



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, NATURAIS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DO MELAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR NA
TEMPERATURA FOLIAR DA SOJA SUBMETIDA AO ESTRESSE ABIÓTICO
SOB CONDIÇÕES DE CAMPO

MATEUS DIAS DUARTE

ESTREITO/MA

2025



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

MATEUS DIAS DUARTE

EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DO MELAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR NA
TEMPERATURA FOLIAR DA SOJA SUBMETIDA AO ESTRESSE ABIÓTICO
SOB CONDIÇÕES DE CAMPO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual da
Região Tocantina do Maranhão como
requisito básico para a conclusão do Curso de
Engenharia Agrônoma do Centro de
Ciências Agrárias, Naturais e Letras.

Orientador: Prof. Dr. Weverton Pereira Rodrigues

ESTREITO/ MA

2025



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DO MELAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR NA
TEMPERATURA FOLIAR DA SOJA SUBMETIDA AO ESTRESSE ABIÓTICO
SOB CONDIÇÕES DE CAMPO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual da
Região Tocantina do Maranhão como
requisito básico para a conclusão do Curso
de Engenharia Agrônoma do Centro de
Ciências Agrárias, Naturais e Letras.

Data de apresentação: 31 / 01 / 2025

Banca Examinadora

Prof. Dr. Weverton Pereira Rodrigues

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Prof. Dr. Járison Cavalcante Nunes

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Ms. Wallace de Paula Bernado

Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF

ESTREITO/ MA

2025

D812e

Duarte, Mateus Dias

Efeito da aplicação foliar do melaço de cana-de-açúcar na temperatura foliar da soja submetida ao estresse abiótico sob condições de campo. – Estreito, MA, 2025.

25 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Estreito, MA, 2025.

1. Melaço de cana-de-açúcar. 2. produtividade. 3. estresse hídrico. 4 Estreito-MA. I. Título.

CDU 633.61

Ficha elaborada pela Bibliotecária: **Beatriz Araujo Serra CRB-13/1002**

Efeito da aplicação foliar do melaço de cana-de-açúcar na temperatura foliar da soja submetida ao estresse abiótico sob condições de campo

Effect of foliar application of sugarcane molasses on leaf temperature of soybeans crop subjected to abiotic stress under field conditions

Efecto de la aplicación foliar de melaza de caña de azúcar sobre la temperatura foliar de soja sometida a estrés abiótico en condiciones de campo

DOI: 10.54033/cadpedvXXnX-

Originals received: 02/01/2024

Acceptance for publication: 03/18/2024

Mateus Dias Duarte

Graduando de Engenharia Agrônômica

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

Endereço: Estreito, Maranhão, Brasil

E-mail: mateus.duarte@uemasul.edu.br

Weverton Pereira Rodrigues

Doutor em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

Endereço: Imperatriz, Maranhão, Brasil

E-mail: weverton.rodrigues@uemasul.edu.br

RESUMO

O objetivo do presente projeto foi avaliar o efeito do melaço de cana-de-açúcar na temperatura foliar, crescimento e produtividade da soja sob condições de alto déficit de pressão de vapor (DPV) do ar após um período de 28 dias sem chuva, caracterizando um período de estresse hídrico. O experimento foi realizado em Itinga, Maranhão, utilizando o genótipo de soja Brasmex Olimpo IPRO com espaçamento de 0,50 m entre fileiras e densidade de 14 plantas por metro. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com dois tratamentos: aplicação de melaço 2 dias e 7 dias após precipitação, ambos com quatro repetições. A termografia foi realizada durante o ciclo da cultura, no estágio reprodutivo (R5), entre 12:00 e 14:00 horas, considerando as folhas completamente expandidas de três plantas na linha central de cada parcela.

Medidas de massa seca e produtividade também foram obtidas das mesmas plantas, com análise de área foliar e secagem em estufa a 70°C por 72 horas. Os resultados indicaram que a aplicação de melaço aumentou a produtividade devido à melhor distribuição de fotoassimilados nos grãos, beneficiando-se das condições de estresse hídrico e do índice térmico de condutância estomática relativa.

Palavras-chave: Melaço de cana-de-açúcar; Produtividade; Estresse Hídrico.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of sugarcane molasses on leaf temperature, growth, and soybean yield under high vapor pressure deficit (VPD) conditions after a 28-day period without rainfall, characterizing a water stress scenario. The experiment was conducted in Itinga, Maranhão, using the Brasmax Olimpo IPRO soybean genotype, with a row spacing of 0.50 m and a planting density of 14 plants per meter. The experimental design was a randomized block design with two treatments: application of molasses 2 days and 7 days after precipitation, both with four replications. Thermographic measurements were taken during the crop cycle, at the reproductive stage (R5), between 12:00 and 14:00 hours, using fully expanded leaves from three plants in the central row of each plot. Dry mass and yield measurements were also obtained from the same plants, including leaf area analysis and drying in an oven at 70°C for 72 hours. The results indicated that the application of molasses increased productivity due to improved photoassimilate distribution for the grains, benefiting from water stress conditions and the thermal index of relative stomatal conductance.

