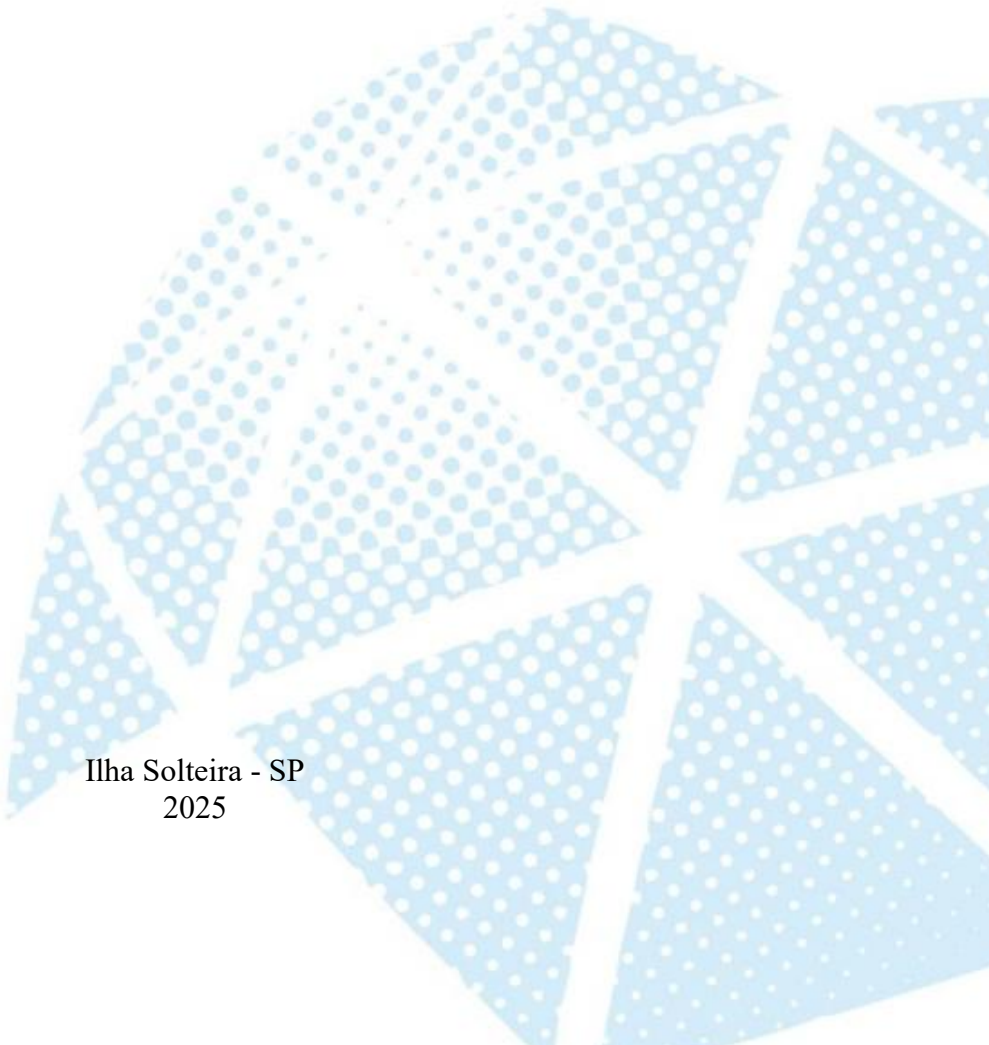


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira**

**ADUBAÇÃO MINERAL COM FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA
APRIMORADA: INFLUÊNCIA NA NUTRIÇÃO, PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-SOCA CULTIVADA EM SOLOS DE
TEXTURA ARENOSA**

MATHEUS FENELON FREITAS

Ilha Solteira - SP
2025



MATHEUS FENELON FREITAS

**ADUBAÇÃO MINERAL COM FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA
APRIMORADA: INFLUÊNCIA NA NUTRIÇÃO, PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-SOCA CULTIVADA EM SOLOS DE
TEXTURA ARENOSA**

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Guilherme Carlos Fernandes

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de
Engenharia, Ilha Solteira, como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Ilha Solteira - SP
2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F866a Freitas, Matheus Fenelon.
Adubação mineral com fertilizantes de eficiência aprimorada: influência na nutrição, produtividade e qualidade tecnológica da cana-soca cultivada em solos de textura arenosa / Matheus Fenelon Freitas. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
54 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Coorientador: Guilherme Carlos Fernandes
Inclui bibliografia

1. Saccharum spp. (L.). 2. Cana-de-açúcar. 3. CTC4. 4. RB985476.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Adubação mineral com fertilizantes de eficiência aprimorada: influência na nutrição, produtividade e qualidade tecnológica da cana-soca em solos de textura arenosa

ALUNO: *Matheus Fenelon Freitas* RA: *201051052*

ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: *9,5*

Comissão Examinadora:

Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)

Angélica Cristina Fernandes Deus

Profa. Dra. Angélica Cristina Fernandes Deus

Arshad Jalal

Dr. Arshad Jalal

Documento assinado digitalmente



MATHEUS FENELON FREITAS

Data: 23/06/2025 08:49:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Matheus Fenelon Freitas

Ilha Solteira, 16 de junho de 2025.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, “**Cassio Ferreira de Freitas e Selma Regina Fenelon Freitas**”, que me apoiaram e me deram suporte durante toda a minha vida, e tornaram possível a realização deste sonho de ser Engenheiro Agrônomo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço, a Deus que esteve todos os dias abençoando minha jornada e iluminando meus caminhos, por me fortalecer e não me desamparar nos momentos em que mais precisei, e por me conceder mais esta conquista importante.

