



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

RHADIJA GRACYELLE COSTA SOUSA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR AO USO DE PÓ DE
ROCHA NO SULCO DE PLANTIO CONVENCIONAL**

**AREIA
2024**

RHADIJA GRACYELLE COSTA SOUSA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR AO USO DE PÓ DE
ROCHA NO SULCO DE PLANTIO CONVENCIONAL**

Trabalho de graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia, do
Centro de Ciências Agrárias, da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Bandeira De
Albuquerque

Coorientador: Prof. Dr. Fabio Mielezrski

**AREIA
2024**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S725r Sousa, Rhadija Gracyelle Costa.

Respostas fisiológicas da cana-de-açúcar ao uso de pó de rocha no sulco de plantio convencional / Rhadija Gracyelle Costa Sousa. - Areia:UFPB/CCA, 2024.

35 f. : il.

Orientação: Manoel Bandeira de Albuquerque.

Coorientação: Fabio Mielezrski.

TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Remineralizadores. 3. Cana-planta.
4. Fisiologia. I. Albuquerque, Manoel Bandeira de. II.
Mielezrski, Fabio. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

RHADIJA GRACYELLE COSTA SOUSA

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR AO USO DE PÓ DE ROCHA NO SULCO DE PLANTIO CONVENCIONAL

Trabalho de graduação apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 23/10/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MANOEL BANDEIRA DE ALBUQUERQUE**
Data: 29/10/2024 13:17:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Manoel Bandeira De Albuquerque.
Orientador – UFPB

Documento assinado digitalmente
 **ALLEF DE SOUZA SILVA**
Data: 30/10/2024 12:21:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Allef de Souza Silva
Examinador – UFPB

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO PEREIRA DOS ANJOS NETO**
Data: 30/10/2024 12:08:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Antônio Pereira dos Anjos Neto
Examinador – Esalq

Primeiramente a Deus, que me manteve forte durante toda essa trajetória. À minha querida mamãe, Oneide Sousa, que, por seu grande amor por mim, me encheu de coragem para enfrentar a vida, proporcionando-me a segurança necessária para ser eu mesma. Graças a esse amor inabalável, não hesitei em ser autêntica, sem temer o ridículo ou qualquer obstáculo, pois sempre soube que era amada. As minhas irmãs Lauane, Samira e Camila, por, mesmo sem saber, não terem me deixado desistir (da graduação e da vida).

In memoriam ao meu querido avô, que sempre me tratou como filha. Seus olhos brilhavam de um jeito especial toda vez que me olhavam, transmitindo um carinho e um orgulho que jamais esquecerei.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos, nunca permitindo que eu desistisse dos meus sonhos. Sou imensamente grata pela graça de concluir este curso, que torna possível a realização profissional que tanto almejei.

À minha família, que me incentivou nos momentos difíceis e compreendeu minha ausência enquanto me dedicava aos estudos. Em especial, agradeço à minha querida mamãe, que sempre me aconselhou e encorajou a seguir os melhores caminhos. Amo você.

Ao meu pai, Bartolomeu, que foi fundamental na minha criação e formação como pessoa, sempre se orgulhando de dizer que sua filha cursava Engenharia Agrônômica.

A minha avó Maria e minhas irmãs, Lauane, Samira e Camila, obrigada por todo amor e torcida. Vocês sempre me aplaudiram e fizeram com que eu nunca sentisse a solidão da jornada. Amo todas vocês!

Aos meus tios e primos, sou grata por cada momento compartilhado e pela crença inabalável que tiveram em mim. Tia Simone, Tia Maria de Fátima, Tia Luzinete, Tia Ana Paula, Tio Gilvan, Tio "Miúdo" e Tio Adailton, obrigada por serem conselheiros tão incríveis. In memoriam ao meu querido Tio "Branco", saiba que sempre recordo com carinho os momentos que vivemos juntos; você era o único que me chamava de Ziela.

E ao meu primo Isaac, que me alegra todos os dias, mesmo à distância, e aos meus primos Ítalo, Yasmin, Vinicius, Arthur, Amanda, Aline, Carla, Bruno, Enzo, Franscisco, Lauana, Kelly, Carol, Lucas, Xayanne, Isabella e Kiara agradeço por todo o amor e apoio.

Ao meu melhor amigo, Ítalo Zunta, sou imensamente grata por tudo o que você representa na minha vida. Nossa amizade é um dos maiores presentes que já recebi, e sou eternamente grata pelos momentos inesquecíveis que compartilhamos. Cada risada, conversa e desafio só fortaleceu nosso laço. Obrigada por me incluir em sua família e por me apresentar à sua mãe, Tia Ana, que se tornou uma segunda mãe para mim. Tia Ana, sou muito grata pelo carinho, pelos conselhos e por sempre me ouvir. Ítalo, amo muito você e sua família!

Obrigada, Matheus, por me incluir na sua família. De coração, agradeço à família Trajano: a você, por acreditar em mim desde o início e me incentivar sempre; a Waldenia, por ser uma conselheira insubstituível; e a Arthur Trajano, pela positividade e gentileza. Andressa e Laise, obrigada por me acolherem tão bem, e Ameli, por sua doçura e carinho. À família Santiago, sou grata a Gustavo Santiago pelas risadas e a Marcos Santiago pelo apoio constante. Percival e Fabiana, obrigada pelos almoços e pela recepção calorosa. Vaneti, agradeço pelos puxões de orelha e cuidado. E a Lavínia, Luan e Vitor, obrigada por alegrarem meus dias. A todos, minha sincera gratidão.

Ao meu orientador, Manoel Bandeira, que me acolheu em um momento difícil e nunca mediu esforços para me ajudar, sou muito grata pela oportunidade, pelo apoio e por acreditar em mim. Suas orientações foram fundamentais para meu crescimento e formação acadêmica. À banca, composta por meus amigos Allef e Antônio, agradeço imensamente; vocês são inspirações no âmbito acadêmico e profissional. Obrigada por todo o suporte e pelos ensinamentos valiosos ao longo dessa jornada.

Aos professores do curso de Agronomia, meu sincero agradecimento por todos os ensinamentos e pela dedicação ao longo da graduação. Em especial, quero reconhecer Fabio Mielezski José Bruno Malaquias, Leossávio, Ademar, Bruno de Oliveira, Valéria Borges, Rejane, Luciana, Aline Ribeiro e Adriana Santos. Cada um de vocês desempenhou um papel crucial no meu desenvolvimento acadêmico, enriquecendo minha formação. Sou grata por suas orientações e pelo comprometimento em moldar futuros profissionais.

Aos funcionários da UFPB, meu sincero agradecimento, especialmente a Assis, que me acolheu de maneira calorosa enquanto chefe da Vila Acadêmica. Sua hospitalidade fez toda a diferença na minha experiência. Também sou grata à Lannúbia, cujos abraços e sorrisos sempre iluminavam o campus e tornavam os dias mais alegres.

Às minhas amigas do Tocantins, minha gratidão especial à Andressa Milena, por ser a melhor amiga que eu poderia ter tido, minha "Dorothea" para sempre, que esteve ao meu lado em todos os momentos. A Ana Paula, por sua amizade ao longo desses 10 anos, sempre presente, independente de qualquer coisa. E à Michele, Emylle e Yasmin, por serem quase parte da família e por terem feito parte de grande parte da minha infância. Amo todas vocês!

À minha turma, especialmente a Clara Macena, Jessica Agra, Abel, Lívia Ferreira, Diogo, João Pedro Chaves e Jonas, quero expressar minha sincera gratidão pelos momentos de apoio e companheirismo que compartilhamos.

À toda equipe GESUCRO, que ao longo desses dois anos foi fundamental na construção do meu conhecimento e formação profissional, meu sincero agradecimento. Vocês despertaram em mim uma paixão pela cana-de-açúcar e contribuíram imensamente para meu crescimento. Em especial, agradeço aos membros: Welligton, Mayra, João Antonio, Lázaro Matheus, Matheus Eduardo, Amanda Sousa, Joel, Jonatha, Gabriel Taveira, João Vitor Sanges, Camilo, Bruno Bondade e Larissa Morais. Sou grata por cada ensinamento e pela camaradagem que vivenciamos juntos.

À empresa BAIC MATOPIBA e toda a sua equipe, meu sincero agradecimento por me receberem tão calorosamente durante meu estágio. Essa experiência foi de suma formação, proporcionando uma vivência como Engenheira Agrônoma ainda durante a graduação. Em

especial, agradeço à Camylla pelo acolhimento e ao Pablo e Mauro por seus conselhos sempre encorajadores e por acreditar em mim desde o primeiro dia.

Agradeço à empresa Vulcano pela concessão do produto testado neste trabalho, que foi essencial para a realização da pesquisa. Também sou grata ao Engenho Santa Vitória por disponibilizar o local do experimento, permitindo que nossas atividades fossem realizadas com sucesso.

À minha querida amiga Mayra, sou profundamente grata por todos os desafios que enfrentamos juntas e pelos momentos de apoio e companheirismo que tornaram nossa amizade tão especial. Ao Lian, agradeço de coração por me fortalecer em diversas situações e por sempre trazer leveza com suas risadas. À Jonatha, pela lealdade e cuidado constantes, minha sincera gratidão. Ao Henrique, obrigada pelas risadas e conselhos que guardo com carinho. À Ana, por me acolher e cuidar de mim quando mais precisei, sempre me dando a certeza de que estaria ao meu lado. À Amanda Lins, pelo companheirismo e cuidado desde o primeiro dia do curso, e à Mirelly (Mimi), pelos conselhos e por sempre oferecer seu colo nos momentos difíceis. A Wellington, Edivaldo, João, Lázaro Matheus, Joseane, Taínan e Joel, pelas risadas e momentos que tornaram esse final de curso inesquecível.

