

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Vanessa Barroso de Castro

**RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum
officinarum*), EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE PRODUTOS
FOLIARES NANOTECNOLÓGICOS.**

Dracena

2024

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Vanessa Barroso de Castro

**RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum
officinarum*), EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE PRODUTOS
FOLIARES NANOTECNOLÓGICOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas-
Unesp, Câmpus de Dracena como parte das
exigências para graduação em Engenharia
Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Bispo Ramos

Dracena

2024

Certificado de aprovação



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Dracena



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*), EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE PRODUTOS FOLIARES NANOTECNOLÓGICOS.**

Modalidade: Trabalho de **Atividades de pesquisa**

Autor: **Vanessa Barroso de Castro**

Orientador (a): **Sérgio Bispo Ramos**

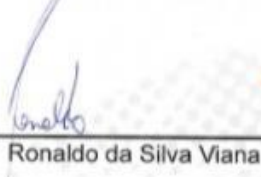
Co-orientador(es):

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 21/11/2024


Sérgio Bispo Ramos

Nome membro da Banca


Ronaldo da Silva Viana

Nome membro da Banca

Documento assinado digitalmente
gov.br GUSTAVO DO VALLE POLYCARPO
Data: 28/11/2024 17:01:37-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Gustavo do Valle
Polycarpo
Nome membro da Banca

DEDICATÓRIA

À minha irmã Vanderleia, ao meu pai Vanderlei e à minha mãe Valdelucia, que com muito suor e imenso amor moldaram meu caminho. Pelo esforço silencioso, pela dedicação incansável e pela fé que nunca se abalou, sou grata. Foram as mãos deles que me ergueram nos momentos difíceis e, com cada gesto de carinho, acenderam a luz que me conduziu rumo aos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que até aqui me sustentou e nunca me desamparou.

À minha família: minha mãe, Valdelucia; meu pai, Vanderlei; minhas irmãs, Vanderleia e Vanusa; meus cunhados, Flávio e Flávio Augusto; e aos meus cinco sobrinhos, que são fonte de amor incondicional e sempre me apoiaram e encorajaram em cada etapa da minha vida.

À República Mulherama, que foi lar e família, serei eternamente grata a cada uma pelo companheirismo e amizade, especialmente a Pra1000, Kuki, Gnomo, Lindinha, Babosa, Jurubeba, Turbina, Catatau e Summer.

À Cacau pelo amor, carinho, felicidade e leveza.

Ao Luís, pelo companheirismo e amizade.

Ao grupo GECANA e ao Prof. Dr. Sérgio Bispo Ramos, que sempre me auxiliou com muita paciência e dedicação.

A todos os professores e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – FCAT, obrigado por todo o ensino e experiência.

E a todos que não foram mencionados, mas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a minha formação.

A todos, minha eterna gratidão.

“Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.” (Antoine de Saint-Exupéry).

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), pertencente à família Poaceae, é uma gramínea de grande relevância para a agricultura brasileira, destacando-se na produção de açúcar e etanol. Visando aumentar a eficiência produtiva e reduzir os impactos ambientais, o uso da nanotecnologia tem ganhado destaque no meio agrícola. O uso de fertilizantes, com partículas em escala nanométrica, oferece vantagens como liberação controlada de nutrientes e melhor absorção pelas plantas. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes doses de adubos foliares nanoparticulados em parâmetros de crescimento e fisiológicos da cana-de-açúcar. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Campus de Dracena, utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 vasos. Os tratamentos consistiram em aplicações quinzenais de produtos comerciais contendo boro, molibdênio e cobalto, denominados Mirac e Revoluc, em diferentes doses: T1 - controle: sem aplicação; T2 - Mirac 0,5ml/L; T3 - Revoluc 2ml/L; T4 - Mirac 0,5ml/L e Revoluc 2ml/L e T5 - Mirac 1ml/L e Revoluc 4ml/L. Foram realizadas avaliações não destrutivas de crescimento (número de folhas, diâmetro dos colmos, número de colmos e altura da planta) aos 30, 50, 65 e 80 dias após o início do experimento, além de avaliações fisiológicas como fotossíntese e transpiração no 80º dia. A análise destrutiva consistiu na pesagem da massa seca da parte aérea e das raízes. Os resultados foram submetidos à análise estatística pelo software Agroestat, utilizando $p < 0,05$ para a regressão polinomial e teste de Tukey a 5%. Foram observados resultados significativos apenas nas variáveis de taxa de assimilação de CO₂ e taxa de transpiração. A eficácia dos produtos pode ter sido influenciada por diversos fatores, sejam eles abióticos ou não.

Palavras-chave: Nanotecnologia, Adubos foliares, fertilizantes nanoparticulados, Eficiência nutricional.

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum spp.*), belonging to the Poaceae family, is a grass of great importance to Brazilian agriculture, particularly in the production of sugar and ethanol. To increase production efficiency and reduce environmental impacts, the use of nanotechnology has gained prominence in agriculture. Fertilizers with nanoparticles offer advantages such as controlled nutrient release and improved plant absorption. This study aimed to evaluate the effects of different doses of foliar nanoparticle-based fertilizers on sugarcane growth and physiological parameters. The experiment was conducted in a greenhouse at the Faculty of Agricultural and Technological Sciences, Dracena Campus, using a completely randomized design (CRD) with five treatments and four replications, totaling 20 pots. Treatments included biweekly applications of commercial products containing boron, molybdenum, and cobalt, named Mirac and Revoluc, at different doses: T1 - control: no application; T2 - Mirac 0.5 ml/L; T3 - Revoluc 2 ml/L; T4 - Mirac 0.5 ml/L and Revoluc 2 ml/L; and T5 - Mirac 1 ml/L and Revoluc 4 ml/L. Non-destructive growth assessments (number of leaves, stem diameter, number of stems, and plant height) were carried out at 30, 50, 65, and 80 days after the start of the experiment, in addition to physiological evaluations such as photosynthesis and transpiration on the 80th day. The destructive analysis involved weighing the dry mass of shoots and roots. The results were subjected to statistical analysis using the Agroestat software, employing $p < 0.05$ for polynomial regression and Tukey's test at 5%. Significant results were observed only in the variables of CO₂ assimilation rate and transpiration rate. The efficacy of the products may have been influenced by various factors, whether abiotic or otherwise.

Keywords: Nanotechnology, Foliar fertilizers, Nanoparticle-based fertilizers, Nutritional efficiency.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.1 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 Cana-de-açúcar	17
3.2 Fertilizantes nanotecnológicos.....	18
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1 Localização	20
4.2 Delineamento experimental e Tratamentos.....	20
4.3 Condução do experimento	21
4.4 Avaliações.....	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 parâmetros morfológicos.....	24
5.2 Parâmetros fisiológicos	29
6 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Pertencente à família Poaceae, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma gramínea de extrema importância no setor agrícola brasileiro, devido ao grande acúmulo de sacarose em seus colmos, o que a torna uma matéria-prima essencial para a produção de açúcar e álcool.