Agradeço a minha mãe, Selma, e meu pai, Cassio, por nunca desacreditarem de minha capacidade e confiarem em mim, por abrirem mão de muito durante toda minha vida, em prol de meus estudos, por todo amor, carinho, respeito, educação concedidos a mim. À minha irmã Kelly, que cuidou de mim desde pequeno, com muito carinho, respeito e amor; a meu cunhado Péricles, que não mediu esforços para me ajudar quando precisei; a minha sobrinha Antonela, que me proporcionou senso de responsabilidade e cuidado. Meu coração se enche de gratidão por cada um de vocês.

À minha namorada, Inara, esteve ao meu lado em todos os momentos, sendo uma fonte constante de motivação e inspiração pela dedicação e determinação que a definem. Seu apoio constante, tanto nos dias felizes quanto nos desafios, me deu forças para seguir em frente nessa etapa tão importante.

Ao grande amigo Rafael, que me acompanhou desde o 4º ano do ensino fundamental, por todo apoio e incentivo.

Aos meus irmãos da República Litraço: Pedro, Matheus, Marcos, Vinícius, Lucas, Felipe, Aaron, Eduardo e Leonardo que me acompanharam durante grande parte da minha trajetória na universidade, por grandes momentos de felicidade. Aos meus amigos de curso pela amizade e apoio durante toda minha graduação: João Paulo, Vinicius, João Victor, Lucas, Tiago, Frederico e Gustavo. Em especial a Isabella Cattanio e Mileny Salles que estiveram comigo desde o início da graduação e tornaram a jornada mais leve.

Ao meu orientador e professor, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, pelo empenho e disponibilidade em me orientar, e pelos conhecimentos a mim repassados.

Ao Grupo PENPILHA, minha gratidão por me proporcionar experiências valiosas que fortaleceram minha responsabilidade e minha capacidade de trabalhar em equipe, contribuindo significativamente para meu crescimento pessoal e profissional.

À banca examinadora, minha sincera gratidão por dedicarem seu tempo e conhecimento na avaliação deste trabalho, enriquecendo minha jornada acadêmica e profissional com suas contribuições.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu mais sincero agradecimento pelo apoio e dedicação.

“Eu acredito demais na sorte. E tenho constatado que,
quanto mais duro eu trabalho, mais sorte eu tenho.”

(Coleman Cox)

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.* (L.)) é essencial para a economia brasileira e mundial, sendo indispensável na produção de açúcar e biocombustíveis, como o etanol. O Brasil, maior produtor global da cultura, destaca-se nesse setor, embora a produtividade da cana possa ser impactada por diversos fatores, sendo o uso ineficiente de fertilizantes um dos principais, que se dá principalmente pelas características do solo e da fonte de adubo. Nessas condições, perdas de nutrientes por volatilização, lixiviação ou fixação no solo são comuns, reduzindo a eficiência da adubação convencional. A adoção de fertilizantes de eficiência aprimorada, que liberam nutrientes de forma mais gradual e equilibrada, surge como uma alternativa promissora para mitigar essas perdas e promover uma nutrição mais eficaz da planta. Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo comparar a adubação convencional adotada pela usina com diferentes tratamentos utilizando fertilizantes enriquecidos com potássio (K), magnésio (Mg), enxofre (S) e boro (B), na primeira cana-soca cultivada em solos de textura arenosa com baixos teores de potássio disponível. Os experimentos foram conduzidos em duas áreas da usina, sendo uma em Pirajuí-SP utilizando a variedade CTC4 e outra em Guaíçara-SP, sendo utilizada a variedade RB985476, em blocos ao acaso, com 7 tratamentos: ((T1: 30-15-00 + B + Molibdênio (Mo) + Zinco (Zn)); (T2 : 30-15-00 + B + Mo + Zn + KCl); (T3: 30-15-00 + B + Mo + Zn + Aspire®); (T4: Excellen® + Sulfato de amônio + Microessentials® + KCl + MIB); (T5: Excellen® + Sulfato de amônio + Microessentials® + KCl (19,60 kg ha⁻¹) + K-MAG®(20,40 kg ha⁻¹) + MIB (7,20 kg ha⁻¹); (T6: Excellen® + Sulfato de amônio + Microessentials® + KCl (12,53 kg ha⁻¹) + K-MAG®(40,80 kg ha⁻¹) + MIB (7,20 kg ha⁻¹); (T7: Excellen® + Sulfato de amônio + Microessentials® + K-MAG® + MIB)) e 5 repetições para ambos os experimentos. As variáveis avaliadas incluíram: altura de planta, número de colmos total e industrializáveis, diâmetro de colmo, número de internódios, produtividade de colmos (TCH), produtividade de açúcar (TAH), produtividade de palhada, além de parâmetros de qualidade tecnológica como fibra, pureza, Brix, Pol da cana e ATR. Também foram realizadas análises de macro e micronutrientes na folha diagnose e análise química do solo após a colheita. Os dados coletados foram submetidos a análise estatística de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade, por fim sendo processadas utilizando o programa SISVAR. Os resultados demonstraram que o tratamento T6 (53% K-MAG® e 47% KCl), promoveu um fornecimento mais equilibrado de nutrientes, refletindo em maior produtividade e qualidade tecnológica da cana-soca em latossolo e na variedade RB985476. Além disso, o tratamento T7, composto pela mistura K-MAG® + Aspire®, mostrou-se uma alternativa viável à substituição total do KCl, com resultados agrônômicos satisfatórios e potencial para maior sustentabilidade nutricional em Argissolo e na variedade CTC4.

Palavras-chave: *Saccharum spp.* (L.); cana-de-açúcar; CTC4; RB985476.