Por fim, meu sincero agradecimento a alguns dos amigos que tive a alegria de conhecer e conviver ao longo desses cinco anos de graduação em Agronomia. A cada um de vocês: Joelzinho, Santiago, Sophie (Japa), Rodrigo Araújo, Samela, Luã, Sanges, João Paulo, Igor Sales, Emily, Cleice, Josiele, Matheus Cardoso, Alexis Brito, Vilar, Matheus Silva e Brito. Vocês foram parte essencial do meu crescimento pessoal e acadêmico, tornando essa jornada única e inesquecível. Encerro este ciclo com um profundo sentimento de dever cumprido e gratidão por tudo que vivemos juntos.

"Se cheguei até aqui, foi porque tive ao meu lado pessoas que acreditaram e caminharam junto comigo. A jornada se torna mais leve e os sonhos, mais possíveis, quando somos bem acompanhados."

Obrigada a todos!

RESUMO

A aplicação de reminalizadores, como pó de rocha, é uma estratégia promissora para melhorar a fertilidade do solo e o desempenho de culturas agrícolas. Este estudo analisou a cana-soca, focando em variáveis fisiológicas, como eficiência no uso da água e concentração interna de CO₂. A influência das doses de reminalizadores na absorção de nutrientes e fotossíntese pode impactar a produtividade. Compreender esses efeitos é crucial para práticas agrícolas sustentáveis em condições de estresse hídrico. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho estudar o comportamento fisiológico da cana-de-açúcar em resposta ao uso de pó de rocha no fundo de sulco em plantio convencional. O experimento foi iniciado em 29/07/2023, com delineamento em blocos casualizados, incluindo cinco tratamentos de reminalizadores (0, 1, 2, 3 e 4 t ha⁻¹) e quatro repetições, totalizando 20 parcelas de 30 m². O remineralizador "Vulcano Agrominerais", derivado de rochas granulíticas, foi aplicado ao fundo dos sulcos preparados em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. As variáveis analisadas incluíram a taxa de fotossíntese, concentração interna de CO₂, transpiração, condutância estomática, eficiência instantânea de uso da água e eficiência instantânea de carboxilação. O plantio da variedade de cana CTC 14 foi realizado manualmente, com medições das trocas gasosas usando um analisador portátil e clorofila total avaliada com um clorofilômetro em diferentes alturas da planta. Os dados foram analisados por meio de análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, utilizando o software Sisvar®. A aplicação de reminalizadores na cana-soca impactou positivamente as variáveis fisiológicas analisadas, com destaque para a eficiência instantânea de uso da água, que apresentou valores significativamente superiores no tratamento com 1 t ha⁻¹. A concentração interna de CO₂ e a condutância estomática mostraram-se equilibradas entre os tratamentos, sugerindo um manejo nutricional adequado. Os resultados indicam que os reminalizadores podem promover melhores condições de crescimento, refletindo na fotossíntese e na produtividade das plantas. Essas evidências ressaltam a importância de pesquisas adicionais sobre a utilização de reminalizadores, visando a otimização do uso de água e nutrientes. Assim, práticas agrícolas sustentáveis são essenciais para aumentar a produtividade, especialmente em contextos de estresse hídrico. A implementação dessas estratégias pode contribuir significativamente para a resiliência das culturas em ambientes adversos.

Palavras-Chave: remineralizadores; cana-planta; fisiologia.

ABSTRACT

The application of remineralizers, such as rock dust, is a promising strategy to improve soil fertility and crop performance. This study analyzed sugarcane ratoon crop, focusing on physiological variables, such as water use efficiency and internal CO₂ concentration. The influence of remineralizer doses on nutrient uptake and photosynthesis can impact productivity. Understanding these effects is crucial for sustainable agricultural practices under water stress conditions. Thus, the objective of this work was to study the physiological behavior of sugarcane in response to the use of rock dust in the juice bottom in conventional planting. The experiment was started on July 29, 2023, with a randomized block design, including five remineralizer treatments (0, 1, 2, 3, and 4 t ha⁻¹) and four replicates, totaling 20 plots of 30 m². The remineralizer "Vulcano Agrominerais", derived from granulitic rocks, was applied to the bottom of the furrows prepared in a Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. The variables analyzed included photosynthesis rate, internal CO₂ concentration, transpiration, stomatal conductance, instantaneous water use efficiency, and instantaneous carboxylation efficiency. The planting of the sugarcane variety CTC 14 was carried out manually, with measurements of gas exchange using a portable analyzer and total chlorophyll evaluated with a chlorophyll meter at different plant heights. The data were analyzed by analysis of variance, and the means were compared by the Tukey test, using the Sisvar® software. The application of remineralizers in ratoon sugarcane positively impacted the physiological variables analyzed, with emphasis on the instantaneous water use efficiency, which presented significantly higher values in the treatment with 1 t ha⁻¹. Internal CO₂ concentration and stomatal conductance were balanced between treatments, suggesting adequate nutritional management. The results indicate that remineralizers can promote better growth conditions, reflecting on photosynthesis and plant productivity. This evidence highlights the importance of further research on the use of remineralizers, aiming at optimizing water and nutrient use. Thus, sustainable agricultural practices are essential to increase productivity, especially in contexts of water stress. The implementation of these strategies can significantly contribute to crop resilience in adverse environments.

Keywords: remineralizers; plant cane; physiology.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. Cana-de-açúcar: características morfológicas e fisiológicas	11
2.2. Importância da cana-de-açúcar	15
2.3. Adubação e nutrição	16
2.4. Pó de rocha como fonte de nutrientes	17
3. MATÉRIAS E MÉTODOS	19
3.1. Localização do Experimento	19
3.1. Condução do experimento	20
3.2. Características químicas do pó de rocha	20
3.3. Preparo do solo e plantio	21
3.4. Variáveis analisadas	21
3.4.1. Trocas gasosas	21
3.4.2. Clorofila total (a+b)	22
3.4.3. Método de análise da folha	22
3.5. Análises estatísticas	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Concentração Interna de CO ₂ (Ci)	23
4.2 Taxa de Fotossíntese (A)	24
4.3 Transpiração (E)	25
4.4. Condutância Estomática (GS)	26
4.5 Eficiência Instantânea de Uso da Água (e _{iua}) e Eficiência do Uso da Água (EUA)	27
4.6 Eficiência Instantânea de Carboxilação (E _{iCi})	28
4.7 Conteúdo de Potássio (K)	28
4.8 Conteúdo de Magnésio (Mg)	29
5. CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

Trazida ao Brasil pelos portugueses, a cana-de-açúcar rapidamente se tornou uma das principais fontes de renda durante o período colonial. Devido ao alto valor do açúcar no mercado internacional, a Coroa Portuguesa incentivou fortemente sua produção (Santiago *et al.*, 2006). A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma espécie de gramínea da família Poaceae, conhecida por sua fácil adaptabilidade a climas tropicais e subtropicais. Seus caules são robustos, articulados, fibrosos e ricos em sacarose (Silva *et al.*, 2020).

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) apresenta grande importância socioeconômica para o Brasil, que atualmente é o maior produtor e exportador global dessa cultura. Conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), para a safra 2024/2025, a estimativa de colheita abrange uma área de 8,63 milhões de hectares, representando um crescimento de 3,5% em relação à safra anterior (2023/2024). No entanto, a produção total deve apresentar uma queda de 3,3%, com a produtividade projetada em 79.953 quilos por hectare, o que significa uma redução de 6,6%. Essa diminuição é atribuída, em grande parte, aos baixos índices de precipitação e às altas temperaturas registradas na região Centro-Sul do país (CONAB, 2024).

Nesse contexto de desafios, a crise gerada pela dependência de fertilizantes impactou severamente o setor agrícola, levando o Brasil a buscar fontes alternativas para atender à demanda por macronutrientes e micronutrientes (Sustakowski, 2021). Uma das alternativas viáveis é a utilização do pó de rocha, um produto que atua como remineralizador e fornece diversos nutrientes, dependendo do tipo de rocha utilizada. Essa abordagem não apenas contribui para a fertilidade do solo, mas também possibilita a redução do uso de fertilizantes minerais e convencionais (Brito *et al.*, 2019). Dessa forma, essa estratégia se alinha à necessidade de sustentabilidade e eficiência na produção agrícola, especialmente em um cenário de desafios climáticos e econômicos.

Além disso, a utilização de pó de rocha em áreas de cultivo de cana-de-açúcar pode se tornar crucial, especialmente na agricultura de base agroecológica. Essa abordagem visa substituir os fertilizantes sintéticos de alta solubilidade por insumos que liberam nutrientes de forma gradual, promovendo melhorias na qualidade química, física e biológica do solo. Assim, a aplicação de pó de rocha não apenas

atende à demanda por nutrientes, mas também contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, alinhadas com os objetivos de otimização da produção canieira e preservação dos recursos naturais.

Para verificar a eficácia dessa prática, as análises de trocas gasosas e fluorescência da clorofila são essenciais para avaliar o estado fisiológico das plantas em relação ao ambiente em que estão inseridas. Conforme descrito por Torres Netto *et al.* (2005), essas medições permitem quantificar o funcionamento do aparato fotossintético e podem ser usadas como ferramentas para verificar a integridade do sistema fotossintético diante de condições ambientais adversas. Assim, é possível estimar a capacidade da planta de adquirir energia para a produção de biomassa.

Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o efeito do uso de pó de rocha no fundo de sulco na fisiologia da cana-de-açúcar, visando avaliar seu impacto na produtividade e na qualidade do solo em um sistema de plantio convencional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cana-de-açúcar: características morfológicas e fisiológicas

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma gramínea derivada do cruzamento de *S. spontaneum* L., *S. arundinaceum* Retzius (Syn: *Erianthus arundinaceus* (Retz.) Jeswiet), *S. robustum* Brandes e Jew e *Miscanthus* sp. (ROACH; DANIELS, 1987), que tem sido cultivada desde a pré-história. Possivelmente seu centro de origem é a Polinésia, e suas espécies foram disseminadas por todo o Sudeste Asiático, onde foi criado em Papua Nova Guiné e Java (Indonésia) um moderno centro de diversidade (Cheavegatti-Gianotto *et al.*, 2011).