Keywords: Sugarcane molasses; Productivity; Water stress

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del melazo de caña de azúcar sobre la temperatura foliar, el crecimiento y la productividad de la soja bajo condiciones de alto déficit de presión de vapor (DPV) después de un período de 28 días sin precipitaciones, caracterizando un escenario de estrés hídrico. El experimento se llevó a cabo en Itinga, Maranhão, utilizando el genotipo de soja Brasmax Olimpo IPRO, con un espaciado entre hileras de 0,50 m y una densidad de siembra de 14 plantas por metro. El diseño experimental fue en bloques al azar con dos tratamientos: aplicación de melazo 2 días y 7 días después de la precipitación, ambos con cuatro repeticiones. Las mediciones termográficas se realizaron durante el ciclo del cultivo, en el estadio reproductivo (R5), entre las 12:00 y las 14:00 horas, utilizando hojas completamente expandidas de tres plantas en la hilera central de cada parcela. También se obtuvieron mediciones de masa seca y productividad de las mismas plantas, incluyendo el análisis del área foliar y el secado en una estufa a 70°C durante 72 horas. Los resultados indicaron que la aplicación de melazo aumentó la productividad debido a una mejor distribución de fotoasimilados en los granos, beneficiándose de las condiciones de estrés hídrico y del índice térmico de conductancia estomática relativa.

Palabras clave: Melaza de caña de açúcar; Productividade; Estrés hídrico.

1 INTRODUÇÃO

As emissões globais de CO₂ vêm aumentando constantemente desde a revolução industrial, de 280 µL CO₂ L⁻¹ até uma média atmosférica global de 422,38 µL CO₂ L⁻¹ em 2024 (NOAA, 2024). Aumentos adicionais podem levar a valores estimados entre 730 e 1.020 µL CO₂ L⁻¹ em 2100 acompanhado de um aquecimento global de até 4,8 °C (IPCC, 2014). Além disso, ondas de calor e alterações nos padrões de precipitação inter e intra-anuais, com períodos de seca prolongada e eventos de chuvas extremas, também são previstos ocorrer (IPCC, 2014).

Essas mudanças climáticas, especialmente os episódios de secas e elevadas temperaturas, são previstas reduzir a produtividade global das culturas agrícolas (GUPTA et al., 2020). Por outro lado, o aumento da população mundial demandará um aumento na produção de alimentos, a qual pode ultrapassar mais de 10 bilhões de habitantes até 2050 (FRÓNA et al., 2019). Entre as culturas que são previstas serem afetadas pela seca, a soja (*Glicine max*) está entre aquelas que causam bastante preocupação, uma vez que a soja é uma importante commodity que compõe a base alimentar, dada a sua utilização na alimentação humana e animal, o que implica no seu alto valor comercial.

O Brasil produziu na safra 2023/2024 cerca de 147 milhões de toneladas, com uma produtividade média de 3.202 kg ha⁻¹ em uma área de 46 milhões de ha (CONAB, 2024). O estado do maranhão produziu cerca de 3,4 milhões de toneladas em 1 milhão de ha, com rendimento de 3.190 kg ha⁻¹ (IBGE, 2022). Diante deste contexto, o cenário futuro é muito desafiador, dado o paradoxo de produzir mais alimentos em um ambiente cada vez mais severo, o que pode resultar, caso estratégias viáveis não sejam alcançadas, em impactos negativos para a segurança (DIFFENBAUGHA & BURKEA, 2019).

Dentre as estratégias que podem ser utilizadas para superar estes desafios, a produção de genótipos mais tolerantes para as novas condições e

técnicas de manejo têm-se mostrado promissoras e recentes estudos têm explorado essas potencialidades (KAMPHORST et al., 2020), as quais

necessariamente são baseadas no conhecimento dos aspectos fisiológicos das plantas. Além disso, estratégias de manejo como a aplicação de melaço de cana-de-açúcar podem contribuir para mitigar os estresses abióticos, embora os estudos ainda sejam limitados. Muitas técnicas são utilizadas para mensurar os efeitos dos estresses abióticos tais como fotossíntese, condutância estomática, entre outras os quais consomem bastante tempo, o que inviabiliza sua utilização para estudar um número relevante de genótipos sob condições de campo, além de ser equipamentos relativamente caros restringindo também o acesso (TAIZ et al., 2008).

Por conta disso, o uso de ferramentas de imagem que indiretamente podem refletir alterações fisiológicas tem crescido acentuadamente, uma vez que são mais acessíveis pelo baixo preço e permitem a coleta de dados de forma mais rápida o que torna viável o seu uso com um número relativamente maior de genótipos em condições de campo (GALIENE et al., 2021). Entre as ferramentas de imagem, o uso de câmeras termográficas têm sido uma das mais utilizadas para a detecção de estresse em plantas devido à sua significativa correlação entre a temperatura foliar e o fluxo de CO₂ e vapor d'água regulados pela abertura estomática (SIRAULT et al., 2009; GUTIERREZ et al., 2018).

Portanto, essa ferramenta tem sido utilizada para estimar a acumulação de biomassa e produtividade com alta precisão (GARCÍA-TEJERO et al., 2017). Além disso, as imagens termográficas podem ser obtidas em escala de copa, superando outras ferramentas tradicionais que obtêm dados apenas em escala de folha (GARCÍA-TEJERO et al., 2017). Entre os estresses abióticos que são previstos ocorrerem com maior frequência está o aumento do déficit de pressão de vapor do ar (DPV), devido ao aumento da temperatura e uma redução na umidade relativa, causando uma “seca atmosférica”, o que pode resultar, dependendo da capacidade hidráulica, em estresse hídrico na planta mesmo com água no solo (GILBERT et al., 2011; SINCLAIR, 2017; KUNERT e VORSTER, 2020). Portanto, a aplicação do melaço de cana-de-açúcar pode