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum spp. (L.)*) is an essential crop for the Brazilian and world economies, being indispensable in the production of sugar and biofuels such as ethanol. Brazil, the largest global producer of the crop, excels in this sector, although sugarcane productivity can be impacted by several factors, one of the main ones being the inefficient use of fertilizers, which is mainly due to the characteristics of the soil and the source of fertilizer. Under these conditions, nutrient losses through volatilization, leaching or fixation in the soil are common, reducing the efficiency of conventional fertilization. The adoption of improved efficiency fertilizers, which release nutrients in a more gradual and balanced manner, emerges as a promising alternative to mitigate these losses and promote more effective plant nutrition. In this context, the present study aimed to compare the conventional fertilization adopted by the plant with different treatments using fertilizers enriched with potassium (K), magnesium (Mg), sulfur (S) and boron (B), in the first ratoon sugarcane cultivated in sandy textured soils with low levels of available potassium. The experiment was conducted in two areas of the mill, one in Pirajuí-SP using the CTC4 variety and the other in Guaiçara-SP using the RB985476 variety, in randomized blocks, with 7 treatments: ((T1: 30-15-00 + B + Molybdenum (Mo) + Zinc (Zn)); (T2 : 30-15-00 + B + Mo + Zn + KCl); (T3: 30-15-00 + B + Mo + Zn + Aspire®); (T4: Excellen® + Ammonium sulfate + Microessentials® + KCl + MIB); (T5: Excellen® + Ammonium sulfate + Microessentials® + KCl (19.60 kg ha⁻¹) + K-MAG®(20.40 kg ha⁻¹) + MIB (7.20 kg ha⁻¹); (T6: Excellen® + Ammonium sulfate + Microessentials® + KCl (12.53 kg ha⁻¹) + K-MAG®(40.80 kg ha⁻¹) kg ha⁻¹) + MIB (7.20 kg ha⁻¹); (T7: Excellen® + Ammonium sulfate + Microessentials® ++ K-MAG® + MIB)). and 5 replicates for both experiments, and the following were evaluated: plant height, number of stalks and number of industrializable stalks, stalk diameter, number of internodes, TCH, straw productivity, fiber, juice purity, sugarcane pol, brix, ATR, TAH, leaf nutrients, diagnosis, chemical analysis of the soil.. The data collected was submitted to statistical analysis of variance and Tukey's test at 5% probability, and finally processed using the SISVAR program. The T6 treatment (53% K-MAG and 47% KCl) resulted in an increase in productivity and quality, as well as balanced sugarcane fertilization. In addition, the results indicate that totally replacing KCl with other sources is viable, with the K-MAG + Aspire mixture (T7) standing out as a promising option.

Keywords: *Saccharum spp. (L.)*; ratoon cane; fertilization; CTC4; RB985476.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante a condução do experimento em Guaiçara-SP.....17
- Figura 2** – Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante a condução do experimento em Pirajuí-SP.....18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química inicial do solo nas áreas experimentais antes da aplicação dos tratamentos, Guaiçara-SP e Pirajuí-SP, 2022.....	17
Tabela 2 - Tratamentos dos experimentos de 1ª cana-soca das cultivares RB985476 e CTC4, localizados em Guaiçara-SP e Pirajuí-SP, respectivamente.....	19
Tabela 3 - Altura de planta (ALT), número de colmos (NC) e número de colmos industrializáveis (NCI) da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.....	23
Tabela 4 - Diâmetro de colmo (DC), número de internódios (NI), produtividade de tonelada de cana por hectare (TCH) e produtividade de palhada (PP) da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.....	24
Tabela 5 - Fibra, pureza do caldo, Pol da cana (PC), Brix, açúcar total recuperável (ATR) da cana e a tonelada de açúcar por hectare (TAH) cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.....	25
Tabela 6 - Concentração de nutrientes na folha diagnose da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.....	26
Tabela 7 - Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.....	28
Tabela 8 - Acúmulo de nutrientes no colmo da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.....	30
Tabela 9 - Acúmulo de nutrientes na parte aérea total (palhada + colmo) da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.....	31
Tabela 10 -. Análise química do solo após o cultivo da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.....	32
Tabela 11 -.. Altura de planta (ALT), número de colmos (NC) e número de colmos industrializáveis (NCI) da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.....	33

Tabela 12 - Diâmetro de colmo (DC), número de internódios (NI), tonelada de cana por hectare (TCH) e produtividade de palhada (PP) da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.....	34
Tabela 13 - Fibra, pureza do caldo, Pol da cana (PC), Brix, açúcar total recuperável (ATR) da cana e a tonelada de açúcar por hectare (TAH) cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.....	35
Tabela 14 - Concentração de nutrientes na folha diagnose da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.....	36
Tabela 15 - Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.....	38
Tabela 16 - Acúmulo de nutrientes no colmo da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.....	39
Tabela 17 - Acúmulo de nutrientes na parte aérea total (colmo + palhada) da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.....	40
Tabela 18 - Análise química do solo após o cultivo da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.....	42
Tabela 19 - Contrastes de interesse para a tonelada de cana por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR) da cana e a tonelada de açúcar por hectare (TAH) da cana-de-açúcar, considerando os dados médios de duas variedades (RB985476 e CTC4, Guaiçara/SP e Pirajuí/SP, respectivamente) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP e Pirajuí/SP, 2023.....	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1. A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.....	11
2.2. ASPECTOS NUTRICIONAIS DA CULTURA	12
2.3. SOLOS ARENOSOS E EXCESSO DE FERTILIZAÇÃO	13
2.4. FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA APRIMORADA (FEA)	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS	16
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	18
3.3. CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	20
3.4. AVALIAÇÕES.....	20
3.4.1. Análise nutricional e massa seca	21
3.4.2. Análises biométricas e de produtividade de colmo da cana-de-açúcar	20
3.4.3. Indicadores da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar	21
3.4.4. Análise química do solo.....	22
3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. LOCALIDADE: GUAÍÇARA/SP (VARIEDADE: RB985476)	22
4.2. LOCALIDADE: PIRAJUÍ /SP (VARIEDADE: CTC4).....	33
4.3. MÉDIA DAS DUAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR (APLICAÇÃO DO TESTE DE TUKEY E SCHEFFÉ).....	42
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

