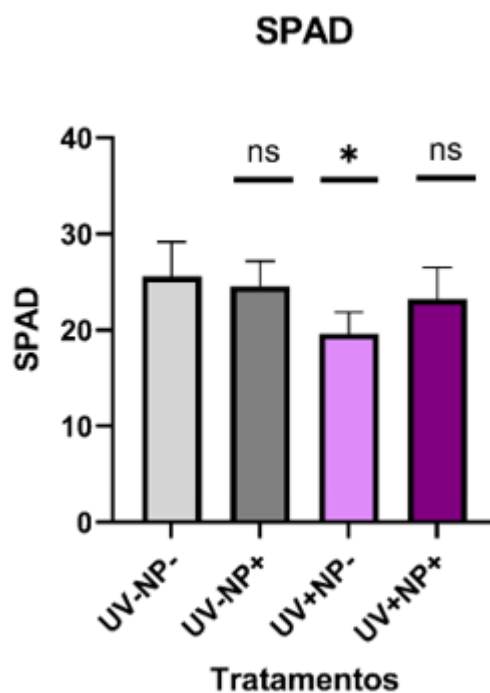


Figura 12. Média do teor de clorofila medidos usando um medidor portátil SPAD (Soil Plant Analysis Development), nos quatro tratamentos, onde: UV-NP- teve média de 25,57; UV-NP+ média de 24,55; UV+NP- média de 19,61; UV+NP+ média de 23,22. As médias seguidas por asteriscos (*) diferem significativamente entre os tratamentos ($p < 0,05$, ANOVA seguido de teste de Tukey).

6. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou os impactos fisiológicos, genéticos e moleculares da radiação UVB em cana-de-açúcar. Os resultados nos mostraram que o teor relativo de água foi reduzido nos tratamentos expostos a tal estresse pela condutância estomática, além disso a perda de eletrólitos relacionada a danos à membrana foi maior no tratamento com exposição a UVB, confirmando seu impacto nas membranas das plantas, a análise colorimétrica RGB e análise do teor de clorofila pelo medidor portátil SPAD confirmaram que os tratamentos com radiação UVB excessiva diminuiu o teor de clorofila dessa forma sugerindo seu impacto na capacidade fotossintética das plantas

Os resultados encontrados reforçam a importância do desenvolvimento de cultivares mais resilientes nesse contexto tão importante e com perspectiva de ser cada vez mais intenso que o do efeito e impacto da radiação UVB em plantas, onde o desenvolvimento e produtividade tendem a ser cada vez mais comprometidos.

Desta forma, o presente trabalho apresenta contribuições importantes para que um futuro programas de melhoramento genético se beneficiem visando a melhor adaptação da cana-de-açúcar a intensas doses de radiação UVB, garantido assim uma melhor produtividade e desenvolvimento desta cultura tão importante ambientalmente, socialmente e economicamente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APOORVA et al. Untangling the UV-B radiation-induced transcriptional network regulating plant morphogenesis and secondary metabolite production. **Environmental and Experimental Botany**, v. 192, p. 104655, dez. 2021.

BERNADO, W. P. et al. Ultraviolet radiation underlies metabolic energy reprogramming in *Coffea arabica* and *Coffea canephora* genotypes. **Scientia Horticulturae**, v. 295, p. 110881, 2022.

BORDONAL, R. DE O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, 27 fev. 2018.

Cana-de-açúcar tem produção estimada em 663,4 milhões de toneladas na safra 2025/26. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/cana-de-acucar-tem-producao-estimada-em-663-4-milhoes-de-toneladas-na-safra-2025-26>.

Acesso em: 14 jul. 2025.

CHEN, T. et al. The Effects of Enhanced Ultraviolet-B Radiation on Leaf Photosynthesis and Submicroscopic Structures in *Mangifera indica* L. cv. "Tainong No 1". **Horticulturae**, v. 9, n. 1, p. 83, 9 jan. 2023.

CHEN, Z.; DONG, Y.; HUANG, X. Plant responses to UV-B radiation: signaling, acclimation and stress tolerance. **Stress Biology**, v. 2, n. 1, 5 dez. 2022.

CUADRA, P. et al. Changes in Chlorophyll a fluorescence and DNA as a plant response to UV-B radiation in *Gnaphalium vira-vira*. **Polish Polar Research**, 17 jan. 2022.

DAY, T. A.; VOGELMANN, T. C. Alterations in photosynthesis and pigment distributions in pea leaves following UV-B exposure. **Physiologia Plantarum**, v. 94, p. 433–440, 1995.

DINESH BABU, K. S. et al. A Short Review on sugarcane: Its domestication, Molecular Manipulations and Future Perspectives. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 69, n. 8, 16 set. 2022.

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, n. 1, p. 73–82, 16 jun. 2006.

GARCIA-CAPARROS, P.; LLANDERAL, A.; LAO, M. T. Correlations between R, G, and B Values, Pigment Concentration, and Nitrogen Status in Three Ornamental Potted Plants. **Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 177, 1 jan. 2023.