A cana-de-açúcar impulsionou a economia brasileira há mais de 500 anos. O setor sucroenergético representa cerca de 2% do Produto Interno Bruto (PIB) do país, tanto na produção de açúcar e etanol quanto na exportação desses produtos (CROPLIFE BRASIL, 2020). O Brasil se destaca na produção de cana-de-açúcar devido às condições edafoclimáticas favoráveis e aos investimentos em produtividade, sendo São Paulo o estado que lidera a indústria sucroalcooleira no país.

As características das variedades determinam fatores como o número de colmos por planta, a altura e o diâmetro dos colmos, o tamanho e a largura das folhas, além da estrutura da parte aérea. A manifestação dessas características é fortemente influenciada pelo clima, pelo manejo adotado e pelas práticas culturais empregadas (RODRIGUES, 1995). Os colmos são a parte de maior interesse, pois são deles que se extrai a sacarose. Portanto, variedades que acumulam mais açúcar em resposta ao ambiente apresentam maior produtividade de biomassa por área (RODRIGUES, 1995). Além disso, a cana-de-açúcar possui capacidade de rebrota, característica que permite que a planta volte a crescer após o corte, oferecendo grandes vantagens em termos produtivos e sustentáveis, visto que as mesmas plantas produzidas safras consecutivas.

O uso correto de fertilizantes minerais é essencial para promover uma alta produtividade, garantindo a segurança alimentar do mundo (REETZ, 2016). No entanto, Spadotto e Gomes (2021) afirma que, quando o uso de fertilizantes minerais não obedece às recomendações agronômicas, eles podem ser considerados contaminantes. Diante desse cenário, as inovações em tecnologias têm sido exploradas para melhorar a absorção de nutrientes e diminuir os impactos ambientais. Entre elas, destaca-se o uso da nanotecnologia.

A nanotecnologia surge como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de um novo tipo de fertilizante, os nanofertilizantes, que podem

desempenhar um papel crucial no enfrentamento dos desafios futuros relacionados à produção de alimentos e à preservação ambiental (LIU e LAL, 2015).

A forma de nanofertilizantes permite alta solubilidade e liberação controlada, garantindo maior estabilidade e eficácia. Esse tipo de aplicação também possibilita uma entrega direcionada de nutrientes, aumentando a absorção pelas plantas, minimizando a toxicidade e facilitando tanto a distribuição quanto o descarte (TORNEY et al., 2007; GREEN e BEESTMAN, 2007 apud DASGUPTA et al., 2020).

Além disso, estudos mostram que fertilizantes nanoparticulados podem aumentar a resistência das plantas aos estresses abióticos, como a seca e a salinidade, que afetam os níveis de produtividade agrícola (JIANG et al., 2021).

A utilização de adubos foliares com partículas nanométricas na agricultura vem se tornando uma alternativa promissora para aumentar a produtividade de maneira mais sustentável, com potencial para minimizar os impactos ambientais relacionados à adubação convencional e melhorar o desempenho e a eficiência do uso de nutrientes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito de produtos nanotecnológicos na cultura da cana-de-açúcar.

2.1 Objetivos Específicos

Avaliar os efeitos dos tratamentos sobre os seguintes parâmetros das plantas de cana-de-açúcar após a aplicação de diferentes doses dos produtos testados:

- Parâmetros de crescimento: diâmetro do colmo, número de colmos, altura da planta e número de folhas;
- Parâmetros fisiológicos: clorofila, transpiração, condutância estomática e fotossíntese, além da determinação de massa da matéria seca das raízes e parte aérea.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cana-de-açúcar

Em termos taxonômicos, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma *Magnoliophyta* pertencente à família das *Poaceae*, tribo *Andropogoneae* e gênero *Saccharum*. Trata-se de uma planta alógama, com alta heterose e que, de modo geral, não suporta a endogamia (BEZERRA et al., 2018).

A cana-de-açúcar é uma planta com metabolismo C₄, que utiliza um mecanismo para concentrar o CO₂ nas células do mesófilo, transportando as moléculas de CO₂ na forma de uma molécula de quatro carbonos, que será descarboxilada nas células da bainha vascular. Esse mecanismo de concentração de CO₂ permite que as plantas C₄ fechem parcialmente os estômatos, reduzindo a condutância estomática e a transpiração, especialmente quando expostas a altas concentrações de CO₂ (MARIN e NASSIF, 2013).

É uma planta monocotiledônea, então possui folhas longas e estreitas, com nervura central, dispostas em espiral ao longo dos nós do colmo. Seu colmo armazena sacarose e é composto por nós e entrenós. A raiz é adventícia, com sistema fasciculado, facilitando a absorção de água e nutrientes. A planta se desenvolve em forma de touceira, ou seja, ela possui capacidade de perfilhamento, que se forma a partir de nós, o que aumenta a densidade das plantas e favorece a produção.

Os colmos possuem nós e entrenós claramente definidos. Nos nós, encontramos os primórdios radiculares e as gemas, que são estruturas germinativas em estado de latência. Quando expostas a condições desenvolvidas, as gemas podem emitir um broto, dando origem a uma nova planta (THOMAS, 2016). Nos entrenós da cana-de-açúcar, encontramos os açúcares solúveis mais significativos, com a sacarose predominando em maior quantidade, acompanhada de glicose e frutose em menores concentrações (BOARETTO, 2012).

O colmo da cana-de-açúcar é a principal estrutura de interesse agrônomo e industrial, devido à sua alta concentração de sacarose, que constitui o principal composto solúvel nos tecidos vegetais. A sacarose acumulada nos tecidos do colmo, especialmente nos entrenós, é utilizada na produção de açúcar e etanol. Estes derivados possuem grande relevância econômica, visto que o setor sucroalcooleiro é responsável por 2% do PIB nacional (CROPLIFE, 2020).

O Brasil lidera a produção global de cana-de-açúcar e é o principal exportador mundial de açúcar e etanol. Com mais de 7 milhões de hectares dedicados ao cultivo, o país conta com cerca de 400 usinas processadoras, mais de 1.000 indústrias auxiliares e aproximadamente 70 mil fornecedores de cana. Anualmente, o Brasil gera mais de 480 milhões de toneladas de cana, consolidando-se como um líder global em tecnologias de produção de etanol. Além de ser base para a fabricação de açúcar e álcool, os subprodutos e resíduos da cana são aproveitados para a cogeração de energia elétrica, a produção de ração animal e a fabricação de fertilizantes para a agricultura (GOV.BR, [s.d.]).