No cenário agrícola nacional, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp. (L.)*) se destaca como uma das culturas de maior relevância devido à sua diversidade de uso, servindo como matéria-prima para a produção de açúcar e etanol, bem como para a produção de energia (Rosa *et al.*, 2022). O mundo tem buscado alternativas limpas e renováveis para fornecer novos materiais e energia e, conseqüentemente, reduzir a dependência de combustíveis fósseis derivados do petróleo. Assim a cultura tornou-se uma das matéria-prima mais importantes como solução para essa demanda, em função do elevado potencial produtivo, superando 100 t ha⁻¹, além do potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), uma das maiores problemáticas no que se refere à sustentabilidade agrícola mundial (Vandenberghe *et al.*, 2022).

A produção de cana-de-açúcar do país na safra 2023/24 foi de aproximadamente 713,2 milhões de toneladas, cultivadas em cerca de 8,33 milhões de hectares e produtividade média de 85,5 toneladas de colmo ha⁻¹ (TCH). No Sudeste, região que concentra a maior produção de cana-de-açúcar, houve aumento no volume colhido em 21%, quando comparada à safra anterior, totalizando 469 milhões de toneladas, sendo o estado de São Paulo responsável por mais da metade da produção nacional com 383,4 milhões de toneladas em uma área de 4,2 milhões de hectares, o que lhe garantiu o título de maior produtor nacional (CONAB, 2023). O aumento na demanda mundial por etanol estimulou a expansão da cultura, o que consolidou o Brasil como maior produtor mundial da cultura, superando países como Índia e China (Vandenberghe *et al.*, 2022).

Solos tropicais, como do Brasil, são muito intemperizados e, conseqüentemente, de baixa fertilidade natural. Assim, a aplicação de nutrientes no solo pela prática adubação é de grande importância para a produtividade das culturas. Sendo que na região Centro-Sul do país, o gasto com fertilizantes representou cerca de 56% dentro do custo com insumos no processo produtivo da cana (CNA, 2022). Nesse sentido, a adubação da cultura assume grande parte dos custos de produção.

Em termos da quantidade total de nutrientes aplicada pela adubação, parte é perdida em função das características do solo e da fonte de adubo. De acordo com Lara Cabezas *et al.* (1997) até 78% do nitrogênio (N) aplicado na superfície do solo, quando se utiliza a ureia como fonte, pode ser perdido por volatilização da amônia. Para o fósforo (P) a maioria das culturas recupera somente 10 a 30% do P dos fertilizantes durante o

primeiro ano após a aplicação, sendo o processo de fixação o principal mecanismo de perda de P, pois torna-se indisponível para as plantas (IPNI, 1998). Segundo Raij (1991) em solos bem drenados (arenosos), as quantidades de potássio (K) lixiviadas são relativamente maiores. Sendo assim, nos manuais de adubação, recomenda-se o parcelamento de para minimizar perdas por lixiviação, principalmente em solos arenosos (Raij *et al.*, 1996).

Uma forma de minimizar as perdas de nutrientes é pelo manejo correto da adubação. De acordo com Casarin e Stipp (2013) compete ao setor agrícola garantir que as práticas de adubação sejam efetuadas de forma responsável e eficiente, ou seja, pela aplicação da fonte certa, na quantidade certa, na época certa e no local certo “Manejo 4C” é o fundamento das Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes, sendo necessárias para o manejo sustentável da nutrição das plantas e para o aumento da produtividade das culturas.

O uso excessivo e equivocado de fertilizantes minerais tem afetado negativamente a qualidade da água e do solo em todo o mundo (Kopittke *et al.*, 2019). Além disso, altas doses de adubos quando não eficientes irão causar menor lucro ao agricultor. Portanto, o manejo da adubação deve respeitar os 4C para ser eficiente e mais sustentável. Dessa forma, o agricultor poderá ter maior lucro, o manejo será socialmente mais justo e o meio ambiente será menos poluído.

Uma forma de reduzir as perdas é pela utilização de fertilizantes de eficiência aprimorada onde a liberação dos nutrientes ocorre durante todo o ciclo da lavoura, próximo da marcha de absorção dos nutrientes pela cultura, reduzindo as perdas por lixiviação e volatilização da ureia (Fiuza Júnior *et al.*, 2013). Tal tecnológica atende aos anseios da sociedade moderna que busca por um modelo de desenvolvimento sustentável com a utilização de recursos que propiciam menor poluição e impactos ao meio ambiente. Nesse sentido, vai de encontro ao ODS2 (Fome zero e agricultura sustentável) da Meta 2.4 “...Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas...” (ONU, 2022).

Neste cenário, principalmente em solos arenosos, que apresentam baixo teor de matéria orgânica e CTC é muito importante o manejo de fertilizantes. O fornecimento de magnésio (Mg) e enxofre (S) e micronutrientes, principalmente B no mesmo grânulo de fertilizantes NPK (formulações) também é importante para garantir uma aplicação mais homogênea e eficiente na área e, conseqüentemente, nutrir de forma mais eficaz a cana-

soca.