Na classificação botânica, pertencente à família das Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Andropogoneae e gênero *Saccharum* L. (Almeida Júnior *et al.*, 2022). Este gênero apresenta seis espécies, sendo duas dessas silvestres (*Saccharum spontaneum* L. e *Saccharum robustum*) e quatro espécies domesticadas ou cultivadas (*Saccharum officinarum* L., *Saccharum barberi*, *Saccharum sinense* e *Saccharum edule*) (Figura 1) (Daniels; Roach, 1987). Além disso, é uma planta considerada alógama pertencente divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, subclasse

Commelinidae, ordem Cyperales e subtribo Saccharininae (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

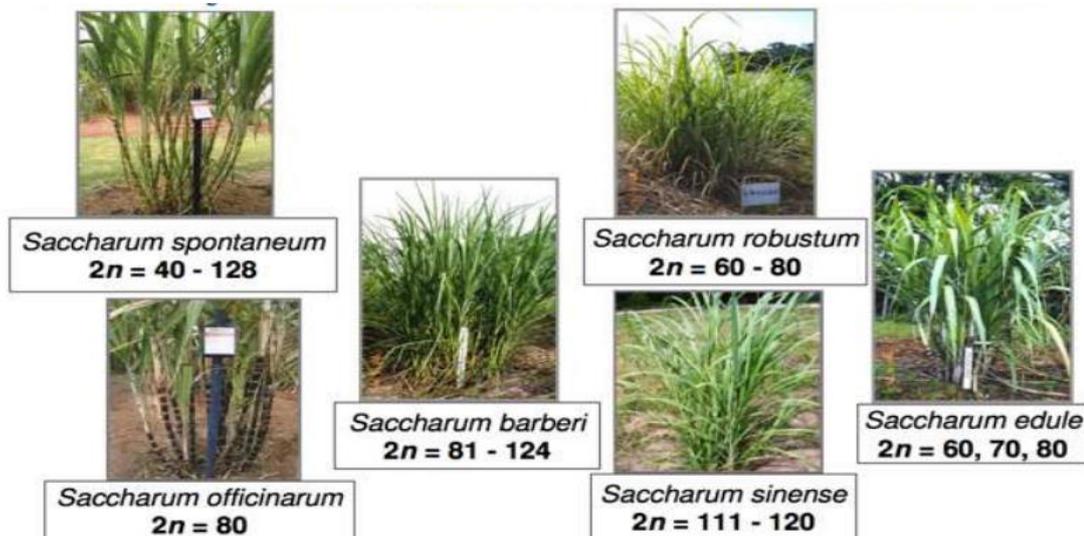


Figura 1- Representação do gênero *Saccharum*.

Fonte: D'Hont *et al.*, (2008).

Com isso, a cana-de-açúcar é uma angiosperma do grupo das monocotiledôneas, com ciclo semi-perene e considerada como uma planta C4, com boa adaptação à luminosidade e temperatura elevadas e capaz de resistir a escassez hídrica (Lacerda *et al.*, 2019).

Já relacionado à terminologia taxonômica das cultivares de cana-de-açúcar, atualmente é considerada como (*Saccharum* spp.), visto que o seu cultivo é destinado apenas para comercialização, quando estas são melhoradas geneticamente, ou seja, híbrido multiespecíficos com destaque de exploração na maior parte através da espécie *Saccharum officinarum* (Nobile *et al.*, 2017).

Em relação a produtividade, as cultivares de cana-de-açúcar tem grande importância para o setor agrícola, pois afeta diretamente a rentabilidade e a sustentabilidade da produção. A escolha adequada de cultivares, associada a práticas de manejo corretas, pode resultar em ganhos significativos de rendimento, tanto em toneladas de colmos por hectare quanto na produção de açúcar e etanol. De acordo com Oliveira *et al.* (2021) a seleção de cultivares com maior potencial produtivo, resistente a pragas e adaptada às condições climáticas locais é essencial para maximizar a eficiência da cultura. O estudo destaca que a variabilidade genética entre cultivares contribui para o aumento da produtividade em diferentes regiões produtoras.

Quando se fala no desenvolvimento vegetativo, a cana-de-açúcar apresenta essencialmente quatro fases de crescimento, conhecidas como, brotação e

emergência, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação (Lal, 2021). Na (Figura 2) podemos observar pela representação ilustrativa cada característica dita anteriormente sobre o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar.

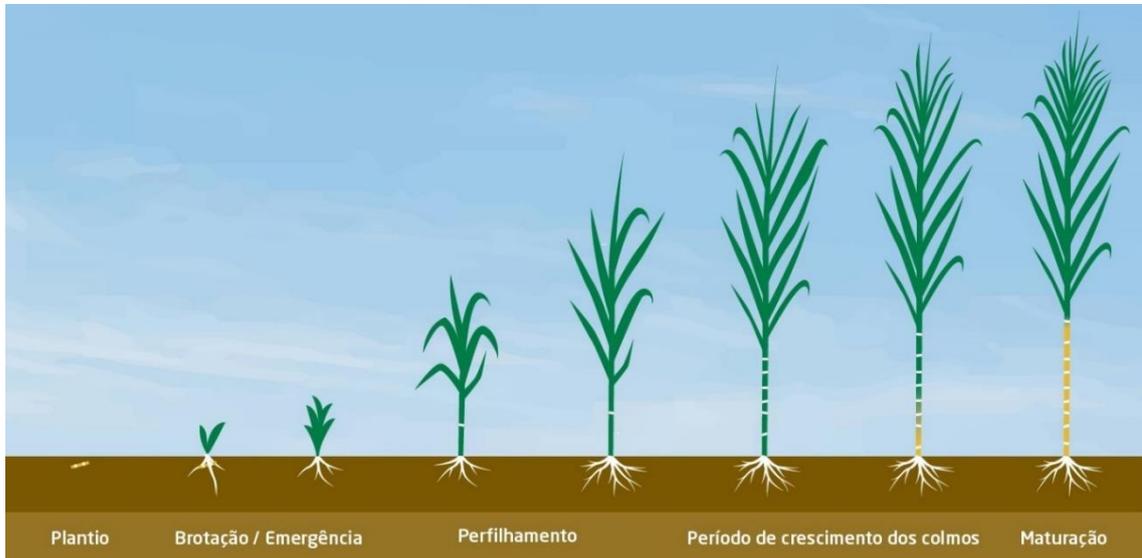


Figura 2 - Representação das fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Fonte: Brandt (2023).

A cultura da cana-de-açúcar possui reprodução sexuada, porém, nos cultivos para fins comerciais se faz multiplicação por meio de toletes via propagação vegetativa (assexuada), o que acarreta no crescimento de perfilhos que formam touceiras (Caieiro *et al.*, 2010). Vale ressaltar ainda, que a parte aérea desta cultura se constitui por caule em forma de colmos, apresentando-nos, entrenós e gemas, estando presente a inserção foliar (Figura 3).

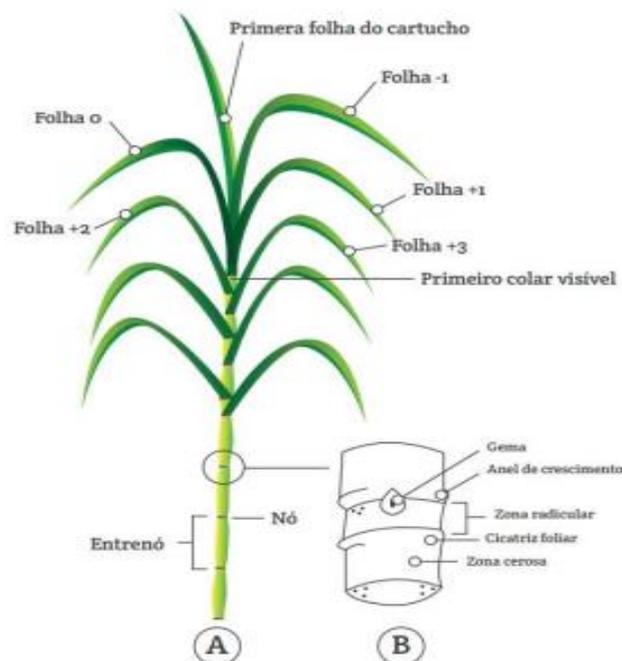


Figura 3 - Representação da classificação da cana-de-açúcar quanto a sua morfologia.

Fonte: Senar (2015).

A cana-de-açúcar é uma cultura tropical que realiza processos fisiológicos, como: a fotossíntese, a absorção de nutrientes e o desenvolvimento radicular. A fotossíntese, fundamental para o crescimento da planta, ocorre de forma eficiente devido ao metabolismo do tipo C4, que permite à cana converter CO₂ em biomassa com alta eficiência, mesmo em condições de alta temperatura e luminosidade. Além disso, a absorção de nutrientes é essencial para o crescimento e desenvolvimento da planta, especialmente em relação aos macronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, que afetam diretamente a produção de colmos e a síntese de sacarose (Santos *et al.*, 2020). Ainda de acordo com os autores, o desenvolvimento radicular profundo da cana-de-açúcar contribui para a sua adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, permitindo maior absorção de água e nutrientes do solo.

Diversos fatores podem impactar o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar, incluindo condições climáticas, disponibilidade de água, fertilidade do solo e práticas de manejo. A temperatura e a luminosidade são elementos-chave para a fotossíntese e o metabolismo energético da planta, sendo que temperaturas extremas podem comprometer seu desenvolvimento. A disponibilidade hídrica também é crítica, uma vez que a cana-de-açúcar é uma cultura que exige uma grande quantidade de água para manter seu crescimento vigoroso. Além disso, práticas de manejo como a aplicação correta de fertilizantes e o controle de pragas e doenças influenciam diretamente os resultados da produção (Carvalho *et al.*, 2021).