melhorar a capacidade de respostas aos estresses abióticos, nomeadamente ao estresse hídrico, atuando principalmente na recuperação pós estresse. Assim, essa pesquisa teve como objetivo estudar o efeito da aplicação do melaço de cana-de-açúcar na capacidade de recuperação após estresse hídrico e elevado DPV do ar por meio da temperatura foliar em soja sob condições de campo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma propriedade rural, localizada no Município de Itinga, Maranhão, com o genótipo de soja Brasmax Olimpo IPRO (*Glycine max*) (L.) Merr. cv, no período 01/06/2024, (longitude 47°06'48"W e latitude -6°16'23"S). O clima local é do tipo 'Aw' pela classificação de Köppen, com temperatura média anual de aproximadamente 27,1°C, precipitação anual de 1.672 mm e 204,65 m.a.s.l (Alvares et al. 2013). O preparo do solo e as práticas de manejo foram realizadas de acordo com a literatura específica. Sendo realizadas análise, correção e adubação do solo, com base nas praticas de manejo referentes as características dos solos da região do cerrado (Embrapa, 2003). As adubações foram executadas de acordo com a análise de solo e as exigências da cultura. O espaçamento entre fileiras foi definido em 0,50 m e o número de sementes por metro foi calculado de acordo com o poder germinativo da semente de maneira a obter 14 plantas por metro de linha.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com dois tratamentos, sendo a aplicação de melaço de cana-de-açúcar (composição - apêndice 1) em dois e sete dias após a precipitação depois de 28 dias sem chuva, na quantidade de 1 L ha⁻¹ do produto, sendo aplicado via foliar, com quatro repetições, sendo referidas como APL2 e APL7, respectivamente. A primeira aplicação ocorreu no dia 05 de fevereiro e a segunda aplicação no dia 10 de fevereiro de 2024, ambas no estágio fenológico V6. Vinte e quatro dias após a primeira aplicação, as mensurações fisiológicas. Cada repetição foi constituída de cinco linhas com 9 m de comprimento. A área útil foram as três linhas centrais com 3 plantas. As avaliações fisiológicas ocorreram durante o

ciclo da cultura, no estágio reprodutivo R5.4 (enchimento dos grãos), considerado um estágio fenológico sensível da cultura.

As mensurações foram realizadas entre 12:00 e 14:00 horas, por representar os horários mais quentes do dia, em folhas completamente expandidas, em três plantas da linha central de cada parcela. Da mesma forma, as mensurações de massa seca foram realizadas nas mesmas plantas, a área foliar foi mensurada). A produtividade foi estimada de acordo com os resultados das variáveis número de vagens por planta, número de sementes por vagens, número de sementes por planta e massa de grãos por planta dividido pela quantidade do estande final de 14 plantas por metro, sendo 280 mil plantas ha⁻¹. Após a coleta das plantas, as mesmas foram levadas para estufa de circulação forçada de ar a 70°C por 72 horas.

As imagens térmicas foram obtidas com uma câmera de infravermelho Flir E8-XT (Flir Systems, EUA) com uma emissividade da câmera ajustada para 0,96, com detector de matriz de plano focal, no qual, foram produzidas imagens de resolução 320 x 240 pixels (76.800 pixels) com uma precisão de ± 2%. Para ambas as medidas, o equipamento foi aproximado cerca de 0,50 m acima das plantas. As imagens capturadas foram armazenadas na memória do equipamento e no processamento das imagens foi utilizado o Software FLIR Tools versão 5.12.17023.2001, Copyright® 2015 FLIR. A partir da determinação da temperatura da folha, no qual foi obtido o Índice de Estresse Hídrico (CWSI) de acordo com Jones (1999):

$$CWSI = \frac{T_{\text{dossel}} - T_{\text{úmido}}}{T_{\text{seco}} - T_{\text{úmido}}}$$

Outro índice alternativo utilizado como base em um rearranjo da equação de equilíbrio de energia foi o índice térmico de condutância estomática relativa (I_g), de acordo com Jones (1999):

$$I_g = \frac{T_{\text{seco}} - T_{\text{dossel}}}{T_{\text{dossel}} - T_{\text{úmido}}}$$

onde T_{dossel} é a temperatura das folhas representativa da planta, T_{seco} é a temperatura da folha que recebeu vaselina na face abaxial e T_{úmido} é a temperatura da folha que recebeu água pulverizada na face adaxial. Para estimar

os índices anteriores, uma planta por repetição foi escolhida de maneira que em uma mesma folha, um folíolo recebeu a vaselina para representar a máxima condição de estresse (estômatos fechados), enquanto outro folíolo 4 recebeu água pulverizada para representar a máxima transpiração (estômatos completamente abertos).

A leitura SPAD foi realizada nas folhas marcadas previamente usadas para medições de fluorescência da clorofila a, e ao mesmo tempo, usando um Medidor de Clorofila SPAD-502 (Minolta Co. Ltd., Osaka, Japão). A média de doze leituras SPAD (quatro pontos em cada folíolo) foi registrada para cada folha.

No estágio reprodutivo R7 (maturação fisiológica) foi determinada a altura da planta com auxílio de régua graduada, bem como a área foliar utilizando o método de Richter et al. (2014), por meio da mensuração da maior largura e comprimento do folíolo principal. Após mensurar a área foliar, as plantas foram arrancadas e as raízes, caule e folhas de três plantas de cada repetição foram colocadas separadamente em sacos de papel devidamente identificados em estufa de circulação forçada de ar a 70°C por 72 horas. Utilizando uma balança analítica, foi determinada a massa seca de cada parte da planta, obtendo-se assim a massa seca das raízes (MSR), a massa seca do caule (MSC), a massa seca das folhas (MSF). A colheita foi realizada manualmente para posterior medida da percentagem de umidade e massa dos grãos, produtividade de grãos (kg ha^{-1}), após posterior trilha e correção da umidade para a base de 13%. Além disso, foram determinados o número de nós por planta, o número de vagens por planta e o número de grãos por vagens.