Esses resultados produtivos na indústria canavieira brasileira são respostas de anos de estudos e investimentos contínuos, que incluem inovações tecnológicas, como o uso de nanotecnologia. A aplicação de nanomateriais na produção de cana-de-açúcar tem mostrado grande potencial, especialmente no que diz respeito ao aumento da eficiência no uso de fertilizantes, que auxilia na liberação controlada. Isso não só contribui para o aumento da produtividade, mas também para a redução dos impactos ambientais, tornando o processo mais sustentável.

3.2 Fertilizantes nanotecnológicos

A nanotecnologia envolve a manipulação e reconfiguração da matéria em nanoescala, especificamente nos níveis atômico e molecular dentro de uma faixa de tamanho de aproximadamente 1 a 100 nanômetros. Isso permite o desenvolvimento de materiais, dispositivos e sistemas com propriedades e funções inteiramente novas devido à sua escala estrutural minúscula (ROCO et al., 2011). De acordo com Alencar (2008), a nanotecnologia é um conjunto abrangente de tecnologias, técnicas e métodos que envolvem a preparação, caracterização, manipulação e controle de átomos e moléculas para criar materiais em escala nanométrica, com propriedades específicas e exclusivas devido às suas dimensões diminutas.

A nanotecnologia tem se tornado cada vez mais relevante em diversas áreas, incluindo a agricultura. A inovação com nanopartículas para defensivos e fertilizantes tem revolucionado o setor, proporcionando vantagens como a liberação controlada de substâncias, maior eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas e aumento da

resistência aos estresses ambientais. Além disso, essas tecnologias minimizam os impactos ambientais, tornando as práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

Entre as diversas aplicações da nanotecnologia no setor agrícola, destaca-se o uso de nanosensores e nanocatalisadores. Essas tecnologias são capazes de monitorar e acelerar o diagnóstico de doenças nas plantas, tratar doenças de forma molecular, melhorar a capacidade das plantas de absorver nutrientes e aumentar a eficiência na aplicação de pesticidas, herbicidas e fertilizantes (GRANZIERA, 2012).

A EMBRAPA está explorando a nanotecnologia para fortalecer o agronegócio no Brasil, com foco em aumentar a competitividade e a sustentabilidade, além de melhorar a qualidade dos produtos e processos agroindustriais. As pesquisas envolvem o desenvolvimento de sensores e biosensores feitos de materiais nanoestruturados para monitorar tanto os processos produtivos quanto a qualidade dos produtos agropecuários e a água. Além disso, investem em membranas de separação e embalagens inteligentes que controlam a nanoestrutura para otimizar processos industriais. A criação de nanopartículas para a liberação controlada de nutrientes e pesticidas no solo é outro destaque, ajudando a reduzir as perdas de cultivos, que atualmente chegam a 50% por diversos fatores como pragas, doenças e pós-colheita. Essas tecnologias visam tornar o uso de defensivos agrícolas mais eficiente e com menor impacto ambiental, por meio de sensores inteligentes que monitoram as condições do solo e detectam pragas e doenças em tempo real. Isso torna o manejo agrícola mais preciso e científico, diminuindo custos, erros humanos e o uso excessivo de defensivos. A nanotecnologia também promove uma melhor absorção de nutrientes, melhorando o processamento e conversão de alimentos. Dessa forma, ela tem um papel vital no fortalecimento da segurança alimentar e no uso mais sustentável de recursos (RODRIGUES, 2010).

A capacidade dos nanomateriais em contribuir significativamente para a liberação lenta e controlada de fertilizantes, ocorre porque as nanopartículas apresentam maior retenção dos nutrientes nas plantas devido à sua alta tensão superficial, que supera a das superfícies convencionais. Isso faz com que o material permaneça mais tempo disponível para absorção pelas plantas, aumentando a eficácia do uso de fertilizantes (A NOVA AGRICULTURA, 2021).

Assim, entende-se que a nanotecnologia não é apenas uma inovação futurística destinada a aumentar a produtividade e reduzir os impactos ambientais da agricultura moderna. Na realidade, ela já é uma tecnologia tangível, que, com algumas adaptações, pode se integrar de forma mais ampla ao cotidiano dos produtores rurais (RAMOS, 2022).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação nas dependências da faculdade de ciências agrárias e tecnológicas, Câmpus de Dracena.

4.2 Delineamento experimental e Tratamentos

O Delineamento experimental escolhido foi o DIC (Delineamento Inteiramente Casualizado), composto por 5 tratamentos com 4 repetições cada, totalizando 20 vasos. (Figura 1)

Figura 1: Distribuição das parcelas no experimento com fertilizantes nanoparticulados na cultura da cana-de-açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os tratamentos foram estruturados na seguinte forma:

- T1 - Testemunha: sem aplicação dos adubos;
- T2 - Mirac 0,5ml/L;
- T3 - Revoluc 2ml/L;
- T4 - Mirac 0,5ml/L e Revoluc 2ml/L;
- T5 - Mirac 1ml/L e Revoluc 4ml/L.

4.3 Condução do experimento

Foram utilizados vasos de 45 litros, lavados e esterilizados com hipoclorito de sódio, preenchidos com argissolo amarelo coletado da camada de 0,20 a 0,40 m e corrigido de acordo com a análise de solo realizada.

Para o plantio, foram escolhidos minitoletes de cana-de-açúcar da variedade CTC 4, com três minitoletes por vaso. (Figura 2)

Figura 2: Plantio dos minitoletes de cana-de-açúcar no experimento envolvendo produtos nanoparticulados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dezesseis dias após o plantio foi realizado o raleio, deixando apenas uma planta por vaso.

Cerca de 18 dias após o plantio, foi realizada uma adubação via solo com 22,5g de ureia por vaso. (Figura 3)

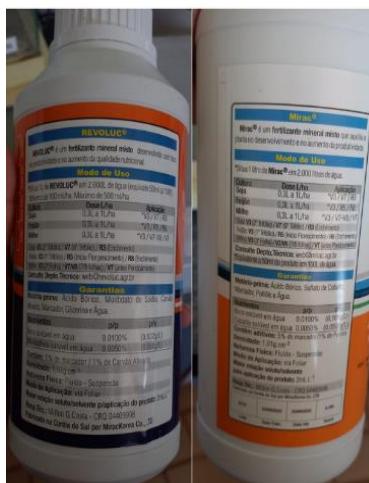
Figura 3: Adubação com ureia via solo no experimento com fertilizantes nanoparticulados na cultura da cana-de-açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os nutrientes foram fornecidos aos tratamentos por meio de adubos foliares nanoparticulados, utilizando 2 produtos comerciais: Revolut (Boro e Molibdênio) e Mirac (Boro e Cobalto) (Figura 4). As aplicações dos produtos comerciais foram realizadas 20 dias após o plantio dos minitoletes, com intervalos de 15 dias entre cada aplicação, totalizando quatro aplicações. Os produtos foram pulverizados diretamente na parte aérea de cada planta com o auxílio de um borrifador (Figura 5), conforme as doses estabelecidas.