A cana-de-açúcar sendo uma planta de metabolismo C4, responde de maneira eficiente à alta intensidade de luz, o que favorece a fotossíntese e o acúmulo de biomassa. No entanto, a disponibilidade de água é igualmente crítica, visto que períodos de déficit hídrico podem reduzir a atividade fotossintética e comprometer a absorção de nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio. Esses nutrientes são fundamentais para a formação de colmos e a síntese de sacarose, diretamente ligados à produtividade da cultura (Souza *et al.*, 2021).

A cana-de-açúcar possui mecanismos de adaptação robustos que lhe permitem enfrentar variações climáticas e diferentes condições de solo, essenciais para seu cultivo em ambientes tropicais e subtropicais. Em situações de estresse hídrico, por exemplo, a planta pode reduzir sua área foliar para minimizar a perda de água por transpiração e aumentar o crescimento das raízes em busca de umidade em camadas

mais profundas do solo. Além disso, a cana adapta seu metabolismo ao modular a atividade de enzimas antioxidantes, que protegem as células dos danos causados por estresses como seca e altas temperaturas. A capacidade de tolerar solos de baixa fertilidade também é uma característica importante, sendo facilitada por uma maior eficiência na absorção de nutrientes e exploração do solo (Lima *et al.*, 2020).

2.2. Importância da cana-de-açúcar

No território nacional, a produção de cana-de-açúcar, na safra 2024/25, deverá ser de 689,8 milhões de toneladas, redução de 3,3% ao se comparar com a safra passada, mas com projeção mais otimista que à divulgada no primeiro levantamento, sobretudo pelas melhores condições climáticas na Região Nordeste, que possibilitaram bom desenvolvimento das lavouras de cana-de-açúcar. Na Região Centro-Sul, os baixos índices pluviométricos, aliados às altas temperaturas, são os principais fatores que devem reduzir a produção em relação à safra passada (CONAB, 2024).

Especificamente no estado do Paraná, a previsão para a safra atual indica que a colheita começou em março e se estenderá até novembro. Um ponto de destaque nesta safra é o aumento da atividade de colheita durante maio, junho e julho, impulsionado pelo clima mais seco, que está acelerando o processo. Esse cenário tem levado a uma colheita antecipada dos canaviais, que estão amadurecendo mais cedo, além de permitir que as operações industriais continuem sem interrupções devido à ausência de dias chuvosos. Essa aceleração da colheita é semelhante à registrada nos primeiros meses do ano, onde as condições climáticas desfavoráveis também impactaram o desenvolvimento dos canaviais, com temperaturas elevadas que intensificaram a evapotranspiração e reduziram a disponibilidade hídrica no solo (CONAB, 2024).

A produção de cana-de-açúcar no Brasil desempenha um papel fundamental na economia, especialmente na geração de energia renovável e biocombustíveis. O setor sucroenergético é um dos pilares do agronegócio brasileiro, sendo o país o maior produtor mundial de açúcar e etanol. Além de contribuir para a diversificação da matriz energética, a cana-de-açúcar fomenta o desenvolvimento regional, a criação de empregos e a sustentabilidade ambiental ao possibilitar a utilização do bagaço como fonte de energia (Silva *et al.*, 2020).

Nos dias atuais vivenciamos um cenário formado pelo crescimento populacional e enriquecimento de países em desenvolvimento, a demanda por alimentos e energia tem se tornado um desafio aos grandes centros de produção e consumo. Além disso, os novos paradigmas relacionados à mitigação de impactos ambientais, dentre eles a minimização das emissões de gases do efeito estufa, reforça a necessidade de obtenção de fontes alternativas, limpas e renováveis de energia como a cana-de-açúcar (Trombeta & Filho, 2017).

2.3 Adubação e nutrição

Os nutrientes presentes no solo exibem diferentes comportamentos, e compreender as características específicas de cada um permite prever essas variações em diferentes contextos de manejo. Eles podem seguir várias trajetórias no solo, como serem perdidos por meio de erosão, lixiviação, volatilização, ou ainda fixados nas micelas de argila, imobilizados, ou absorvidos pelas plantas, neste último caso, desempenhando sua função desejada.

Historicamente, o solo sempre desempenhou um importante papel. Seja no estabelecimento das moradias ou como habitat para os mais diversos microrganismos, importantes para a sobrevivência da espécie humana. Portanto, o ele é a base principal para a produção de alimentos, e ao encontrarem locais com maior fertilidade natural e com melhores condições para sua conservação, pequenos grupos se estabeleceram e hoje formam a sociedade como a conhecemos (Oliveira, 2022).

Em relação à adubação, é um dos principais fatores que influenciam a produtividade agrícola, pois garante o fornecimento adequado de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A aplicação correta de fertilizantes, tanto orgânicos quanto inorgânicos, melhora a fertilidade do solo, favorecendo a absorção de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, o aumento da produtividade. O manejo adequado da adubação também pode minimizar os efeitos negativos de deficiências nutricionais e otimizar o uso de recursos naturais (Silva *et al.*, 2021).

O cultivo da cana-de-açúcar exige um manejo adequado da adubação para maximizar a produtividade e a qualidade da produção. Os principais tipos utilizados são a orgânica e a mineral. A adubação orgânica inclui o uso de resíduos agrícolas, esterco e compostos, melhorando a estrutura do solo, aumentando a capacidade de retenção de água e fornecendo nutrientes de forma gradual. Isso beneficia o

desenvolvimento da cultura ao longo do ciclo produtivo. Em contraste, a mineral utiliza fertilizantes inorgânicos, que oferecem uma fonte rápida e concentrada de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio (Silva *et al.*, 2021).

A escolha da estratégia de adubação deve considerar fatores como a fertilidade do solo, as necessidades nutricionais da cana-de-açúcar e as condições climáticas locais. A adubação de plantio, realizada no momento do preparo do solo, é crucial para fornecer os nutrientes essenciais no início do ciclo da cultura. Já a adubação de cobertura, feita durante o desenvolvimento da planta, tem o objetivo de atender às demandas nutricionais em estágios críticos, como o alongamento do colmo e o enchimento dos açúcares (Almeida *et al.*, 2022).

2.4 Pó de rocha como fonte de nutrientes

Rochas moídas podem ser utilizadas para fertilizar o solo, num processo conhecido como rochagem, que fornece agrominerais ou remineralizadores; estes são matérias-primas de origem mineral, como resíduos de mineração, garimpo e metalurgia, para aplicação em diferentes solos agrícolas. A Instrução Normativa (IN) n.º 5 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), traz a definição, normatização e regras para comercialização dos remineralizadores (Brasil, 2016). A calagem e a aplicação de fosfatos naturais são exemplos de uso agrícola de pó de rocha (Oliveira *et al.*, 2023).

A utilização do pó de rocha traz benefícios para o solo, como o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e do pH, diminuição de alumínio trocável, fornecimento de macronutrientes (em especial o potássio) e micronutrientes, também contribuindo para melhorias em sua estrutura. O pó de rocha é aplicado em vários tipos de cultivos, como na olericultura, fruticultura, cana de açúcar, cereais, setor florestal e pastagens, em substituição e/ou complementação aos fertilizantes industrializados. Sua eficiência agrônômica depende de fatores como a mineralogia, a composição química e a granulometria de rochas moídas, condições de clima e de solo e da atividade microbiana (Swoboda *et al.*, 2022).

O uso de pó de rocha como insumo na agricultura tem ganhado destaque, especialmente no cultivo da cana-de-açúcar, devido aos seus potenciais benefícios para a produtividade e sustentabilidade do sistema agrícola. Estudos demonstram que a aplicação de pó de rocha não apenas aumenta a capacidade de troca de cátions do solo, mas também pode promover um melhor desenvolvimento radicular e resistência

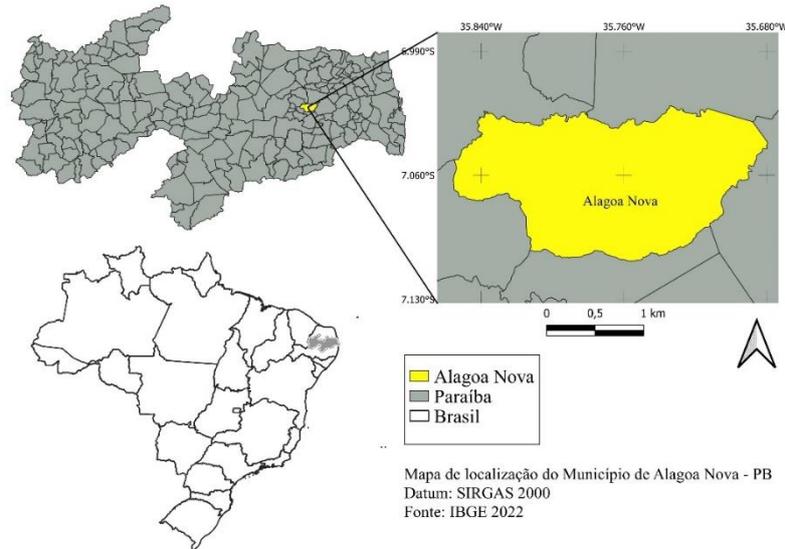
das plantas a estresses abióticos, como seca e pragas. A incorporação de pó de rocha ao solo pode resultar em aumentos significativos na produtividade da cana-de-açúcar, ao mesmo tempo em que melhora a saúde do solo (Bittencourt *et al.*, 2021).

Além dos benefícios agrônômicos, o uso de pó de rocha também é uma estratégia importante para a sustentabilidade na agricultura, pois contribui para a redução da dependência de fertilizantes químicos, promovendo práticas mais ecológicas. A aplicação desse insumo pode ajudar a restaurar solos degradados, melhorar a retenção de água e favorecer a biodiversidade microbiana. O uso de recursos naturais como o pó de rocha, que é uma alternativa ao uso intensivo de fertilizantes sintéticos, está alinhado com os princípios da agricultura sustentável. Conforme afirmam Santos *et al.* (2022) a utilização de pó de rocha representa uma abordagem inovadora para a fertilização na cana-de-açúcar, contribuindo não apenas para a produtividade, mas também para a conservação ambiental.