Os dados foram submetidos a testes de análise de variância com nível de probabilidade de 5%, utilizando o software R, versão 4.1.0 (R CORE TEAM, 2021).

Apêndice

Tabela - Composição do melão de cana por cada quilograma do produto.

Brix (°)	81,0%
ART (g/100 mL)	59,68%
Acidez total – (ácido acético)	1,2 (g/Kg)
Água – Karl Fisher	19,34% m/m
Pureza	43,4%

Amido	1709 (mg/Kg)
Cálcio	11455 (mg/Kg)
Cinzas	9,0 (% m/v)
Cobre	3,6 (mg/Kg)
Densidade	1,40 Kg/L
Ferro	62 (mg/Kg)
Magnésio	4150 (mg/Kg)
Manganês	28 (mg/Kg)
pH	5,7
Potássio	25570 (mg/Kg)
Sódio	119 (mg/Kg)
Zinco	6,2 (mg/Kg)
Cobalto	1,5 (mg/Kg)
Dextrana	< 10 (mg/Kg)
Fósforo Total	1,26 (mg/L)
Frutose	7,5 (% m/m)
Glucose	5,5 (% m/m)
Sacarose	39,9 (% m/m)
Carbono Total	30 (%)
Matéria seca	73,2 (%)
Matéria Mineral	8,5 (%)
Proteína Bruta	4,3 (%)
Fibra Bruta	0,05 (%)
Extrato não nitrogenado	87,2 (%)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos mostraram condições de manejo que podem ser utilizados nas condições de campo após período de déficit hídrico na região do MATOPIBA. Sob essas condições os resultados da pesquisa evidenciaram que a altura, massa seca da parte área e área foliar não apresentaram diferença entre os tratamentos. Por outro lado, o número de grãos por planta apresentou uma média de 112 grãos por planta no tratamento com aplicação de melão no intervalo menor (APL2) em comparação a 77 grãos por planta no tratamento APL7, uma diferença de 31,25% (figura 1). Para as variáveis número de vagens por planta, produtividade (scs ha^{-1}), massa de grão por planta e número de grão por vagens, a aplicação no intervalo mais curto (APL2), resultou em maiores valores (figura 2).

Com exceção da temperatura da foliar, a aplicação em menor intervalo foi determinante na melhoria dos processos fisiológicos, sendo que o índice térmico

de condutância estomática relativa (IG) e índice de clorofila na folha (SPAD) apresentaram diferença significativa, resultando em uma porcentagem a mais para APL2 de 55,42% e 4,07%, respectivamente, (tabela 1). Também foi observado que o índice de estresse hídrico (CWSI) apresentou diferença significativa, com maior valor (ca. 31%) para APL7.

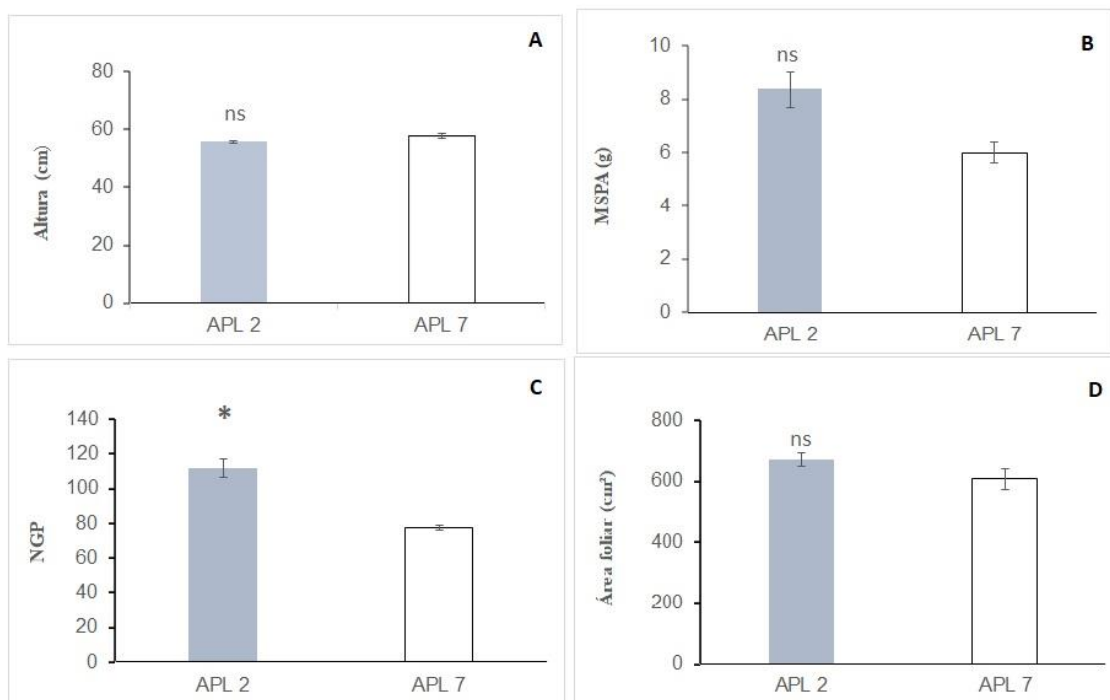


Figura 1. Altura, massa seca da parte aérea e área foliar (cm²). Legenda: Altura da planta (A); massa seca da parte aérea – MSPA (B); número de grãos por planta – NGP (C) e área foliar (D) de soja cv. Brasmax Olimpo IPRO cultivada na Fazenda Agro Alto VR em Itinga, MA, com aplicação de melação de cana-de-açúcar após 2 (APL2) e 7 (APL7) dias após início de precipitação depois de um período de 28 dias sem chuvas. (*) indica diferença a 5% de significância; (NS) não apresentou diferença a 5% de significância pelo teste F. Fonte: Autores 2024.