IMRAN, Q. M. et al. Abiotic Stress in Plants; Stress Perception to Molecular Response and Role of Biotechnological Tools in Stress Resistance. **Agronomy**, v. 11, n. 8, p. 1579, 9 ago. 2021.

INFORMAÇÕES DE RADIAÇÃO » PROZONESP - PROGRAMA ESTADUAL DE PREVENÇÃO À DESTRUIÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO. In: 11 mar. 2014

JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A.; MOREIRA-RODRÍGUEZ, M.; BENAVIDES, J. UVA and UVB Radiation as Innovative Tools to Biofortify Horticultural Crops with Nutraceuticals. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 387, 28 abr. 2022.

JANSEN, M. A.; GABA, V.; GREENBERG, B. M. Plantas superiores e radiação UV-B: Equilibrando danos, reparo e aclimação. **Trends in Plant Science**, v. 3, p. 131–135, 1998.

JIMÉNEZ-LAO, R. et al. Monitoring Optical Tool to Determine the Chlorophyll Concentration in Ornamental Plants. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. 2197, 1 nov. 2021.

KATARIA, S.; JAJOO, A.; GURUPRASAD, K. N. Impact of increasing Ultraviolet-B (UV-B) radiation on photosynthetic processes. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 137, p. 55–66, ago. 2014.

KOPECKÁ, R. et al. Abiotic Stress in Crop Production. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 7, p. 6603, 1 jan. 2023.

KRAMER, G. F.; NORMAN, H. A.; KRIZEK, D. T.; MIRECKI, R. M. Influence of UV-B radiation on polyamines, lipid peroxidation and membrane lipids in cucumber. **Phytochemistry**, v. 30, p. 2101–2108, 1991.

LI, H. et al. Tomato UV-B receptor SIUVR8 mediates plant acclimation to UV-B radiation and enhances fruit chloroplast development via regulating SIGLK2. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, 17 abr. 2018.

MARÍA LAMEIRAS FERNÁNDEZ; LAMATTINA, L.; RAÚL CASSIA. Functional analysis of the UVR8 photoreceptor from the monocotyledonous Zea mays. **Plant Physiology**, v. 92, n. 2, p. 307–318, 25 jun. 2020.

Métodos de avaliação das condições hídricas das plantas. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/216270/metodos-de-avaliacao-das-condicoes-hidricas-das-plantas>. Acesso em: [13/07/2025].

MEYER, P.; VAN DE POEL, B.; DE CONINCK, B. UV-B light and its application potential to reduce disease and pest incidence in crops. **Horticulture Research**, v. 8, n. 1, p. 1–20, 1 set. 2021.

MIDDLETON, E. M.; TERAMURA, A. H. The role of flavonol glycosides and carotenoids in protecting soybean from ultraviolet-B damage. **Plant Physiology**, v. 103, p. 741–752, 1993.

NADARAJAH, K. K. ROS Homeostasis in Abiotic Stress Tolerance in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 15, p. 5208, 1 jan. 2020.

SASIDHARAN, R. et al. Light quality-mediated petiole elongation in Arabidopsis during shade avoidance involves cell wall modification by xyloglucan endotransglucosylase/hydrolases. **Plant Physiology**, v. 154, n. 2, p. 978–990, 2010.

SILVA, F. A. C.; SOUSA, A. E. R.; CALSA-JUNIOR, T. Análise fisiológica da cana-de-açúcar em resposta ao estresse por seca e radiação UV. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS PARA A PRODUÇÃO VEGETAL NO SEMIÁRIDO, 3., 2018, Petrolina. Anais [...]. Petrolina: Editora Realize, 2018.

SOUZA, A. E. R. de. Fisiologia e proteômica enriquecida de parede celular em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) sob estresse por radiação ultravioleta B e seca. [Tese de Doutorado], 2015.

STEINFATH, M. et al. Discovering plant metabolic biomarkers for phenotype prediction using an untargeted approach. **Plant Biotechnology Journal**, v. 8, n. 8, p. 900–911, 7 set. 2010.li

SWIADER, J.M.; MOORE, A. SPAD - chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p.1089-1100, 2002.

SZTATELMAN, O. et al. The effect of UV-B on Arabidopsis leaves depends on light conditions after treatment. **BMC Plant Biology**, v. 15, n. 1, 25 nov. 2015.

WEI, L. et al. Can SPAD Values and CIE L*a*b* Scales Predict Chlorophyll and Carotenoid Concentrations in Leaves and Diagnose the Growth Potential of Trees? An Empirical Study of Four Tree Species. **Horticulturae**, v. 10, n. 6, p. 548, 24 maio 2024.

WILLIAMS, T. B. et al. Ultraviolet radiation causes leaf warming due to partial stomatal closure. **Horticulture Research**, v. 9, 2022.