3. MATÉRIAS E MÉTODOS

3.1 Localização do Experimento

O estudo foi realizado em condições comerciais de produção no Engenho Santa Vitória, localizado no município de Alagoa Nova, na Microrregião do Brejo Paraibano, estado da Paraíba. A área experimental encontra-se nas coordenadas -7.0369580 de latitude e -35.7369364 de longitude, com uma altitude de 464,29 metros

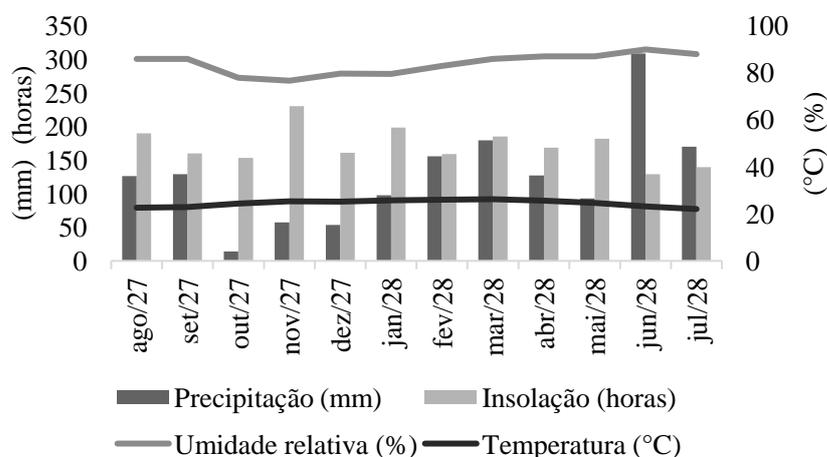


acima do nível do mar.

Figura 4 - Mapa de localização. Fonte: autor (2024)

Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima "As", descrito como quente e úmido, com uma precipitação média anual de 1.200 mm, concentrada principalmente entre os meses de março e agosto. A temperatura média anual é de 23°C (Alvares *et al.*, 2013). O tipo de solo predominante na área é o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Embrapa, 2018).

Gráfico 3 - Condições climáticas durante a condução do experimento.



3.1. Condução do experimento

O experimento foi iniciado em 29/07/2023, utilizando um delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Cada parcela ocupava uma área de 30 m², sendo composta por quatro sulcos espaçados em 1,5 metros e com 6 metros de comprimento. A área experimental, que abrangeu 600 m² de área útil, foi renovada após vários ciclos de cana-soca. O remineralizador de pó de rocha foi aplicado no fundo do sulco, com dosagens de 0, 1, 2, 3 e 4 t ha⁻¹. A disposição dos tratamentos e suas respectivas dosagens estão ilustradas na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição dos Tratamentos com Pó de Rocha Basáltico.

BLOCO 1	T3	T4	T5	T0	T2
BLOCO 2	T2	T0	T3	T5	T4
BLOCO 3	T3	T4	T5	T2	T0
BLOCO 4	T0	T2	T3	T5	T4

T0- 0 t ha⁻¹; T2- 1 t ha⁻¹; T3 – 2 t ha⁻¹; T4 – 3 t ha⁻¹ e T5 - 4 t ha⁻¹

3.2. Características químicas do pó de rocha

O remineralizador utilizado no experimento foi o "Vulcano Agrominerais", registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) sob o número BA 000741-2.000001. De acordo com o fabricante, o produto é derivado de rochas granulíticas, com características típicas de rochas silicáticas de composição

basáltica. Um dos principais diferenciais desse material é o seu teor de potássio, que é três vezes superior ao mínimo exigido pela Instrução Normativa 5/2016 do MAPA. Na tabela 2, são apresentados os teores em porcentagem de K₂O, CaO, MgO, SiO₂, Fe₂O₃, P₂O₅, MnO, além do pH, conforme os dados fornecidos pela empresa.

Tabela 2. Análise Química do Pó de Rocha Aplicado

Soma de Bases	K ₂ O	Ca O	Mg O	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MnO	pH
10,0%	2,8%	4,2 %	3,0 %	60,4%	7,5%	0,2%	0,1%	8,0

Fonte: Vulcano Agrominerais

3.3. Preparo do solo e plantio

O experimento foi realizado em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. No preparo da área foi feita previamente a limpeza do local com auxílio de um trator, e posteriormente foi realizada a gradagem e abertura dos sulcos para assim poder ser iniciado o plantio. A abertura dos sulcos foi realizada de maneira mecanizada, atingindo uma profundidade de 60 cm. Em seguida, foi aplicada a adubação com o remineralizador de pó de rocha. A variedade de cana utilizada foi a CTC 14. O plantio ocorreu de forma manual, adotando o sistema convencional de cana-planta, com a disposição de 14 a 16 gemas por metro. Os toletes foram distribuídos dentro do sulco conforme o padrão "pé e ponta". Após essa etapa, os toletes foram cortados em pedaços menores, de até 60 cm, e devidamente colocados dentro do sulco.

3.4. Variáveis analisadas

3.4.1. Trocas gasosas

Para a coleta dos dados sobre as trocas gasosas, foram registradas as seguintes variáveis: a taxa de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), a concentração interna de CO₂ (C_i) ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), a transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^2 \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), a eficiência instantânea de uso da água (E_iUA), que relaciona a fotossíntese líquida com a transpiração [$(\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}) / (\text{mmol de H}_2\text{O m}^2 \text{s}^{-1})$], e a eficiência instantânea de carboxilação (E_iC), obtida pela relação entre a fotossíntese líquida e a concentração interna de carbono [$(\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}) / (\mu\text{mol m}^2$

s⁻¹]). As leituras foram realizadas em folhas saudáveis, não destacadas e totalmente expandidas, utilizando um analisador portátil de gás carbônico por infravermelho (IRGA) (Licor 6400 XL) em condições atmosféricas naturais. As medições ocorreram entre 10h00 e 12h00, 300 dias após o plantio (DAP).

3.4.2. Clorofila total (a+b)

As medições de clorofila a + b foram realizadas utilizando um clorofilômetro Clorofilog®. As coletas ocorreram em diferentes alturas médias da cana-planta (aproximadamente 20, 40 e 60 cm). O clorofilômetro foi posicionado no terço médio da folha +1 (a primeira folha com aurícula visível), sendo necessário remover a nervura foliar para otimizar a precisão das leituras. Para cada altura, foram realizadas 10 repetições em folhas distintas, selecionando uma planta de cada parcela nos blocos dois e três. As médias obtidas pelo equipamento foram utilizadas como os valores finais das leituras.

3.4.3 Método de análise da folha

As amostras de folhas de cana-de-açúcar foram coletadas aleatoriamente nas duas linhas centrais de cada parcela e enviadas para o laboratório. No laboratório, as amostras foram comprovadas segundo a metodologia de digestão nitro-perclórica da Embrapa. Para isso, 0,5 g do pó das folhas foi colocado em um tubo de digestão com 5 mL de ácido nítrico (HNO₃) 65% e 2 mL de ácido perclórico (HClO₄) 70%. O tubo foi aquecido a 200 °C até

A determinação dos teores de potássio (K) e magnésio (Mg) foi realizada por espectrometria de emissão atômica por plasma (AES), utilizando padrões para segurança. As concentrações de K e Mg foram obtidas a partir da curva de localização, e cada amostra foi observada em triplicata com padrões de referência para

3.5. Análises estatísticas

Os dados foram analisados por meio de análise de variância, e as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). As análises estatísticas foram conduzidas com o auxílio do software Sisvar®, versão 5.8.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Concentração Interna de CO₂ (Ci)

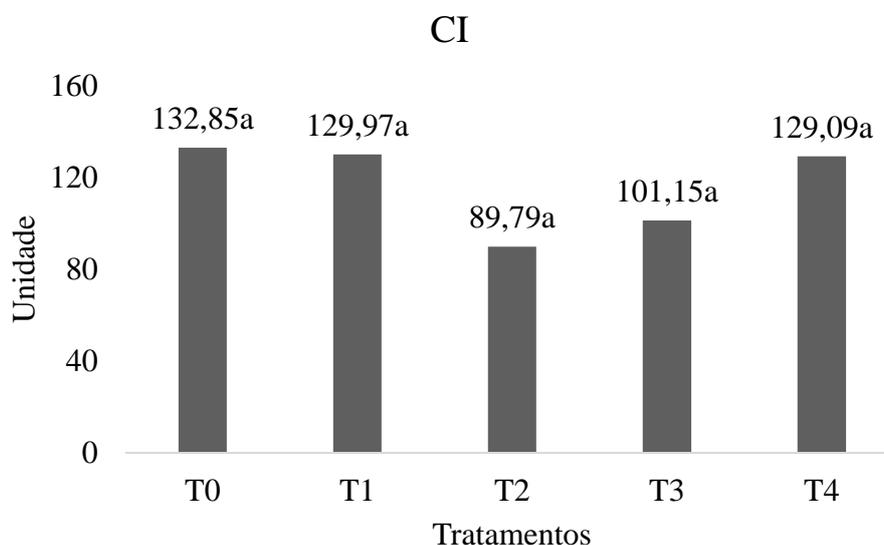


Figura 5 - Teste de médias da Concentração Interna de CO₂ (Ci) em cana-soca sob diferentes doses de remineralizador.

A concentração interna de CO₂ (Ci) variou entre os tratamentos, com T0 apresentando 132,85 g/kg como a maior média. Embora não tenha havido diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, a tendência sugere que a aplicação de remineralizadores pode influenciar a dinâmica interna de CO₂ nas folhas. Um aumento na concentração de Ci pode refletir um melhor microclima interno na folha, favorecendo a fotossíntese (Malta *et al.*, 2019). A menor média observada em T2 (89,79 g/kg) indica que doses elevadas de remineralizadores podem não ter contribuído para a assimilação de CO₂, possivelmente devido a um desequilíbrio na relação entre a transpiração e a absorção de CO₂ (Farias *et al.*, 2024).