O aumento do CO₂ parece ser um dos poucos aspectos da mudança global que se prevê que cause baixos rendimentos. Baseado nisso, as limitações ao crescimento das plantas e ao rendimento das culturas impostas pela disponibilidade de água devem-se principalmente a reduções no balanço de

carbono e, portanto, dependem do equilíbrio entre a fotossíntese e a respiração (PONI et al., 2009).

Embora as condições de altas temperatura cause condições estressantes no solo a nível de estresse hídrico, outros fatores como o fornecimento restrito de CO₂ seja considerado uma causa importante para a diminuição das taxas fotossintéticas sob disponibilidade reduzida de água, a quantidade de carbono assimilado é fortemente impulsionada pelo potencial bioquímico da folha (FLEXAS et al., 2016). Nesse sentido, foi observado que o efeito do melaço de cana-de-açúcar impulsionou melhor aproveitamento do nitrogênio (N), levando em consideração que o N participa na formação das clorofilas, as quais são pigmentos verdes especializados na absorção da radiação luminosa e são encontrados nos cloroplastos, localizados principalmente no mesófilo das células das folhas (TAIZ & ZEIGER, 2013). De fato, a aplicação de melaço de cana-de-açúcar aumentou os valores de SPAD, o que evidencia maior quantidade de clorofilas neste tratamento (tabela1).

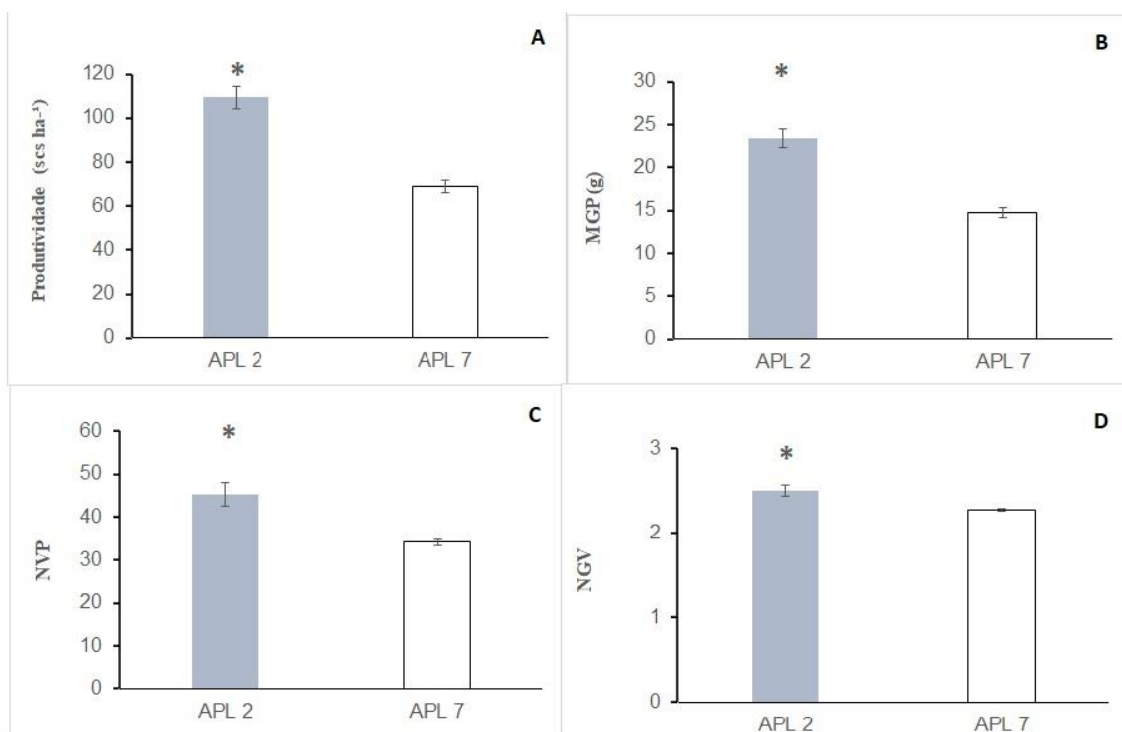


Figura 2. Produtividade, massa de grãos por planta, número de vagens por planta e número de grãos por vagem. Legenda: Produtividade (A), massa de grãos por planta (B), número de vagens por planta (C) e número de grãos por vagem (D) em soja cv. Brasmax Olimpo IPRO na Fazenda

Agro Alto VR em Itinga-MA, sob a aplicação do melaço de cana-de-açúcar em 2 (APL2) e 7 (APL7) dias após início de precipitação depois de um período de 28 dias sem chuvas. (*) apresentou diferença a 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Autores 2024.

Esse aumento de pigmentos referente as clorofilas melhoram o processo fotossintético e estimula a produção de sacarose na planta dado a importância que é o principal produto da fotossíntese e o principal carboidrato de transporte nas plantas (KOCH, 2004), sendo reconhecido como fator contribuinte para vários mecanismos regulatórios em plantas, incluindo crescimento e desenvolvimento, expressão gênica diferencial e respostas relacionadas ao estresse hídrico (WIND et al., 2010). Além disso, foi observado que a parcela com intervalo maior na aplicação (APL7) apresentou uma redução no índice térmico de condutância estomática relativa (tabela 1), significando que as plantas apresentaram fechamento estomático mais acentuado, resultando numa redução das limitações metabólicas (SILVA et al, 2018).