Nesse contexto, os experimentos com cana-soca, os objetivos foram avaliar e comparar o manejo da adubação com os fertilizantes da Mosaic (com complemento dos nutrientes Mg, S e B) com o manejo da adubação mineral tradicional que é adotado pela Usina Lins, na nutrição, desenvolvimento, produtividade e qualidade tecnológica da cana-soca cultivada em solo arenoso e com baixo teor de potássio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da cana-de-açúcar no Brasil

É difícil saber com certeza a origem da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), entretanto a teoria que mais faz sentido é que a cultura seja originária dos Arquipélagos da Polinésia. Os árabes foram os precursores da cultura canavieira, onde era usada como matéria prima para o açúcar como condimento e medicamentos, predominantemente em regiões do norte da África e Europa. Já nas Américas, a cana-de-açúcar se adaptou rápido ao clima, solo e fatores agrícolas que favoreciam o estabelecimento da cultura, que foi trazida por Colombo em São Domingo e mais tarde para o restante das Américas (SILVA; SILVA, 2012). A consolidação da cultura no território nacional ocorreu no séc. XVI, onde havia necessidade de colonizar as terras e explorar os recursos naturais, ainda mais pelo país conferir características favoráveis para o seu desenvolvimento. A produção de açúcar mostrava ser um investimento ótimo para os portugueses graças ao grande destaque no comércio europeu e o consumo em ascensão.

Segundo Rodrigues (2015) juntamente a Proclamação da República em 1889, o açúcar estava em terceiro lugar nas exportações brasileiras, que logo caiu para sexto lugar em 1910, entretanto, em 1933 foi criado o Instituto do Açúcar e Alcool (IAA) que tornou o setor canavieiro ativo novamente, com o processo se intensificando com a criação do Proálcool, na década de 1970, onde nesse período as lavouras de cana-de-açúcar cresceram de forma exponencial, graças ao incentivo do governo. O êxito de programas de incentivo à produção de açúcar e álcool, juntamente com a evolução originária da pesquisa agrícola e industrial, fizeram com que o Brasil tivesse capacidade para competir no mercado externo, o que fez com que o país ocupasse lugar entre os maiores produtores mundiais, posto que o território possui condições perfeitas para o cultivo, além da garantia de um baixo custo de produção quando comparado aos concorrentes (VIAN, 2022).

Um papel fundamental recai sobre a cana-de-açúcar quando o setor discutido é a

economia brasileira, já que o país além de maior produtor, é também o maior exportador mundial, segundo dados da USDA (2023), no cenário atual, devido à sua grande versatilidade de utilização, tem se destacado como uma das culturas mais relevantes, podendo ser destinada como matéria-prima na indústria sucroenergética para a produção de açúcar e etanol, de energia por meio da cogeração de eletricidade, bem como pela produção de subprodutos como o bagaço de cana, o melaço, e a cachaça (Rosa *et al.*, 2022). Além de que, o cultivo da cana tem grande vantagem quando a ligamos à sustentabilidade, já que quando destinada a produção de etanol é possível reutilizar grande parte de seus subprodutos como a vinhaça para a fertilização e o bagaço para a alimentação animal.

De forma complementar, segundo Scharlemann e Laurance (2008) a conversão energética de açúcar para etanol é considerada uma das mais eficientes. Com a crescente demanda por fontes de energia limpa, a cana-de-açúcar é uma opção que favorece a tendência. Com as políticas promovidas pelo RenovaBio, a expectativa é de que estimulem ainda mais o setor por meio da busca de uma produção eficiente e sustentável. A certificação de 89% das usinas em 2021 foi um dos resultados obtidos pelo programa (Rossetto *et al.* 2022).

No Brasil, a produção de cana-de-açúcar na safra 2023/24 foi de aproximadamente 713 milhões de toneladas, que por sua vez foram cultivadas em cerca de 8,3 milhões de hectares, tendo uma produtividade média de 85,5 toneladas de colmo por hectares (TCH). A região que mais se destacou foi a Centro-Sul, produzindo aproximadamente 552 milhões de toneladas, o estado de São Paulo recebeu o título de maior produtor nacional de cana-de-açúcar, sendo responsável por mais da metade da produção nacional (383,4 milhões de toneladas) em uma área de 4,2 milhões de hectares (CONAB, 2024). Diante da relevância econômica da cultura e do expressivo volume produzido, estratégias que visem o aumento da produtividade tornam-se essenciais. Entre elas, destaca-se a adubação.

2.2. Aspectos nutricionais da cultura

De acordo com Weber *et al.* (2001) adubação da cana-de-açúcar no Brasil é muito difundida e a fertilização da cultura pode incrementar até 53,9% na produtividade das lavouras de terceira soqueira e até 76,2% em quarta soqueira. Na mesma tendência, foi evidenciado por Darli e Cruz (2008) que a adubação aumenta a produtividade em até 43,5% em segundo corte e 67,2% em terceiro corte.

A cana-de-açúcar é uma cultura que exige grandes quantidades de nutrientes durante seus diferentes estágios fenológicos, sendo uma cultura semi-perene e com ciclo de um a um ano e meio, cerca de 125 toneladas de cana-de-açúcar por hectare, removem cerca de 83 kg de N, 37 kg de P_2O_5 e 168 kg de K_2O (CHOHAN *et al.*, 2013). Cavalcante *et al.*, (2015) sugere a aplicação de 108 kg de K_2O por hectare para uma colheita de 80 a 100 toneladas por hectare, para regiões de baixos teores de potássio. A exigência de potássio pode variar entre 130 a 170 kg por hectare de K, em solos tropicais os requerimentos são maiores, podendo ultrapassar a faixa de 180 kg por hectare (RAKKIYAPPAN, 2012).