O nível de CO₂ interno é essencial para a taxa de fotossíntese, pois um aumento na concentração de CO₂ pode melhorar a eficiência da carboxilação. A similaridade dos dados entre os tratamentos sugere que as plantas podem ter desenvolvido mecanismos de regulação que otimizam o uso do CO₂ disponível, independentemente do tratamento. Essa resposta indica a necessidade de investigar outros fatores que podem impactar a Ci, como umidade do solo e temperatura, que são cruciais para a dinâmica do CO₂ nas folhas (Knapik E Angelo, 2007).

4.2 Taxa de Fotossíntese (A)

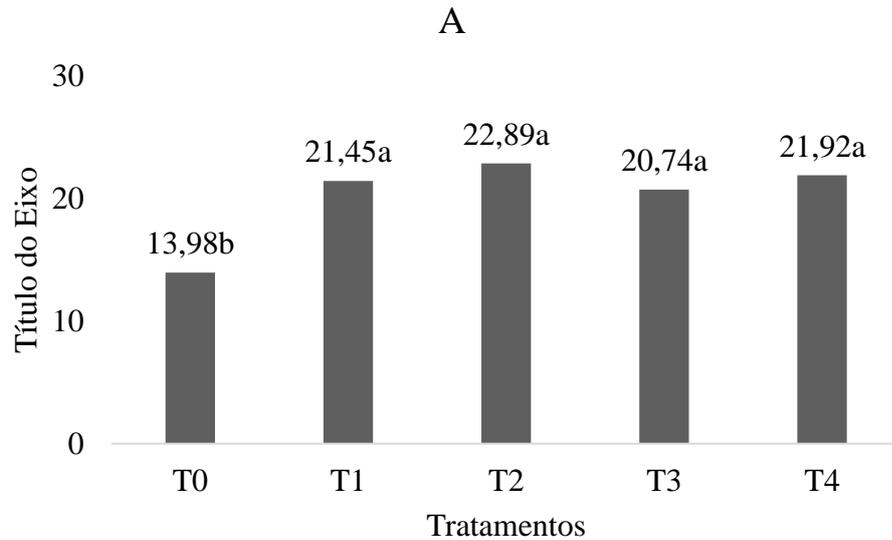


Figura 6 - Teste de médias da Taxa de Fotossíntese (A) em cana-soca sob diferentes doses de remineralizador.

A taxa de fotossíntese (A) mostrou variações significativas entre os tratamentos, com T2 apresentando a maior taxa de $22,89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. As médias dos outros tratamentos, especialmente T4 ($21,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$), também apresentaram valores altos, indicando que a aplicação de remineralizadores pode ter um efeito positivo na fotossíntese. A eficiência fotossintética está diretamente ligada à disponibilidade de nutrientes, e a presença de remineralizadores pode ter melhorado a absorção de nutrientes essenciais, favorecendo assim a taxa de fotossíntese (Osterroht, 2003). O menor valor observado em T0 ($13,98 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) reforça a ideia de que a falta de nutrientes pode limitar a eficiência fotossintética (Sousa, 2000).

Nesse mesmo sentido, a taxa de fotossíntese está correlacionada com a eficiência do uso da água e a condutância estomática. O aumento na fotossíntese em tratamentos que receberam remineralizadores sugere que esses insumos podem estar otimizando a interação entre a absorção de CO_2 e a transpiração, levando a uma maior produção de biomassa (Silveiro e Lima, 2007). Os dados indicam que a aplicação de remineralizadores não só melhora a fotossíntese, mas também potencializa a resiliência das plantas a estresses ambientais, refletindo a importância do manejo nutricional nas práticas agrícolas (Veloso e Sampaio, 2006).

4.3 Transpiração (E)

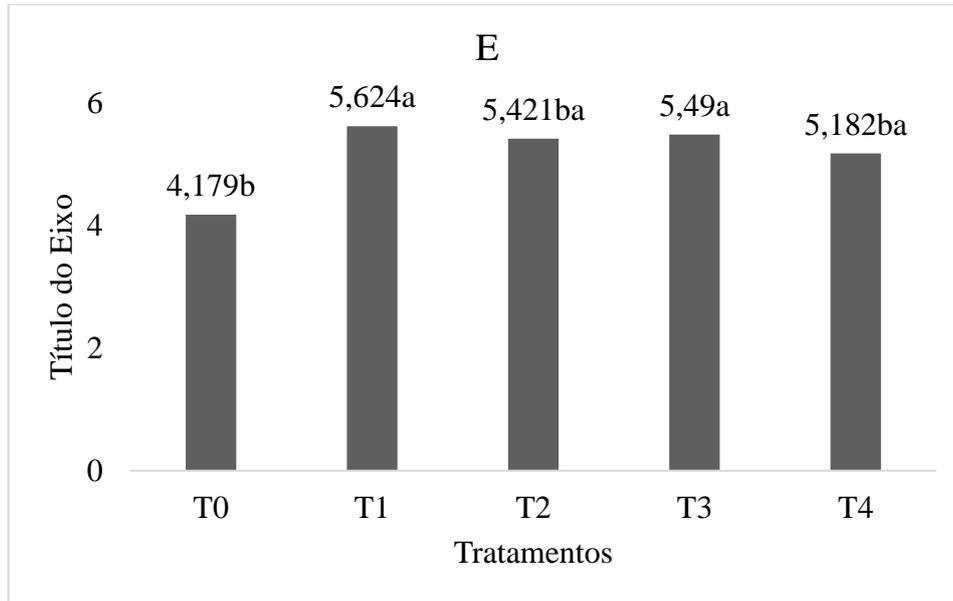


Figura 7 -Teste de médias da Transpiração (E) em cana-soca sob diferentes doses de remineralizador.

A transpiração (E) apresentou médias que variaram de 4,179 a 5,624 mmol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com T1 mostrando a maior taxa. Esse aumento na transpiração pode ser atribuído à melhor saúde das plantas, que resulta da adição de remineralizadores que favorecem o crescimento e a eficiência do sistema radicular. O maior valor de transpiração em T1 também indica que as plantas podem estar utilizando a água de forma mais eficaz, o que é crucial em sistemas de cultivo, especialmente em períodos de estresse hídrico. Em contraste, o menor valor de transpiração em T0 sugere que a ausência de nutrientes pode limitar a capacidade das plantas de regular a perda de água, afetando sua saúde geral (Alovisi *et al.*, 2021).

Outrossim, a transpiração é um indicador importante do equilíbrio hídrico das plantas. Os dados sugerem que a maior taxa de transpiração em T2 pode estar associada a uma maior abertura estomática, permitindo uma melhor troca gasosa e, conseqüentemente, maior fotossíntese. A correlação entre transpiração e fotossíntese indica que um manejo adequado dos nutrientes pode resultar em uma maior eficiência na utilização da água, essencial para a sustentabilidade da cana-soca (Prates *et al.*, 2010).

4.4. Condutância Estomática (GS)

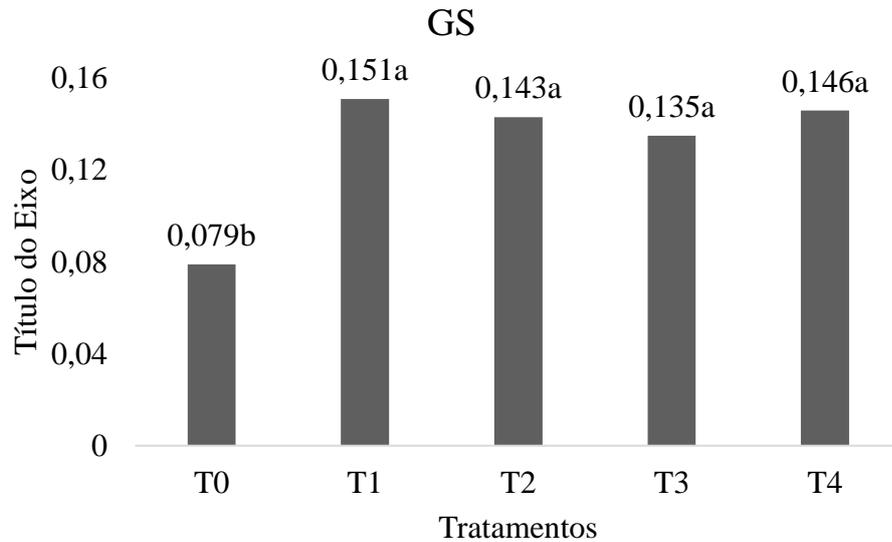


Figura 8. Teste de médias da Condutância Estomática (gs) em cana-soca sob diferentes doses de remineralizador.

A condutância estomática (gs) não variou significativamente entre os tratamentos, com T1 apresentando 0,151 mol m² s⁻¹ como a maior média. A condutância estomática elevada sugere que as plantas no tratamento T1 têm maior capacidade de absorver CO₂ e regular a transpiração, o que é vital para o desempenho fotossintético. A boa disponibilidade de nutrientes, proveniente do uso de remineralizadores, pode ter favorecido a abertura estomática, permitindo uma maior troca gasosa (SILVA *et al.*, 2008). Por outro lado, a gs em T0 foi a mais baixa, sugerindo que a ausência de remineralizadores pode ter limitado a capacidade das plantas de abrir os estômatos, afetando negativamente a fotossíntese e a eficiência do uso da água (Silverol E Machado Filho, 2007).

A condutância estomática é influenciada por fatores como umidade do solo, temperatura e conteúdo de nutrientes. As altas taxas de gs observadas em T1 reforçam a importância de um manejo nutricional adequado para maximizar a eficiência fotossintética das plantas. A interação entre a condutância estomática e outras variáveis fisiológicas, como a taxa de fotossíntese e a transpiração, destaca a complexidade dos processos que regulam o crescimento e a produtividade das culturas (Theodoro *et al.*, 2002).