Tabela 1 - Temperatura da folha (TL), Índices de Estresse Hídrico (CWSI); índice térmico de condutância estomática relativa (IG); índice de clorofila na folha (SPAD) em soja cv. Brasmax Olimpo IPRO na Fazenda Agro Alto VR em Itinga-MA, no estágio reprodutivo (R5 – B e D), sob a aplicação do melaço de cana-de-açúcar em 2 (APL2) e 7 (APL7) dias após início de precipitação depois de um período de 28 dias sem chuvas.

VARIÁVEIS	APL2	APL7
TL	29,13 ± 0,14 NS	28,58 ± 0,19
CWSI	0,26 ± 0,01 *	0,38 ± 0,02
IG	3,97 ± 0,26 *	1,77 ± 0,18
SPAD	44,98 ± 0,45 *	43,15 ± 0,57

Legenda: (*) apresentou diferença a 5% de significância; (NS) não apresentou diferença a 5% de significância pelo teste F. Fonte: Autores 2024

Desta maneira, tanto a fotossíntese como a respiração são componentes básicos da produtividade das plantas (SCHULTZ E STOLL, 2010), isso descreve o baixo rendimento da parcela com aplicação de melaço no intervalo maior, considerando a condutância estomática relativa baseado nos efeitos do ABA no

processo de limitar a divisão celular e regulação do fechamento estomático (CHAVES et al., 2010). Por outro lado, a parcela com intervalo mais curto de aplicação de melão (APL2) apresentou respostas significativas das plantas em relação a abertura e fechamento estomático, processo no qual é esclarecido pela quantidade de K presente no melão auxiliando no complexo estomático e no funcionamento das células-guardas que atua como uma válvula operada hidráulicamente.

A mudança de forma das células-guardas como consequência da absorção e perda de água acarreta alterações nas dimensões do poro, quando as células-guardas estão túrgidas, os estômatos encontram-se abertos e, quando flácidas, os estômatos estão fechados. Portanto o controle da abertura estomática foi primordial para a manutenção da taxa fotossintética máxima (ROUX; LEONHARDT, 2018).

O melão de cana-de-açúcar é um substrato rico em açúcares fermentescíveis e minerais tais como manganês, magnésio, fósforo, potássio, zinco, sódio e cálcio, sendo nutrientes fundamentais para um melhor funcionamento das plantas. (DELGADO, 1975). Desta maneira, a parcela de plantas que foram submetidas à aplicação no intervalo mais curto obteve uma resistência maior, tendo em vista que a deficiência nutricional leva ao acúmulo de substâncias orgânicas de baixo peso molecular que reduzem sua resistência e atuam na lignificação e na síntese de fitoalexinas (HASANUZZAMAN et al., 2018). Estes compostos são sintetizados na rota do ácido chiquímico em reações bioquímicas catalisadas pelos micronutrientes (Marschner, 2012). Com base nisso, os teores de cálcio são essenciais para a estabilidade das biomembranas, sendo que quando seu nível é baixo, tem um aumento do efluxo de compostos de baixo peso molecular do citoplasma para o apoplasto sendo importante na estabilidade da parede celular (KIRALY, 1976).

Micronutrientes tais como o cobre, boro e manganês influenciam na síntese de lignina e fenóis simples, enquanto o zinco, ferro e níquel têm efeitos possivelmente relacionados à síntese de fitoalexinas. Já o silício e lítio atuam

como barreira física à invasão de patógenos (GRAHAM,1983), garantindo um manejo equilibrado das plantas em momentos de estresses abióticos.

Um dos mais importantes componentes de rendimento da cultura da soja é o número de grãos por metro quadrado e a massa de grãos, que abrange o início da floração (R1) até logo após o início do enchimento dos grãos (entre R5 e R6) (BOARD AND TAN, 1995; WEI E MOLIN, 2020). Baseado nisso, foi observado que a parcela com aplicação de melaço em menor intervalo teve uma melhor distribuição de fotoassimilados para os grãos, resultando numa maior produtividade de sacas por ha¹. Isso pode ser explicado pelo efeito do magnésio resultante do melaço, já que o magnésio é um elemento essencial para as plantas pois possui a característica de promover melhorias no fluxo de sacarose das folhas para o órgão dreno (TAIZ; ZEIGER, 2013). Além disso, o magnésio atua como um constituinte da molécula de clorofila e na ativação de múltiplas enzimas, como glutatona sintetase e fosfoenolpiruvato (PEP), além de atuar ainda no controle do pH nas células e no balanço de cargas, além de ser um constituinte dos ribossomos e cromossomos (CAMMARANO et al., 1972), sendo tanto o N quanto o Mg indicadores do teor de clorofila da folha (MÓGOR et al., 2013).

Outro fator que pode ter contribuído para os resultados foi a disponibilidade de potássio atribuída aos efeitos do melaço, visto que as suas funções geradas durante o armazenamento de reservas nos grãos melhora. O potássio atua na ativação da ATPase devido ao seu efeito no balanço de carga. Dessa forma, a síntese de ATP está diretamente ligada à disponibilidade de potássio (MARSCHNER, 2012). Portanto, o transporte de energia da fonte para o dreno durante o enchimento dos grãos depende do potássio e magnésio, no qual influenciou na produtividade tendo em vista que a massa de grãos por planta e o número de grãos por planta por área tem sido associado com a atividade fotossintética ou a taxa de crescimento da cultura entre os estádios de florescimento (R1) e enchimento de grãos (R5) (BOARD; TAN, 1995; EGLI, 2010).