Figura 4: Bula dos produtos foliares nanoparticulados utilizados no experimento com cana-de-açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5: Aplicação da solução com borrifador no experimento envolvendo produtos nanoparticulados na cultura da cana-de-açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Avaliações

Aos 30, 50, 65 e 80 dias após a aplicação dos adubos foliares, foram realizadas avaliações não destrutivas das seguintes características: número de folhas, número de colmos, diâmetro dos colmos e altura da planta. No 80º dia, foram realizadas avaliações fisiológicas: medição da transpiração, condutância estomática e fotossíntese. Após essas avaliações, foi realizada uma avaliação destrutiva, onde cada planta foi removida do vaso e limpa, sendo deixada em ambiente seco para secagem. Após uma semana, foi realizado o registro do peso da matéria seca da parte aérea (caule e folhas separadamente) e do sistema radicular.

4.5 Análises estatísticas

Os resultados foram analisados pelo programa estatístico Agroestat, utilizando-se $p < 0,05$ na análise de regressão polinomial e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 parâmetros morfológicos

Jaime (2024), cita que nos experimentos conduzidos na área da HW com dois produtos de nanotecnologia, observou-se um aumento de 38,05% na produção de colmos por hectare após o uso do MIRAC e de 36,22% com o REVOLUC. O peso dos colmos também apresentou um crescimento significativo, com um incremento de 31,79% usando o MIRAC e de 28,07% com o REVOLUC. Além disso, a quantidade total de açúcar recuperável por hectare subiu 44,71% com o MIRAC e 45,07% com o REVOLUC. Embora o uso desses nanofertilizantes em conjunto tenha demonstrado alta eficácia, o experimento em questão não apresentou resultados significativos.

De acordo com as análises estatísticas realizadas, o experimento não obteve resultados significativos nas características de número de colmos, altura de plantas, número de folhas e diâmetro de colmos. Segundo o site AGROLINK (2020), a eficiência da adubação foliar é influenciada por fatores internos e externos que afetam a absorção e translocação de nutrientes. Internamente, a permeabilidade da cutícula da folha, sua idade e o estado iônico interno são determinantes. Folhas mais jovens, com cutículas mais finas e maior atividade metabólica, absorvem melhor os nutrientes em comparação às mais velhas, que apresentam uma cutícula espessa e resistente. Cutículas hidratadas são mais permeáveis, enquanto folhas desidratadas tornam-se impermeáveis. Externamente, luz intensa e temperaturas elevadas aumentam a absorção e a translocação de nutrientes, embora possam causar evaporação rápida, concentrando os sais a níveis tóxicos. A disponibilidade de água e a umidade atmosférica elevada também são cruciais, pois mantêm a cutícula hidratada e prolongam o contato da solução com a folha.

Outro fator que pode ter influenciado a eficácia do produto foram os ataques de pragas, como a lagarta do cartucho e de pulgões.

Plantas com entre 8 e 10 folhas podem ter suas bases danificadas pela lagarta-do-cartucho, o que resulta no perfilhamento da cultura e, em casos mais severos, na morte das plantas. Além disso, o hábito alimentar sugador dos pulgões causa

amarelecimento e encarquilhamento das folhas, que ficam retorcidas e dobradas, servindo de abrigo para esses insetos (FRANZONI, 2018).

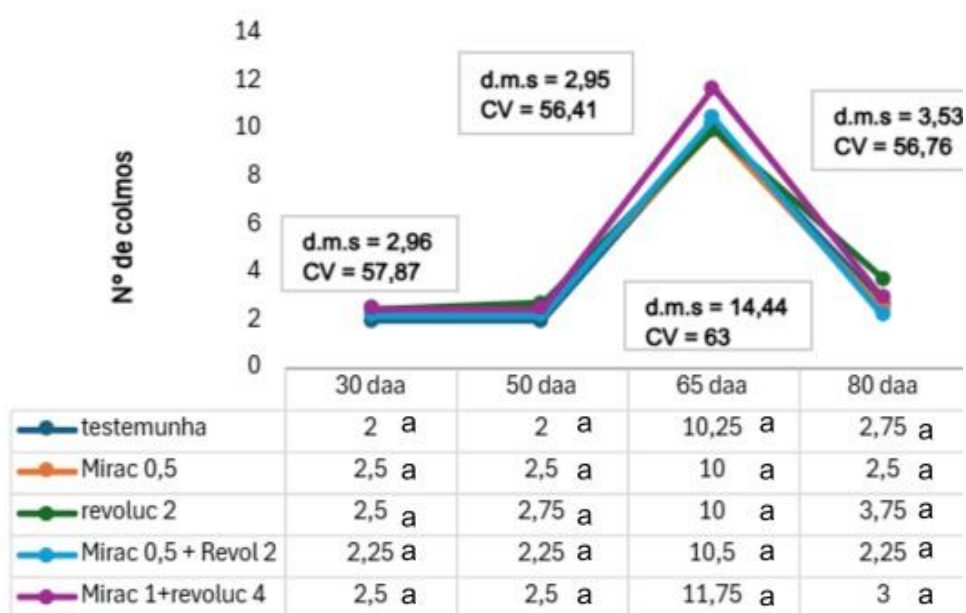
As tabelas 1, 2, 3 e 4, posteriormente representadas por gráficos, mostram os valores médios do número de colmos, altura de plantas, número de folhas e diâmetro de colmos avaliados ao longo do experimento.

Tabela 1. Valores médios do número de colmos das cana-de-açúcar avaliados 30, 50, 65 e 80 dias após a instalação do projeto. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Número de colmos				
Tratamentos	30 DAA	50 DAA	65 DAA	80 DAA
testemunha	2 a	2 a	10,25 a	2,75 a
Mirac 0,5	2,5 a	2,5 a	10 a	2,5 a
revoluc 2	2,5 a	2,75 a	10 a	3,75 a
Mirac 0,5 + Revoluc 2	2,25 a	2,25 a	10,5 a	2,25 a
Mirac 1 + revoluc 4	2,5 a	2,5 a	11,75 a	3 a
DMS	2,96	2,95	14,44	3,53
CV (%)	57,87	56,41	63	56,76

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6. Gráfico representando os valores médios do número de colmos das plantas avaliadas 30, 50, 65 e 80 dias após a instalação do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor

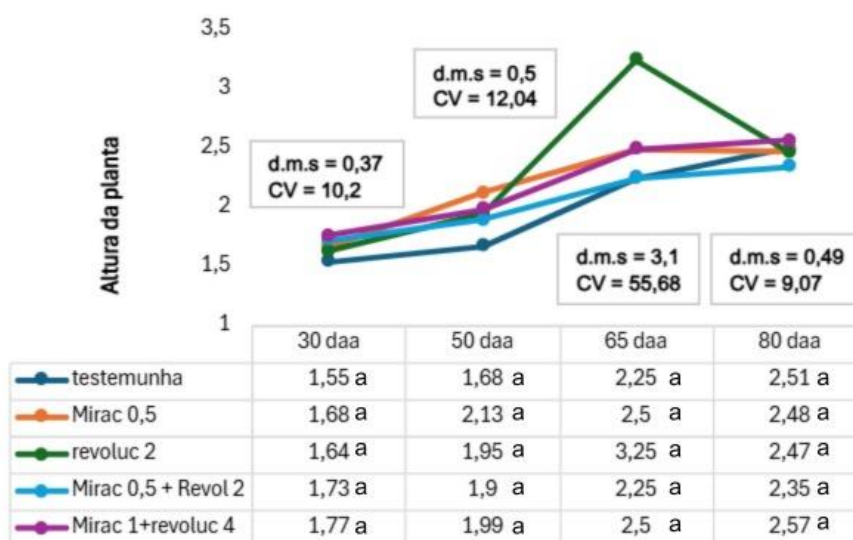
Embora os tratamentos com produtos (Mirac 1 + Revoluc 4) mostrem uma tendência de maior número de colmos (65 daa), estatisticamente os resultados não são significativamente diferentes do controle em nenhum período, conforme indicado pelas letras iguais e pelo d.m.s. Isso sugere que as variações podem estar dentro da margem de erro experimental.

Tabela 2. Valores médios da altura das plantas (Metros) avaliada 30, 50, 65 e 80 dias após a instalação do projeto. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Altura de plantas				
Tratamentos	30 DAA	50 DAA	65 DAA	80 DAA
testemunha	1,55 a	1,68 a	2,25 a	2,51 a
Mirac 0,5	1,68 a	2,13 a	2,5 a	2,48 a
revoluc 2	1,64 a	1,95 a	3,25 a	2,47 a
Mirac 0,5 + Revoluc 2	1,73 a	1,9 a	2,25 a	2,35 a
Mirac 1 + revoluc 4	1,77 a	1,99 a	2,5 a	2,57 a
DMS	0,37	0,5	3,1	0,49
CV (%)	10,2	12,04	55,68	9,07

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 7. Gráfico representando os valores médios da altura das plantas (Metros) avaliadas 30, 50, 65 e 80 dias após a instalação do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor

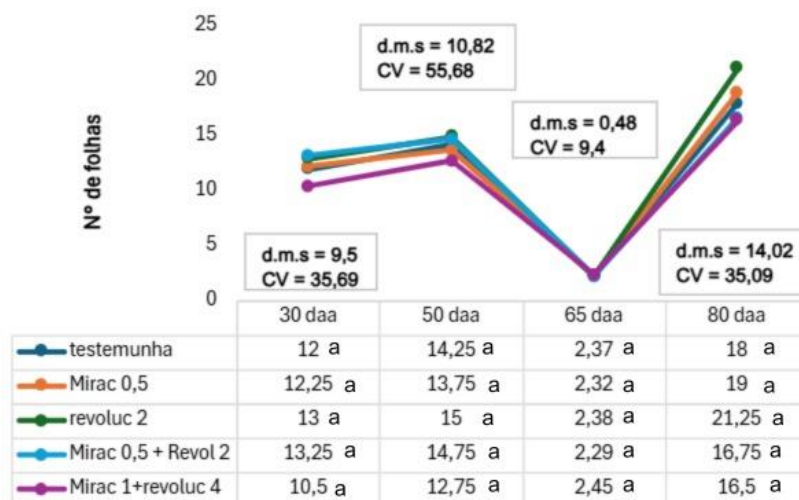
Nenhum dos tratamentos testados apresentou diferença estatisticamente significativa em relação à testemunha em nenhum dos períodos avaliados. Embora os tratamentos Revoluc 2 e Mirac 1 + Revoluc 4 tenham mostrado valores numéricos superiores, há uma alta variabilidade observada.

Tabela 3. Valores médios do número de folhas avaliado 30, 50, 65 e 80 dias após a instalação do projeto. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Número de folhas				
Tratamentos	30 DAA	50 DAA	65 DAA	80 DAA
testemunha	12 a	14,25 a	2,37 a	18 a
Mirac 0,5	12,25 a	13,75 a	2,32 a	19 a
revoluc 2	13 a	15 a	2,38 a	21,25 a
Mirac 0,5 + Revoluc 2	13,25 a	14,75 a	2,29 a	16,75 a
Mirac 1 + revoluc 4	10,5 a	12,75 a	2,45 a	16,5 a
DMS	9,5	10,82	0,48	14,02
CV (%)	35,69	35,17	9,4	35,09

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8. Gráfico representando os valores médios dos números de folhas das plantas avaliadas 30, 50, 65 e 80 dias após a instalação do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor

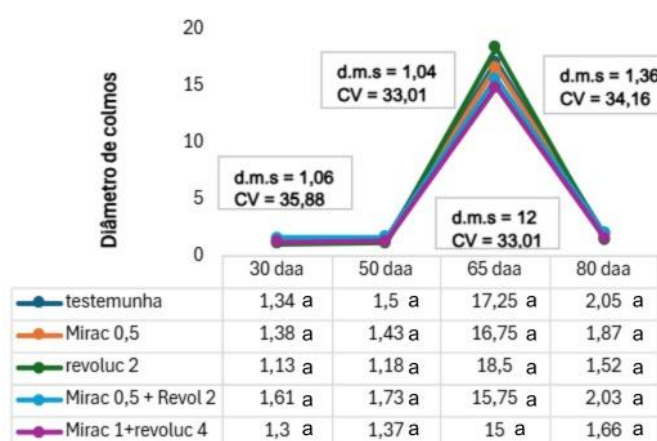
Os resultados mostram que não houve diferença estatisticamente significativa no número de folhas entre os tratamentos e a testemunha em nenhum dos períodos avaliados. Apesar de variações numéricas, os altos coeficientes de variação (CV) em 30, 50 e 80 DAA indicam grande dispersão nos dados, enquanto em 65 DAA, mesmo com menor variabilidade (CV = 9,4%), as diferenças permanecem dentro da margem de erro definida pelo DMS. Portanto, os tratamentos avaliados não influenciaram significativamente o número de folhas das plantas.