4.5 Eficiência Instantânea de Uso da Água (eiua) e Eficiência do Uso da Água (EUA)

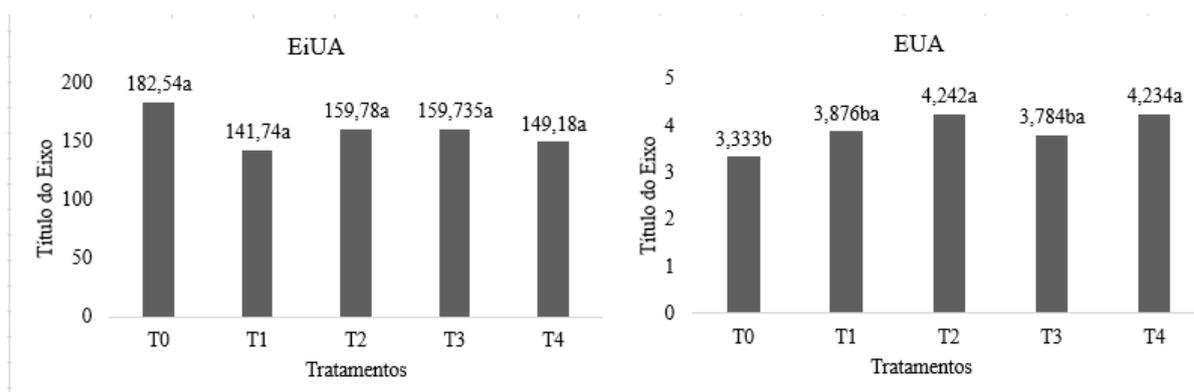


Figura 9 - Teste de médias da Eficiência Instantânea de Uso da Água (EiUA) e Eficiência do Uso da Água (EUA) em cana-soca sob diferentes doses de remineralizador.

A eficiência instantânea de uso da água (EiUA) variou significativamente, com T2 apresentando 159,78 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, indicando que a aplicação de remineralizadores não só melhora a taxa de fotossíntese, mas também aumenta a eficiência no uso da água. Os resultados mostram que a maior eficiência em T2 pode ser atribuída à melhor capacidade das plantas de realizar a fotossíntese em relação à quantidade de água transpirada. Essa relação é essencial em sistemas agrícolas, especialmente em regiões onde a água é um recurso limitado. A ausência de diferenças significativas em T0 sugere que a falta de nutrientes pode comprometer a eficiência hídrica das plantas (JÚNIOR *et al.*, 2020).

A eficiência instantânea de uso da água (EUA) apresentou valores que variaram significativamente entre os tratamentos, com destaque para o tratamento T2, que obteve a maior média (4,242 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$). Este resultado indica que o tratamento com a aplicação de 2 t ha⁻¹ de remineralizadores proporcionou uma melhor eficiência na conversão do CO₂ absorvido em biomassa, em relação à transpiração, quando comparado aos demais tratamentos. A maior eficiência no uso da água sugere que as plantas do tratamento T2 estão utilizando a água disponível de forma mais eficiente para a fotossíntese, o que é fundamental para a produtividade agrícola, especialmente em condições de estresse hídrico.

A eficiência no uso da água é um indicador crítico da resiliência das plantas sob condições de estresse hídrico. O aumento na EiUA em tratamentos com remineralizadores sugere que essas práticas podem levar a um melhor desempenho

das plantas, especialmente em períodos de escassez de água. As correlações entre a EiUA e outras variáveis, como fotossíntese e transpiração, reforçam a importância de um manejo equilibrado de nutrientes para otimizar a utilização da água nas culturas (AMARAL *et al.*, 2020).

4.6 Eficiência Instantânea de Carboxilação (EiCi)

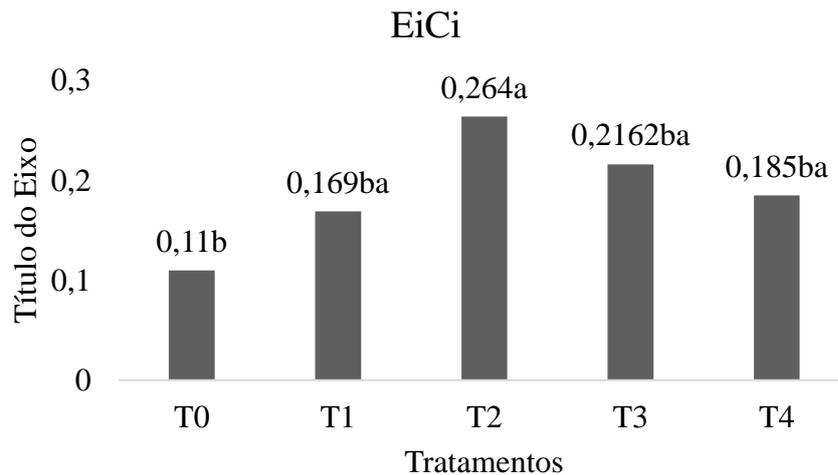


Figura 10 -Teste de médias da Eficiência Instantânea de Carboxilação (EiC) em cana-soca sob diferentes doses de remineralizador.

A eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) apresentou médias variando de 0,11 a 0,264 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, com T2 mostrando a maior eficiência. A elevada eficiência de carboxilação em T2 sugere que o uso de remineralizadores pode ter melhorado a capacidade da planta de fixar CO_2 , essencial para a fotossíntese. A correlação entre a carboxilação e a transpiração indica que a eficiência na utilização do CO_2 pode estar ligada a um balanço adequado entre a absorção de água e a fotossíntese (LAJÚS *et al.*, 2021). A ausência de diferenças significativas em T0 destaca a importância de nutrientes para maximizar a carboxilação e a eficiência geral do crescimento (Brandão, 2012).

4.7 Conteúdo de Potássio (K)

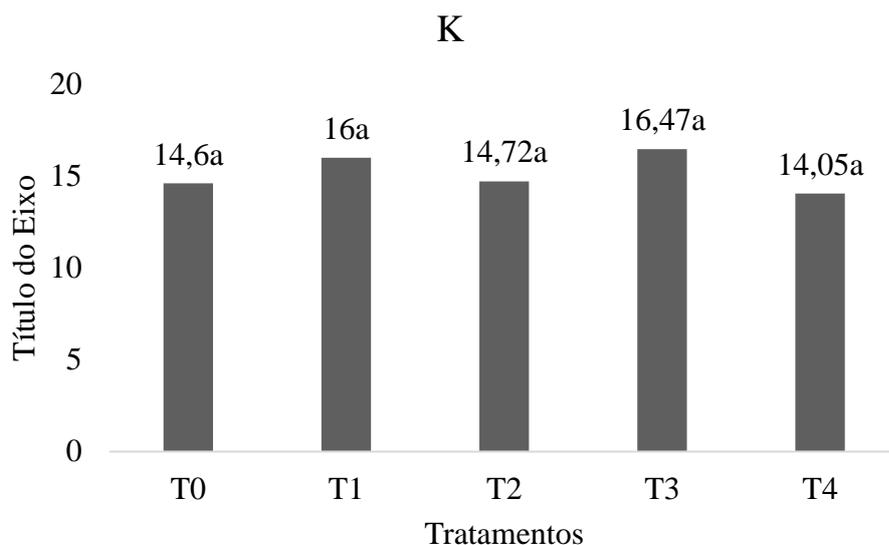


Figura 11 - Teste de médias da Conteúdo de Potássio (K) em cana-soca sob diferentes doses de remineralizador.

O conteúdo de potássio (K) variou entre os tratamentos, com valores que foram todos estatisticamente similares, indicando que a aplicação de remineralizadores não afetou de maneira significativa o conteúdo de potássio nas folhas. Embora a diferença não tenha sido estatística, a manutenção de níveis adequados de K é essencial, pois esse nutriente é crucial para a regulação osmótica e a ativação de enzimas, impactando diretamente na fotossíntese e na produtividade das culturas. A ausência de variações significativas pode sugerir que a quantidade de potássio disponível no solo estava adequada para todos os tratamentos, ou que os remineralizadores não influenciaram a mobilização desse nutriente no solo de forma esperada (Cola E Simão, 2012).

O potássio desempenha um papel fundamental no transporte de açúcares e no equilíbrio hídrico das plantas. A similaridade dos dados entre os tratamentos pode indicar que as práticas de manejo utilizadas não foram suficientes para alterar a dinâmica do potássio, ou que a taxa de aplicação dos remineralizadores não estava alinhada com as necessidades específicas das plantas (Oscani E Campos, 2017).

4.8 Conteúdo de Magnésio (Mg)

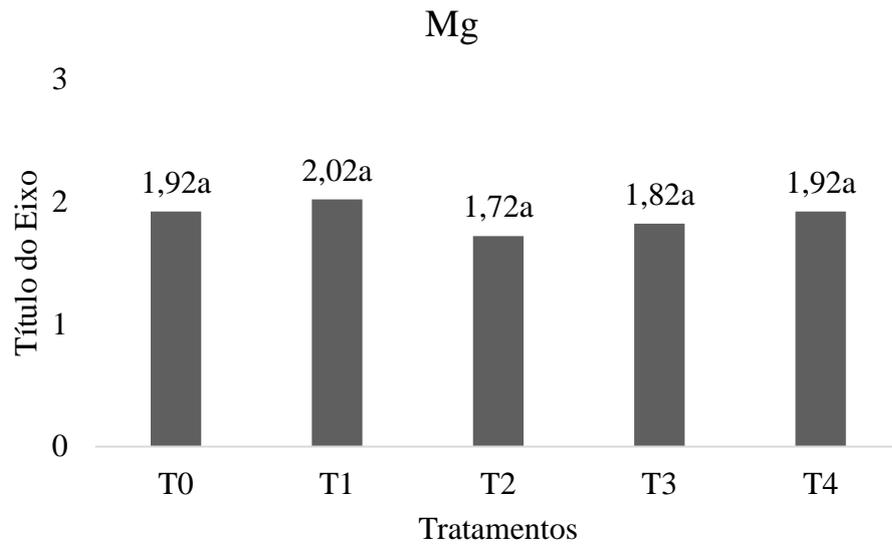


Figura 12. Teste de médias da Conteúdo de Magnésio (Mg) em cana-soca sob diferentes doses de remineralizador.