A proporção da biomassa total produzida acima do solo que é convertida em biomassa de grãos é o índice de colheita, e é o resultado de mudanças em processos fisiológicos fundamentais que impactam a cultura durante uma ou mais fases do desenvolvimento (EVANS, 1996; TOLLENAAR LEE, 2006). Essa discrepância de produtividade pode estar relacionada ao período prolongado de recuperação no tratamento que recebeu o melaço no maior intervalo, levando a planta a ativar mecanismo de defesa por mais tempo, retardando seu desenvolvimento (KUNERT e VORSTER, 2020), tornando esse tratamento mais suscetível a fatores abióticos e impactando negativamente na produtividade (figura 1 e 2).

Em resumo, o melaço de cana-de-açúcar demonstrou ser uma ótima alternativa de remediar e melhorar as condições das plantas após condições de estresse hídrico e altas temperaturas, o que torna ele uma estratégia viável para produzir soja em ambientes estressantes em função das mudanças climáticas. Apesar dos resultados promissores, outros trabalhos ainda serão necessários para confirmar esse potencial, especialmente considerando a aplicação em outros estágios fenológicos e sob condições de campo mais desafiadoras.

5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a aplicação do melaço de cana-de-açúcar em intervalo mais curto após um período de estresse hídrico contribuiu significativamente para o aumento da produtividade da soja, principalmente pelo melhor metabolismo do N refletivo pelos valores de SPAD e melhor funcionamento estomacal. Tais respostas contribuíram significativamente para melhorar os componentes de produtividade, tais como o número de sementes, número de vagens, massa de grãos por planta. Essa resposta pode estar associada a uma distribuição mais eficiente dos fotoassimilados para os grãos, proporcionando maior rendimento da cultura. Assim, o uso de melaço de cana-de-

açúcar surge como uma alternativa sustentável e eficiente para a produção de soja em áreas sujeitas a variabilidade climática, como a região MATOPIBA.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, à Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento do Maranhão – FAPEMA pela bolsa de iniciação científica e ao Grupo Alto VR Agro.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., MORAES GONÇALVES, J. L., & SPAROVEK, G. (2013). **Koppen's climate classification map for Brazil.** *Meteorologische Zeitschrift, 22*(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BOARD, J.E.; TAN, Q. **Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number.** *Crop Science*, v.35, p. 846–851, 1995.
- CAMMARANO, P.; FELSANI, A.; GENTILE, M.; GUALERZI, C.; ROMEO, C.; WOLF, G. **Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes.** *Biochemistry Biophysics Acta*, [S. l.], v. 281; p. 625-642, 1972.
- CONAB – **Companhia nacional do abastecimento.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 21 de agosto de 2024. HAVES, M.M.; ZARROUK, O.; FRANCISCO, R.; COSTA, J.M.; SANTOS, T.; REGALADO, A.P.; RODRIGUES, M.L.; LOPES, C.M.; 2010. **Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data.** *Ann. Bot-Lond.* 105, 661–676.
- DIFFENBAUGHA, N.S.; BURKEA, M. **Global warming has increased global economic inequality.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.116, p. 9808–9813, 2019.
- DELGADO, A. A. **Tecnologia do açúcar e das fermentações industriais. v. 1, p.91.**In: **Tecnologia dos produtos agropecuários Piracicaba.** ESALQ. 1975.
- EGLI, D. B. **Soybean reproductive sink size and short-term reductions in photosynthesis during flowering and pod set.** *Crop Science, Madison*, v. 50, p. 1971- 1977, 2010.
- EVANS L. T. **Crop Evolution, Adaptation and Yield.** Cambridge: Cambridge University Press, 514p., 1996.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região central do Brasil - 2003/2004.** Londrina: Embrapa Soja, 2003. 226p. (Embrapa Documentos, 235).

FLEXAS, J.; DÍAZ-ESPEJO, A.; CONESA, M.A.; COOPMAN, R.A.; DOUTHE, C.; GAGO, J.; GALLÉ, A.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBO, M.; TOMÀS, M.; NIINEMETS, Ü.; 2016. **Mesophyll conductance to CO₂ and Rubisco as targets for improving intrinsic water use efficiency in C₃ plants.** *Plant Cell Environ.* 39, 965–982.

FRÓNA, D.; SZENDERÁK, J.; HARANGI-RÁKOS, M. **The Challenge of Feeding the World.** *Sustainability*, v.11, p. 5816, 2019.

GALIENI, A.; D'ASCENZO, N.; STAGNARI, F.; PAGNANI, G.; XIE, Q.; PISANTE, M. **Past and Future of Plant Stress Detection: An Overview From Remote Sensing to Positron Emission Tomography.** *Frontiers in Plant Science*, v.11, p.609155, 2021.

GARCÍA-TEJERO, I.F.; HERNÁNDEZ-COTÁN, A.; APOLO, O.E.; DURÁN-ZUAZO, V.H.; PORTERO, M.A.; RUBIO-CASAL, A.E. **Infrared thermography to select commercial varieties of maize in relation to drought adaptation.** *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, v.14, p. 54–67, 2017.

GILBERT, M. E.; HOLBROOK, N.M.; ZWIENIECKI, M.A.; SADOK, W.; SINCLAIR, T.R. **Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation.** *Field Crops Research*, v.124, p.85–92, 2011.

GUPTA, A.; RICO-MEDINA, A.; CAÑO-DELGADO, A.I. The physiology of plant responses to drought. *Science*, v. 368, p. 266-269, 2020.

GRAHAM, R.D. **Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements.** *Advances in*

Botanical Research, v. 10, p. 221-276, 1983.

GUTIÉRREZ, S., DIAGO, M. P., FERNÁNDEZ-NOVALES, J., AND TARDAGUILA, J. **Vineyard water status assessment using on-the-go thermal imaging and machine learning.** PLoS ONE, v.1, p. e0192037, 2018.