Apesar da aplicação em quantidades enormes de fertilizantes fosfatados na cultura, o P é extraído em menor quantidade pela planta de acordo com a seguinte sequência: $K > N > Ca > Mg > S > P$ (PEREIRA, 2017). A adubação fosfatada da cana-de-açúcar é adotada como uma prática efetiva para incrementar a produtividade dos canaviais, especialmente em solos brasileiros (PENATTI, 2013). Como a absorção de fósforo ocorre mais ao final do ciclo da cultura, é recomendado que o P seja aplicado no sulco durante o plantio, em razão da sua baixa mobilidade no solo (PEREIRA, 2017).

A adubação nitrogenada tem um papel essencial no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, atuando diretamente na produção de biomassa e acúmulo de sacarose da cultura (Otto *et al.*, 2022). Estima-se que a extração de N na cana-soca varie entre 1-1,2 kg N por hectare para cada tonelada de colmos produzida, sendo aplicado no Brasil doses de N variando, em média, entre 60 a 100 kg N por hectare (SANCHES e OTTO, 2022). Apesar da importância da adubação nitrogenada para a maioria das culturas de interesse agrícola, parte do N-fertilizante aplicado é perdido para a atmosfera, principalmente na forma de amônia volatilizada (NH_3) ou óxido nitroso (N_2O) (Griffis *et al.*, 2017) e para os corpos d'água e lençol freático (Huang *et al.*, 2017). Essas perdas são ainda mais acentuadas em solos com baixa capacidade de retenção, como os solos arenosos, nos quais a movimentação da água facilita a migração dos nutrientes para camadas mais profundas.

2.3. Solos arenosos e excesso de fertilização

De acordo com, o *U.S. Department of Agriculture* (USDA, 2014) o solo é definido como um corpo natural, que por sua vez é composto de sólidos minerais e/ou orgânico, líquido e gases, que advém da superfície terrestre e são caracterizados por um ou dois fatores: I- horizontes ou camadas que possuem distinção com o material de origem; II- capacidade de apoiar plantas enraizadas em um ambiente natural. Os solos são

definidos como uma camada não consolidada centimétrica com material orgânico e/ou mineral de granulação fina, com ou sem presença de elementos grosseiros e porções cimentadas, o que deixa claro evidências de intemperismo químico para seu desenvolvimento (Certini e Ugolini, 2013).

Dentro do grande grupo de classificação de solos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, os principais tipos de solos utilizados para o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil são, os Latossolos, Nitossolos, Argissolos, Neossolos e Vertissolos (Demattê, 2004). Devido a necessidade de expansão de fronteiras agrícolas houve inserção do cultivo em solos arenosos (Donagemma *et al.*, 2016). Corrêa *et al.* (2016) evidencia a suscetibilidade ambiental dos solos arenosos, graças a elevada quantidade de frações de silte e areia fina, que condiciona a necessidade de um manejo adequado para evitar processos erosivos. A matéria orgânica desses solos diante de um manejo adequado, melhoram a concentração de carbono orgânico total. Entretanto, caso ocorra reduções, podem haver alterações na dinâmica do ácido fúlvico, indicando perda da fração solúvel, o que leva a mineralização e/ou lixiviação para a subsuperfície do solo (Caetano *et al.*, 2013).

De acordo com Pacheco e Cantalice (2011), a expansão da mecanização da cana-de-açúcar para solos arenosos tende a provocar processos de compactação do solo devido ao aumento de pressão imposto, quando associadas às condições de umidade favorável à degradação física. Essa compactação ocasiona restrições no desenvolvimento da planta, onde gera resistência mecânica a penetração das raízes. Em talhões essa compactação pode ultrapassar 15 cm de profundidade, provocando alterações na densidade, porosidade e macroporosidade em solos arenosos (Oliveira Filho *et al.*, 2015).

Nas lavouras de cana-de-açúcar, a adubação fosfatada é a que se destaca por ser a mais empregada, principalmente em solos arenosos com déficit de nutrientes, onde se tem a tendência de incorporar fertirrigação e técnicas de correção para maior obtenção de produtividade (Simões Neto *et al.*, 2012). Nesse sentido, a presença de concentrações irregulares de elementos químicos tóxicos torna o solo inadequado para cultivos, já que há interferência na absorção de nutrientes e atividade microbianas.

No estado de São Paulo, Conceição *et al.* (2013), evidencia ação antrópica no aumento de elementos de metais pesados como Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), e Zinco (Zn) em solos com plantio de cana, a partir da aplicação excessiva de fertilizantes NPK, ocasionando impactos terrestres e aquáticos. Alguns estudos apontam que com o alto uso dos fertilizantes fosfatados no Brasil, geram

risco de contaminação dos solos, devido a concentrações significativas de metais tóxicos (Silva *et al.*, 2019).

Na busca por uma maior eficiência da adubação na cultura da cana-de-açúcar visando práticas agrícolas mais sustentáveis, a utilização de fertilizantes com eficiência aprimorada vem se mostrando uma alternativa promissora.

2.4. Fertilizantes de Eficiência Aprimorada (FEA)

De acordo com Polidoro (2016), os fertilizantes de eficiência aprimorada possuem tecnologia incorporada que torna capaz controlar ou/e reduzir a liberação de nutrientes ou estabilizar as reações das fontes no solo, o que gera um aumento de disponibilidade para as plantas. Tais fertilizantes são em grande maioria formulados com compostos especiais, como aditivos, tratamentos químicos ou revestimentos, que melhoram a liberação controlada dos nutrientes no solo. Seu principal objetivo é reduzir as perdas tanto por lixiviação quanto volatilização, através da potencialização da absorção de nutrientes pela planta, o que resulta em uma aplicação mais eficiente e um aproveitamento melhor dos fertilizantes, além dos benefícios ambientais, fisiológicos e econômicos (Guelfi, 2017; Borelli, 2020), já que devido as suas características as quantidades aplicadas podem ser reduzidas drasticamente, graças a isso, há a possibilidade de eliminar aplicações parceladas, o que reduz os custos com mão de obra e combustível.