Tabela 4. Valores médios do diâmetro dos colmos (Centímetros) avaliado 30, 50, 65 e 80 dias após a instalação do projeto. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Diâmetro dos colmos				
Tratamentos	30 DAA	50 DAA	65 DAA	80 DAA
testemunha	1,34 a	1,5 a	17,25 a	2,05 a
Mirac 0,5	1,38 a	1,43 a	16,75 a	1,87 a
revoluc 2	1,13 a	1,18 a	18,5 a	1,52 a
Mirac 0,5 + Revoluc 2	1,61 a	1,73 a	15,75 a	2,03 a
Mirac 1 + revoluc 4	1,3 a	1,37 a	15 a	1,66 a
DMS	1,06	1,04	12	1,36
CV (%)	35,88	33,22	33,01	34,16

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9. Gráfico representando os valores médios do diâmetro dos colmos (Centímetros) das plantas avaliadas 30, 50, 65 e 80 dias após a instalação do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados mostram que o diâmetro dos colmos não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos e a testemunha em nenhuma das avaliações, conforme indicado pela mesma letra (a) atribuída a todos os grupos. Apesar de variações numéricas observadas, os coeficientes de variação elevados indicam alta dispersão nos dados, o que compromete a detecção de possíveis efeitos dos tratamentos. Dessa forma, conclui-se que os tratamentos não tiveram impacto significativo sobre o diâmetro dos colmos.

Todos os resultados estatísticos obtidos por meio das biometrias não destrutivas tiveram praticamente a mesma conclusão, onde todos os resultados não tiveram significância e o coeficiente de variação quase sempre alto.

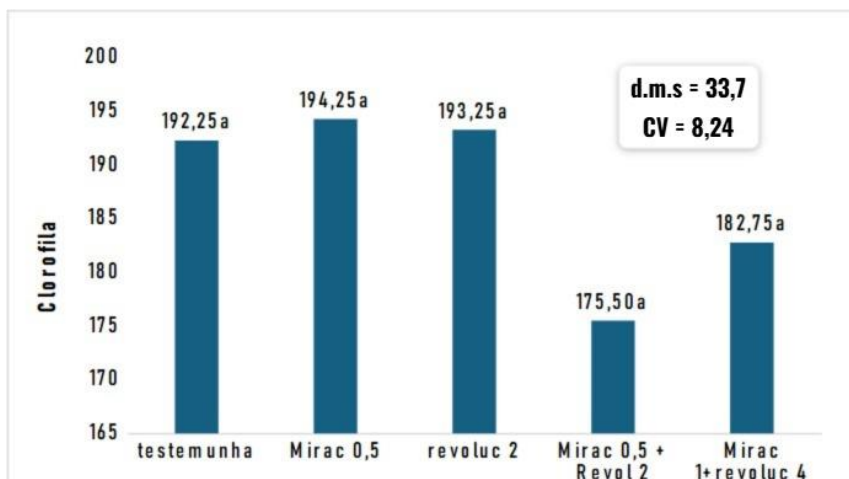
5.2 Parâmetros fisiológicos

Tabela 5. Valores médios do teor de clorofila (mg m^{-2}) avaliados 80 dias após a instalação do projeto. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tratamentos	Índice de clorofila
testemunha	192,25 a
Mirac 0,5	194,25 a
revoluc 2	193,25 a
Mirac 0,5 + Revoluc 2	175,5 a
Mirac 1 + revoluc 4	182,75 a
DMS	33,7
CV (%)	8,24

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9. Comparação dos valores médios do teor de clorofila (mg m^{-2}) das plantas de cada tratamento.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados apresentados refletem as médias do índice de clorofila em diferentes tratamentos aplicados durante o experimento e não houve resultados significativos. A testemunha, sem aplicação de produtos, apresentou um índice de clorofila médio de 192,25. O tratamento com Mirac 0,5 registrou um valor ligeiramente maior (194,25), enquanto o uso de Revoluc 2 resultou em 193,25. A combinação de Mirac 0,5 + Revoluc 2 teve um índice mais baixo de 175,5, indicando um possível efeito negativo na clorofila quando usados conjuntamente em menores dosagens. O tratamento com doses mais altas, Mirac 1 + Revoluc 4, apresentou um índice de 182,75, ainda abaixo dos tratamentos individuais, mas superior à combinação anterior.

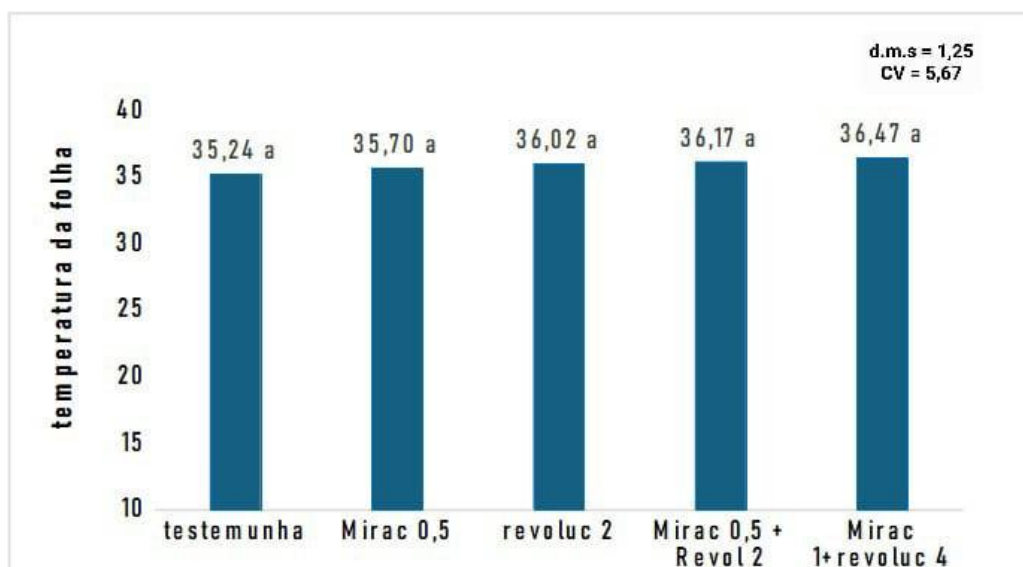
A clorofila é um pigmento essencial para a conversão da luz em energia química durante a fotossíntese, gerando ATP e NADPH. Elas estão diretamente relacionadas à eficiência fotossintética das plantas, influenciando seu crescimento e adaptação a diferentes ambientes. Plantas com maior eficiência fotossintética tendem a se adaptar melhor a condições de estresse, como variações de temperatura e falta de água (GUARDA e CAMPOS, 2014).

Tabela 6. Valores médios da temperatura da folha (°C) avaliados 80 dias após a instalação do projeto. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tratamentos	Tleaf
testemunha	35,24 a
Mirac 0,5	35,7 a
revoluc 2	36,02 a
Mirac 0,5 + Revol 2	36,17 a
Mirac 1+revoluc 4	36,47 a
DMS	1,25
CV (%)	5,67

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 10. Comparação dos valores médios da Temperatura da folha (°C) das plantas de cada tratamento.