O conteúdo de magnésio (Mg) nas folhas também apresentou médias que não variaram significativamente entre os tratamentos, com valores entre 1,72 e 2,02 g/kg. Embora não tenha havido diferenças estatísticas, a presença de magnésio é essencial para a formação da clorofila, e sua adequação é crucial para a fotossíntese. A manutenção de níveis adequados de magnésio é essencial para garantir a eficiência fotossintética, e a aplicação de remineralizadores pode ter potencializado a disponibilidade desse nutriente no solo (Toscani E Campos, 2007). A falta de variação significativa nos tratamentos pode indicar um equilíbrio nutricional já presente no solo, que permite a absorção adequada de magnésio por todas as plantas, independentemente do tratamento (Silverol E Machado Filho, 2007).

Além disso, a interação entre o magnésio e outros nutrientes, como o cálcio e o potássio, é vital para o desenvolvimento saudável das plantas. A ausência de diferenças significativas nos tratamentos sugere que as práticas de manejo utilizadas podem ter assegurado um fornecimento balanceado de magnésio, essencial para o crescimento das plantas (Sousa *et al.*, 2017).

5. CONCLUSÃO

A aplicação de reminalizadores na cana-soca apresentou efeitos positivos nas variáveis fisiológicas, especialmente na eficiência instantânea de uso da água. A dose de 1 t ha^{-1} destacou-se, mostrando o potencial de práticas nutricionais para otimizar a fotossíntese e a produtividade das culturas.

Os resultados indicaram que a concentração interna de CO_2 e a condutância estomática foram semelhantes entre os tratamentos, sugerindo um equilíbrio nutricional favorável. Isso indica que a aplicação de reminalizadores pode ter promovido condições adequadas para o crescimento das plantas.

Esses achados ressaltam a importância de pesquisas adicionais sobre diferentes tipos e doses de reminalizadores em várias culturas. A otimização do uso de água e nutrientes é fundamental para a sustentabilidade e aumento da produtividade agrícola, especialmente em contextos de estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. A.; SANTOS, F. F.; CAVALCANTE, R. A.; NEVES, J. C. Efficient fertilization practices for sugarcane: A review of recent studies. **Agricultural Sciences**, v. 13, n. 2, p. 137-145, 2022. <https://doi.org/10.4236/as.2022.132011>.
- ALOVISI, A. M. T. *et al.* Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, e33710615599-e33710615599, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15599>.
- BITTENCOURT, R. M.; OLIVEIRA, M. A.; CARRILHO, E. S.; NASCIMENTO, L. C. Rock dust as a sustainable alternative for sugarcane cultivation: **Effects on productivity and soil health. Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6617, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13126617>.
- BRANDÃO, J. A. V. Pó de rocha como fonte de nutriente no contexto da agroecologia. 2012. 86 f. **Dissertação** (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, 2012.
- BRANDT. Cana-de-açúcar. 2023. Disponível em: <https://brandtbrasil.com/cultura/cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar/>. Acesso em: 10 out. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5 de 10 de março de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 14 mar. 2016. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21393137/do1-2016-03-14-instrucao-normativa-n-5-de-10-de-marco-de-2016-21393106. Acesso em: 10 out. 2024.
- CAIEIRO, J. T.; PANOBIANCO, M.; BESPALHOK FILHO, J. C.; OHLSON, O. D. C. Pureza física e germinação de sementes (cariopses) de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, n. 2, p. 140-145, 2010.
- CARVALHO, L. F. *et al.* Factors affecting the growth and productivity of sugarcane. *Agricultural Research*, v. 39, n. 3, p. 489-497, 2021.
- CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A. *et al.* Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology, California**, v. 4, n. 1, p. 62-89, 2011.
- COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde**, v. 7, n. 4, p. 15-27, 2012.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Observatório agrícola. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar, v. 12 – Safra 2024/2025 n. 2 – Segundo levantamento, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 10 out. 2024.
- D'HONT, A.; SOUZA, G. M.; MENOSSI, M.; VINCENTZ, M.; VAN-SLUYS, M. A.; GLASZMANN, J. C.; ULIAN, E. Sugarcane: a major source of sweetness, alcohol, and bio-energy. In: *Genomics of tropical crop plants*. Springer, p. 483-513, 2008.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, D. J. (Ed.) Sugarcane improvement through breeding. **Elsevier**, v. 11, p. 7-84, 1987.

DE SOUZA, M. D. B.; FONTANETTI, A.; ASSAD, M. L. R. L. Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017.

FARIAS, N. B. *et al.* Aspectos fisiológicos e produtivos de *Stylosanthes* SPP. CV. Campo Grande no semiárido brasileiro sob diferentes condições nutricionais. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 2, e3410-e3410, 2024.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Pó de basalto e esterco eqüino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (Rosaceae). **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 427-436, 2007.

LACERDA, A. R. S.; SOUZA, A. R.; SANTOS, T. M.; CLEMENTE, J. M.; DUARTE, A. R.; MACHADO, M. G. Produtividade da cana-de-açúcar em resposta a adubação NPK em diferentes épocas. **Humanidades & Tecnologia em Revista (FINOM)**, v. 1, n. 18, 2019.

LAJÚS, C. R. *et al.* Aspectos qualitativos e quantitativos de variedades de alface submetidas a concentrações de pó de rocha em cultivo orgânico. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 49489-49512, 2021.

LAL, N. Micropropagated Plants as Alternative Planting Material to Sugarcane Setts. **Indian Journal of Biology**, v. 8, n. 1, p. 27-30, 2021.

LIMA, M. D. *et al.* Mechanisms of sugarcane adaptation to climatic variations and soil conditions. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 6, p. 496-505, 2020.

MALTA, A. O. *et al.* Trocas gasosas em gravioleira 'Morada' sob adubação orgânica e mineral. **PesquisAgro**, v. 2, n. 1, p. 34-46, 2019.

NASCIMENTO, T. R.; NASCIMENTO, R. C.; OLIVEIRA, K. G.; ESCOBAR, I. E. C.; SIMOES, W. L.; FERNANDES JUNIOR, P. I. Caracterização fenotípica de bactérias Diazotróficas Endofíticas isoladas da cana-de-açúcar cultivada em Juazeiro, BA. In: Embrapa Semiárido-Artigo em **anais** de congresso (ALICE). In: simpósio de mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro, 4., 2015, Petrolina. Experiências e oportunidades para o desenvolvimento. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015.

NOBILE, F. O.; FARINELLI, R.; JUNIOR, F. K.; PESSI, G. H. P. Aplicação de calcário em superfície: estudo da influência nas propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico sob o cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 20, n. 2, p. 99-108, 2017.

OLIVEIRA, M. W. *et al.* Productivity and adaptability of sugarcane cultivars under different environmental conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 172, p. 113-121, 2021.

OLIVEIRA, P. H. A IMPORTÂNCIA DA FERTILIDADE DO SOLO. 20p. 2022. Disponível

em:<https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/54598/1/PEDRO%20HENRIQUE%20STEIN%20OLIVEIRA.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.

OLIVEIRA, P. S.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E. Uso de pó de rocha em plantas forrageiras. Comunicado técnico. **EMBRAPA**. 16p. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Persio-Doliveira/publication/375520622_Uso-de-po-de-rocha-em-plantas-forrageiras/links/654d70bfb86a1d521bc88828/Usodepo-de-rocha-em-plantas-forrageiras.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

OSCANI, R. D. S.; CAMPOS, J. E. G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Revista Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.

OSTERROHT, M. Rochagem para quê? In: OLIVEIRA, J. P. Rochagem-I: adubação com rochas silicatadas moídas. **Botucatu: Agroecológica**, 2003. cap. 3, p. 12-15.

PRATES, F. B. D. S. *et al.* Crescimento de mudas de maracujázeiro-amarelo em resposta à adubação com superfosfato simples e pó de rocha. **Revista Ceres**, v. 57, p. 239-246, 2010.

ROACH, B. T.; DANIEL, S. J. A review of the origin and improvement of sugarcane. In: Copersucar International Sugarcane Breeding Workshop, 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar Technology Center, 1988. p. 1-31.

SANTOS, A. M. *et al.* Physiological aspects of sugarcane: Photosynthesis, nutrient uptake, and root development. **Plant Physiology Journal**, v. 85, n. 2, p. 215-224, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plantphys.2020.215224>.

SILVA, E. A. da S. *et al.* Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v. 32, p. 323-333, 2008.

SILVA, J. A. *et al.* Environmental impacts of sugarcane cultivation: A review of strategies for sustainable practices. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 24, n. 4, p. 365-376, 2022.

SILVEIRA, M. L.; LIMA, F. M. R. S. O uso de pó de rocha fosfática para o desenvolvimento da agricultura familiar no Semiárido brasileiro. Jornada da Iniciação Científica, 15, 2007. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2007.

SOUSA, H. U. Nutrição de mudas de bananeira em função de substratos e doses de superfosfato simples. **Ciência Agrotécnica**, v. 24, p. 64-73, 2000. Edição especial.

THEODORO, S. C. H. *et al.* Rochagem e compostagem: uma forma ambientalmente correta de recuperar e fertilizar áreas degradadas. In: **SUZI HUFF THEODORO, S. H. (Org.). Conflitos e Uso Sustentável dos Recursos Naturais**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. p. 85-102.

VALENÇA, A. F.; SOUZA, F. F.; HAZELETT, C.; LIMA, A. R. Efeito do uso de lodo de esgoto na fertilidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0200143, 2020.

VELOSO, H. S.; SAMPAIO, R. A. Crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo em resposta à adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. 2006. 33 f.

Monografia (Graduação em Agronomia) – Núcleo de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.