Também segundo Borelli (2020), pode se destacar efeitos positivos para as culturas como, a redução de estresse e toxicidade devido ao excesso de nutrientes, um aumento significativo da disponibilidade desses nutrientes, o fornecimento correto das formas iônicas que são melhores associadas pelas plantas e o aumento de efeitos sinérgicos entre nutrientes. Entretanto, há algumas desvantagens relacionadas aos FEA que podem acabar limitando seu uso em grande escala, quando comparados às fontes de referência, o custo acaba sendo de 2 a 8 vezes maior (Valderrama *et al.*, 2014). Para que possam ser utilizados em diferentes sistemas de cultivo e culturas, há também a necessidade de readequar as doses, e por ação de baixas temperaturas, umidade e ação microbiana no solo, pode haver redução das taxas de liberação dos nutrientes, o que gera possíveis deficiências nutricionais (Rossa *et al.* 2011; Rodella, 2018).

Os FEA podem ser divididos em duas categorias, de liberação lenta e/ou controlada que por sua vez são subdivididos em liberação lenta e liberação controlada, e os estabilizados, em inibidores de nitrificação e de urease. Os de liberação lenta ou controlada tem características de tempo prolongado ou atraso na liberação de nutrientes para as plantas. Já os estabilizados abordam fertilizantes convencionais, que contem

aditivos que são capazes de alterar ou inibir processo enzimáticos e de microrganismos do solo, sendo solúveis em água (Trenkel, 2010).

Assim, a utilização de fertilizantes de eficiência aprimorada na cultura da cana-de-açúcar, especialmente em solos arenosos, se mostra uma técnica promissora para uma agricultura mais sustentável, com menor impacto ambiental e redução de custos a longo prazo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

Os experimentos com a 1ª cana-soca foram conduzidos em duas localidades, na fazenda Santa Maria 15, localizada no município de Guaiçara-SP, com altitude 461 m (Exp 1.) e na fazenda Santo Antônio da Califórnia, no município de Pirajuí-SP, com altitude de 468 m (Exp 2.). Os solos das áreas experimentais são classificados como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (Guaiçara-SP) e ARGISSOLO VERMELHO (Pirajuí-SP) (Santos *et al.*, 2018) e foram amostrados na camada de 0,00 a 0,20 m para à análise química de caracterização inicial das áreas experimentais antes da aplicação dos tratamentos, segundo a metodologia descrita por Raij *et al.* (2001), cujos os resultados constam na Tabela 1.

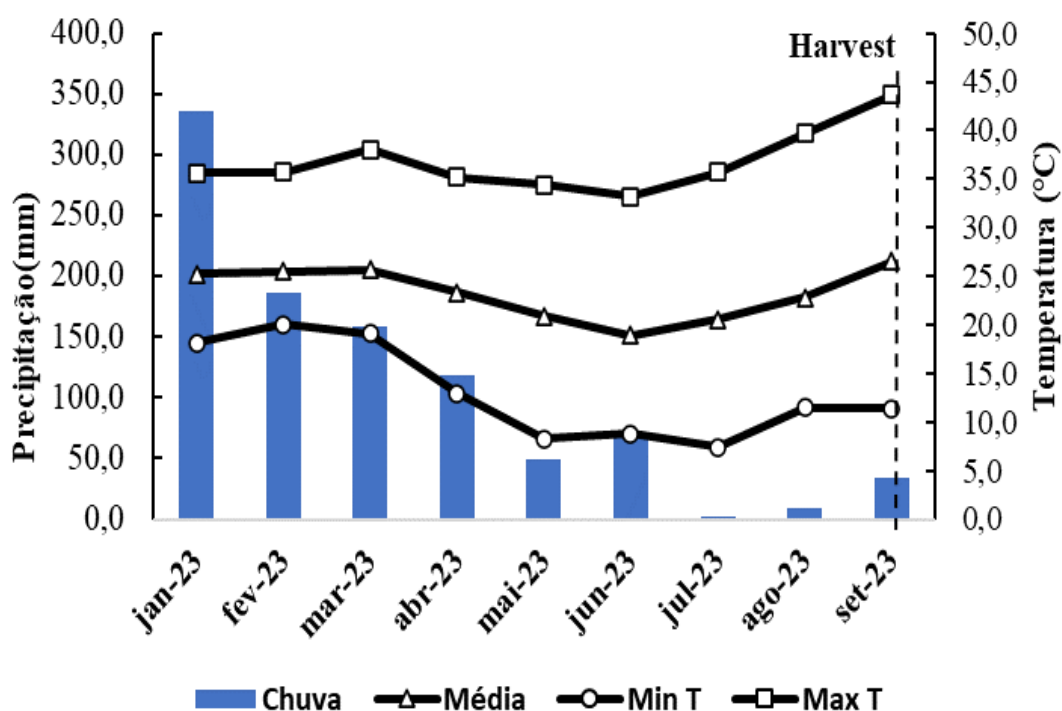
A classificação climática de ambas regiões, de acordo com Koppen, é Aw, com clima tropical com inverno seco e estação chuvosa no verão, com uma precipitação pluvial média pluvial de 1339 mm, temperatura média anual 23,5 °C. No momento do plantio da cana-de-açúcar (Cana-planta), a usina fez a adubação baseando-se na análise de solo de cada localidade. Os dados climáticos mensais durante a condução dos experimentos com cana-soca (1ª Cana-soca) estão disponíveis nas Figuras 1 e 2.