Fonte: Elaborado pelo autor

A análise estatística dos dados de temperatura foliar (Tleaf) mostra que, embora os tratamentos com Mirac e Revoluc tenham resultado em médias ligeiramente superiores à da testemunha, variando de 35,7°C a 36,47°C, essas diferenças não foram estatisticamente significativas. Com uma diferença Mínima Significativa (DMS) de 1,25, as variações entre as médias dos tratamentos não ultrapassaram esse valor mínimo, indicando que não houve diferença significativa

entre eles. O Coeficiente de Variação (CV) de 5,67% sugere uma variação moderada e boa consistência nos dados, reforçando a confiabilidade das medições. Assim, embora os tratamentos possam ter apresentado um aumento na temperatura das folhas, as mudanças observadas não foram suficientemente grandes para serem consideradas significativas.

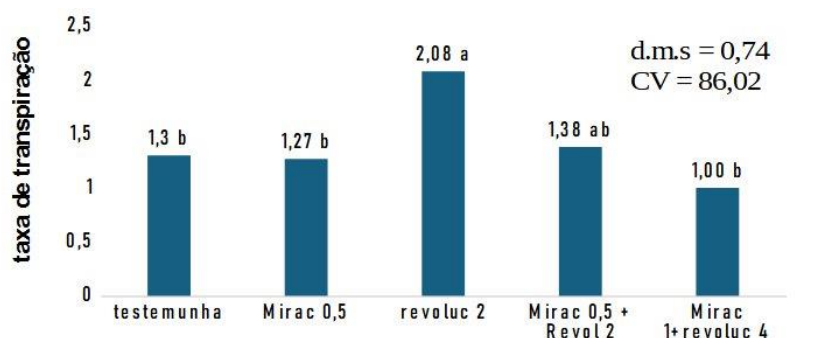
Ao longo do perfil vertical de um dossel, ocorrem grandes variações de temperatura e luminosidade, além de diferenças na idade fisiológica das folhas. Esses fatores resultam em diferentes potenciais fotossintéticos entre as folhas, com as superiores geralmente tendo maior capacidade fotossintética devido à maior exposição à luz e melhores condições ambientais (LOOMIS; WILLIAMS, 1969).

Tabela 7. Valores médios da Taxa de transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) avaliados 80 dias após a instalação do projeto. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tratamentos	Taxa de transpiração
testemunha	1,3 b
Mirac 0,5	1,27 b
revoluc 2	2,08 a
Mirac 0,5 + Revol 2	1,38 ab
Mirac 1+revoluc 4	1 b
DMS	0,74
CV (%)	86,02

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11. Comparação dos valores médios da taxa de transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) das plantas de cada tratamento.



Fonte: Elaborado pelo autor

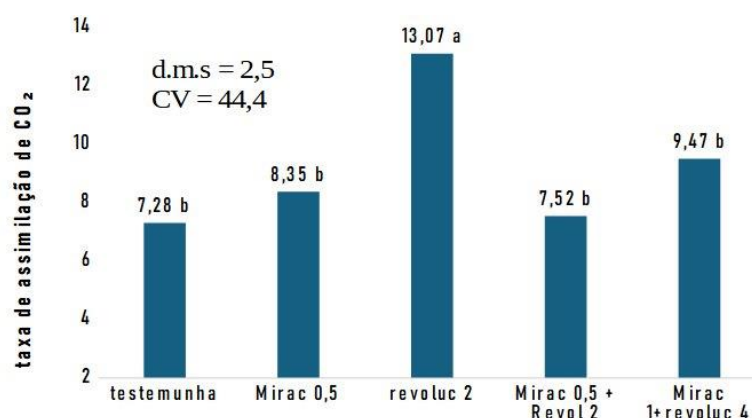
A análise estatística dos resultados referentes à taxa de transpiração das plantas sob diferentes tratamentos indica diferenças entre as médias. A testemunha apresentou uma média de 1,3, similar à do tratamento com Mirac 0,5 (1,27) e Mirac 1 + Revoluc 4 (1), todos classificados na mesma categoria estatística (letra "b"). O tratamento com Revoluc 2 destacou-se com uma média de 2,08, sendo estatisticamente superior (letra "a"). O tratamento combinado Mirac 0,5 + Revoluc 2 apresentou uma média intermediária de 1,38 (categoria "ab"). Com uma Diferença Mínima Significativa (DMS) de 0,74 o Coeficiente de Variação (CV) foi elevado, em 86,02%, indicando uma alta variabilidade nos dados e sugerindo a possibilidade de condições experimentais heterogêneas ou respostas diferenciadas das plantas aos tratamentos. Apesar do aumento significativo na taxa de transpiração com Revoluc 2, os demais tratamentos não diferiram estatisticamente da testemunha.

Tabela 8. Valores médios da taxa de assimilação de CO₂ avaliados 80 dias após a instalação do projeto. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tratamentos	taxa de assimilação de CO ₂
testemunha	7,28 b
Mirac 0,5	8,35 b
revoluc 2	13,07 a
Mirac 0,5 + Revol 2	7,52 b
Mirac 1+revoluc 4	9,47 b
DMS	2,5
CV (%)	44,4

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 12. Comparação dos valores médios da taxa de assimilação de CO₂ das plantas de cada tratamento.



Fonte: Elaborado pelo autor

A taxa de assimilação líquida de carbono é determinada pelas características bioquímicas, fisiológicas e morfológicas do sistema fotossintético (DE LUCIA et al., 2003). Essas características variam de acordo com as condições ambientais predominantes durante o crescimento, como irradiância, temperatura, níveis de CO₂ e suprimento de água e nutrientes (MOHOTTI; LAWLOR, 2012).

No experimento, de acordo com o teste de tukey, houve efeitos significativos na taxa de assimilação de CO₂. O tratamento com Revoluc 2 foi o único que apresentou uma diferença estatisticamente significativa em relação aos outros

tratamentos e à testemunha, com uma média de 13,07, classificada no grupo "a". Todos os outros tratamentos, incluindo a testemunha, Mirac 0,5, Mirac 0,5 + Revoluc 2 e Mirac 1 + Revoluc 4, tiveram médias similares e não apresentaram diferenças significativas, ficando no mesmo grupo estatístico (letra "b"). A Diferença Mínima Significativa (DMS) de 2,5 confirma que apenas as diferenças entre as médias superiores a esse valor são significativas. Como a diferença entre Revoluc 2 e os outros tratamentos ultrapassou esse limiar, podemos concluir que Revoluc 2 teve um efeito positivo significativo na taxa de assimilação de CO₂.