HASANUZZAMAN, M., NAHAR, K., ALAM, M.M., BHUIYAN, T.F., ANEE, T.I., PARVIN, K., FUJITA, M. (2018). **Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses.** Agronomy, 8(3), 31. doi:10.3390/agronomy8030031

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agriculturapecuaria/9201levantamentosistemico-da-producao-agricola.html?=&t=o-que-e> Acesso em 21 de agosto de 2024.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** EDS. EDENHOFER, O., PICHES-MADRUGA, R., SOKONA, Y., FARAHANI, E., KADNER, S., SEYBOTH, K., ADLER, A., BAUM, I., BRUNNER, S., EICKEMEIER, P., KRIEMANN, B., SAVOLAINEN, J., SCHLÖMER, S., VON STECHOW, C., ZWICKEL, T., MINX, J. C. (Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press).

JONES, H.G. **Plants and Microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology.** 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, p. 1-8. 1992.

KAMPHORST, S.H; AMARAL JÚNIOR, A.T.; LIMA, V.J.; SANTOS, P.H.A.D.; RODRIGUES, W.P.; VIVAS, J.M.S.; GONÇALVES, G.M.B.; SCHMITT, K.F.M.;

LEITE, J.T.; VIVAS, M.; MORA-POBLETE, F.; VERGARA-DÍAZ, O.; ARAUS, O.J.L.; RAMALHO, J.C.; CAMPOSTRINI, E. **Comparison of selection traits for effective popcorn (*Zea mays* L. var. *Everta*) breeding under water limiting**

conditions. *Frontiers in Plant Science*, v.11, p.1289, 2020.

KIRALY, Z. **Plant disease resistance as influenced by biochemical effects of nutrients in fertilizers.** In: **Fertilizer use and plant health.** Colloquium of the International Potash Institute, 12., 1976. p. 33-46.

Koch K. 2004. **Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development.** *Current Opinion in Plant Biology* 7, 235–246.

KUNERT, K.; VORSTE, B.J. **In search for drought-tolerant soybean: is the slow-wilting phenotype more than just a curiosity?** *Journal of Experimental Botany*, v.71, p. 457-460, 2020.

KUNERT, K.; VORSTE, B.J. In search for drought-tolerant soybean: is the slow-wilting phenotype more than just a curiosity? **Journal of Experimental Botany**, v.71, p. 457-460, 2020.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 3. ed. London: Elsevier, 2012. 643 p.

MÓGOR, F. A.; BARBIZAN, T.; OLIVEIRA, J.; BETTONI, M. M.; PAULLETI. **Teores de clorofila em cultivares de tomateiro submetidas a aplicações foliares de magnésio.** *Produção Vegetal, Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia*, v. 43, n. 4, p. 363-369, out./dez. 2013.

NOAA (2022). Climate change: **Atmospheric carbon dioxide.** Climate.gov, USA. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-changeatmospheric-carbon-dioxide>. Acesso em 11 de novembro de 2024.

PONI, S.; BERNIZZONI, F.; CIVARDI, S.; GATTI, M.; PORRO, D.; CAMIN, F.; 2009. **Performance and water-use efficiency (single-leaf vs. whole-canopy) of well-watered and half-stressed split-root Lambrusco grapevines grown**

in Po Valley (Italy). *Agric. Eco. Environ.* 129, 97–106

R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

RICHTER, G.L.; ZANON, A.J.; STRECK, N.A.; GUEDES, J.V.; KRÄULICH, B.; ROCHA, T.S.M.; WINCK, J. E. M.; CERA, J.C. **Estimating leaf area of modern soybean cultivars by a non-destructive method.** *Bragantia*, Campinas, v. 73, n. 4, p.416-425, 2014

ROUX, B.; LEONHARDT, N. **The Regulation of Ion Channels and Transporters in the Guard Cell.** *Advances in Botanical Research*, v. 87, p. 171-214, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2018.09.013>

SINCLAIR, T.R. **Soybean. In: Water-Conservation Traits to Increase Crop Yields in Waterdeficit Environments.** SINCLAIR, T.R. (ed.), Springer, chapter 3, p.17–26, 2017.

SIRAULT, X.R.R.; JAMES, R.A.; FURBANK, R.T. **A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography.** *Functional Plant Biology*, v.36, p.970–977, 2009.

SILVAA, J.R.; RODRIGUES, W.P.; FERREIRA, L.S.; BERNADOA, W. P.; PAIXÃO, J.S.; PATTERSONB, A.E.; RUASA, K.F.; VIANAC, L.H.; SOUSAD, E. F.; BRESSAN-SMITHA, R.E.; PONIE, S.; GRIFFINB, K.F.; CAMPOSTRINI, E.; 2018. **Deficit irrigation and transparent plastic covers can save water and improve grapevine cultivation in the tropics.** *Agricultural Water Management* 202 (2018) 66–80.

SCHULTZ, HR, STOLL, M., 2010. **Some critical issues in environmental physiology of grapevines: future challenges and current limitations.** *Aust. J. Grape Wine Res.* 16, 4–24.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** Editora Artmed. Porto Alegre. 5. ed.,

p. 918, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal. 3.ed.** Porto Alegre: Artmed, 2008. 819p.

TOLLENAAR, M.; LEE, E.A. **Physiological dissection of grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis.** Maydica, v. 51, p. 399–408, 2006.

WEI, M.C.F.; MOLIN, J. P. **Soybean yield estimation and its components: a linear regression approach.** Agriculture, v. 10, p. 348, 2022.

WIND J, SMEEKENS S, HANSON J. 2010. **Sucrose: metabolite and signaling molecule.** Phytochemistry 71, 1610–1614.