Tabela 9. Valores médios da matéria seca (g vaso⁻¹) avaliados 80 dias após a instalação do projeto. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Matéria seca			
Tratamentos	Raíz	caule	folhas
testemunha	43,37 a	218,18 a	44,36 a
Mirac 0,5	59,32 a	253,71 a	45,92 a
revoluc 2	61,67 a	333,95 a	51,68 a
Mirac 0,5 + Revol 2	47,26 a	216 a	37,55 a
Mirac 1+revoluc 4	37,63 a	239,92 a	47,29 a
DMS	59,56	193,37	36,23
CV (%)	54,72	35,09	36,58

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13. Comparação dos valores médios do peso da matéria seca (g vaso⁻¹) das plantas de cada tratamento.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os tratamentos não afetaram significativamente a matéria seca dos componentes analisados. Todos os tratamentos apresentaram médias similares, sem diferenças estatisticamente significativas, conforme indicado pelo teste de Tukey. A testemunha e os tratamentos com diferentes doses de Mirac e Revoluc tiveram valores de matéria seca que não se diferenciaram estatisticamente, apesar de algumas variações numéricas. Os Coeficientes de Variação (CV) altos sugerem

uma grande variabilidade nos dados. Os tratamentos com Mirac 0,5 e Revoluc 2 apresentaram alguns aumentos nos valores médios, com destaque para Revoluc 2, que alcançou 61,67 g na raiz, 333,95 g no caule e 51,68 g nas folhas. No entanto, todos os tratamentos foram classificados no mesmo grupo estatístico (letra "a").

Para obter uma maior produtividade, é essencial maximizar a produção de matéria seca na área cultivada, pois isso contribui para um aumento na produção total e no acúmulo de sacarose nos colmos (CÂMARA, 1993).

6 CONCLUSÃO

A taxa de assimilação de CO_2 e a taxa de transpiração apresentaram diferença significativa em função dos tratamentos aplicados, com destaque no tratamento 3 que utilizou Revoluc à 2ml. As demais variáveis não apresentaram resultados significativos.

REFERÊNCIAS

AGROLINK. **Fertilizantes aplicados via foliar.** Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/pastagens/informacoes-da-cultura/nutricao/fertilizantes-aplicados-via-foliar_437533.html>. Acesso em: 18 nov. 2024.

ALENCAR, M. S. M. **Modelo de prospecção de tecnologias portadoras de futuro aplicado a nanotecnologia.** 2008. 193 f. Tese (Doutorado em Ciências) Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

A nanotecnologia na agricultura: fertilizantes. Disponível em: <https://anovaagricultura.com.br/a-nanotecnologia-na-agricultura-fertilizantes/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

BEZERRA, Janieire; FERREIRA, Geane; OLIVEIRA, Mauro; CAMPOS, José; ANDRADE, Albericio; NASCIMENTO, José. **CANA-DE-AÇÚCAR: MELHORAMENTO GENÉTICO E SUAS FINALIDADES FORRAGEIRAS.** Nucleus Animalium, v.10, n.2, p.131-147, nov. 2018.

BOARETTO, L.F. **Análise do transcrito e proteoma do colmo de cana-de-açúcar relacionada ao metabolismo da sacarose.** 2012. 177p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de plantas) -Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

CÂMARA, G.M.S. **Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar.** In: CÂMARA, G. M. S. Produção da cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, 1993. p. 31-64.

Cana-de-açúcar: uma cultura de sucesso para a economia brasileira. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/conceitos/cana-de-acucar-uma-cultura-de-sucesso-para-a-economia-brasileira/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

DASGUPTA, N.; RANJAN, S.; LICHTFOUSE, E. (Eds.). **Environmental nanotechnology** volume 4. 1. ed. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2020.

DE LUCIA, E.H.; WHITEHEAD, D.; CLEARWATER, M.J. **The relative limitation of photosynthesis by mesophyll conductance in co-occurring species in a temperate rainforest dominated by the conifer *Dacrydium cupressinum*.** Functional Plant Biology, 30, 2003. p. 1197-1204.

Documento sem título. Disponível em: http://www.biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/pag/v5_1/dagostini.html. Acesso em: 17 nov. 2024.

FRANZONI, M. **5 pragas agrícolas resistentes a defensivos agrícolas e como combatê-las.** Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/pragas-agricolas/>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

GEROMEL, M.E.; PEREIRA, C. E.; KIKUTI, A.L.P.; KIKUTI, H.; SILVA, J.R. **Adubos de liberação lenta em cana-de-açúcar.** Scientia Plena. v.15, n.6. 2019. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.060201>.

GRANZIERA, L. S; ASSIS, O. B. G; BRUMATTI, C. R; JESUS, K. R. E. **NANOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA: PROSPECÇÃO DOS INDICADORES DE IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS. CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 6., 2012, Jaguariúna. [Anais...] Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. 1 CD ROM. Nº 12408.

GUARDA, Vitor; CAMPOS, Leonardo. **Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem**. 1. ed. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014. 52 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1008387/1/CNPASA2014DOC7.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

JAIME. **QBN demonstra produtos de nanotecnologia em Dia de Campo em Paranavaí**. Disponível em: <<https://folhaagricola.com.br/2024/10/22/qbn-demonstra-produtos-de-nanotecnologia-em-dia-de-campo-em-paranavai/>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

JIANG, M. et al. **Phytonanotechnology applications in modern agriculture**. Journal of nanobiotechnology, v. 19, n. 1, p. 430, 2021.

LIU, Ruiqiang; LAL, Rattan. **Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions**. The Science of the Total Environment, [s. l.], v. 514, p. 131-139, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969715001266?via%3Diuhub>. Acesso em: 5 nov. 2024.

LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. **Productivity and the morphology of crop stands: patterns with leaves**. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y.; VAN BAVEL, C.H.M. (Ed). Physiological aspects of crop yield. Madison: ASA/CSSA/SSA, 1969. p. 27-47.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. **Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 2, p. 232–239, fev. 2013.

MOHOTTI, A.J.; LAWLOR, D.W. **Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field**. Journal of Experimental Botany, 53, 2012. p. 313-322.

RAMOS, Sérgio. **DESENVOLVIMENTO INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR (Saccharum officinarum), EM FUNÇÃO DE DOSES E ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE ZINCO NANOPARTICULADO**. Projeto de pesquisa. Dracena, SP, 2022.

REETZ, Harold. **Fertilizantes e seu Uso Eficiente**. 1. ed. Paris, França: International Fertilizer Industry Association, 2016. 178 p. ISBN 979-10-92366-04-4.

ROCO, M.C.; MIRKIN, C.A.; HERSAM, M.C. **Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: summary of international study**. Journal of Nanoparticle Research, v.13, p.897 – 919, 2011.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, Instituto de Biociências, 1995. 100 p.

RODRIGUES, Roberto. **NANOTECNOLOGIA**. A granja, junho de 2010.

SPADOTTO, Cláudio; GOMES, Marco. **Perdas de nutrientes**. Embrapa, 22 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/residuos/perdas-de-nutrientes>. Acesso em: 11 nov. 2024.

THOMAS, A.L. **Desenvolvimento das plantas de batata, mandioca, fumo e cana-de-açúcar**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. 76p.