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo nas áreas experimentais antes da aplicação dos tratamentos, Guaíçara-SP e Pirajuí-SP, 2022.

<i>Experimento I (Guaíçara-SP)</i>								
P _{resina} mg dm ⁻³	S-SO ₄ ⁻²	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	H+Al	SB
13,0	6,0	12,0	5,5	0,7	15,0	11,0	6,0	26,7
CTC mmol _c dm ⁻³	V %	m	B [#]	Cu [*]	Fe [*]	Mn [*]	Zn [*]	
32,7	82,0	0,0	0,16	0,20	20,0	8,8	0,5	
<i>Experimento II (Pirajuí-SP)</i>								
P _{resina} mg dm ⁻³	S-SO ₄ ⁻²	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	H+Al	SB
42,0	4,0	12,0	5,9	0,9	19,0	16,0	13,0	25,9
CTC mmol _c dm ⁻³	V %	m	B [#]	Cu [*]	Fe [*]	Mn [*]	Zn [*]	
48,9	73,0	0,0	0,07	1,4	21,0	13,4	1,2	

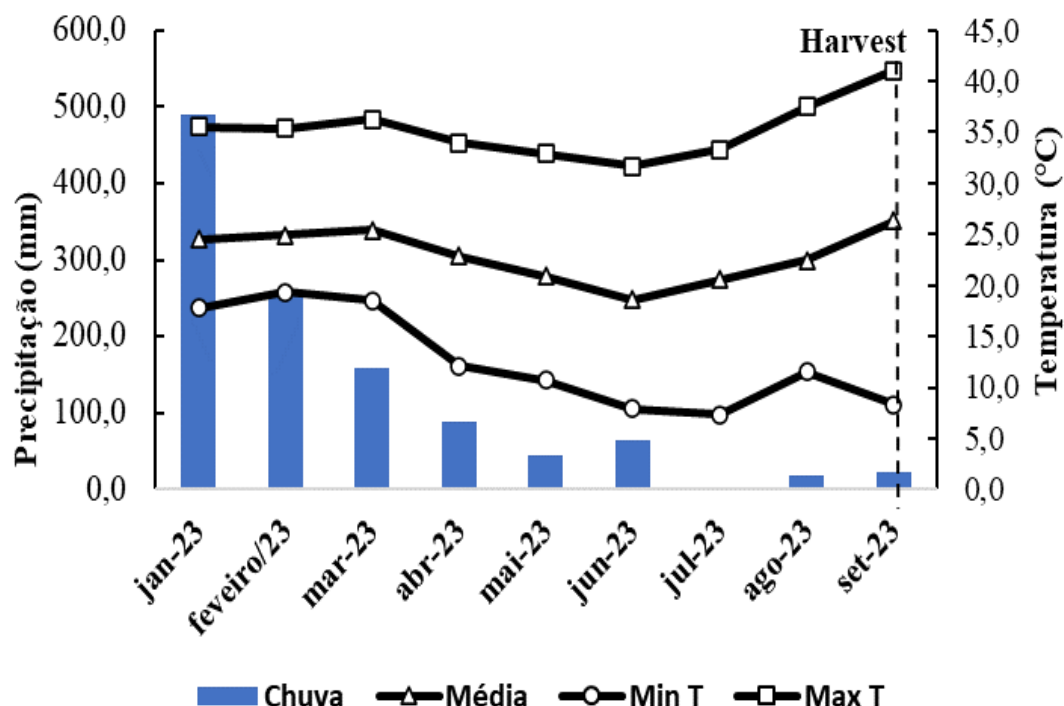
[#] Determinado em água quente ^{*} Determinado em DTPA (dietilenotriaminopentaacético). MO: matéria orgânica, CTC: capacidade de troca catiônica, SB: soma de bases, V: saturação por bases, m: saturação por Al.

Figura 1. Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante a condução do experimento em Guaíçara-SP.



Fonte: Próprio autor

Figura 2. Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante a condução do experimento em Pirajuí-SP.



Fonte: Próprio autor.

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso (DBC), com 5 repetições para ambos os experimentos, sendo que na fazenda Santa Maria 15 (Guaíçara) foi utilizado a variedade RB985476, enquanto que na fazenda Santo Antônio da Califórnia (Pirajuí) foi utilizada a variedade CTC4. As parcelas experimentais foram constituídas de 5 linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas de 1,5 m, considerando como área útil as três linhas centrais de cada parcela. Ambos os experimentos receberam os mesmos tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos dos experimentos de 1ª cana-soca das cultivares RB985476 e CTC4, localizados em Guaíçara-SP e Pirajuí-SP, respectivamente.

Trat.	Fertilizante	Dose	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹				
T1	30-15-00 + 0,36% B + 0,036% Mo + 0,45% Zn	80,00	24	12	0	0	0
	<i>Total</i>		24	12	0	0	0
T2	30-15-00 + 0,36% B + 0,036% Mo + 0,45% Zn	80,00	24	12	0	0	0
	KCl (00-00-60)	26,67	0	0	16	0	0
	<i>Total</i>		24	12	16	0	0
T3	30-15-00 + 0,36% B + 0,036% Mo + 0,45% Zn	80,00	24	12	0	0	0
	Aspire® (00-00-58 + 0,5% B)	27,59	0	0	16	0	0
	<i>Total</i>		24	12	16	0	0
T4	Excellen® (46-00-00)	42,00	19,3				
	Sulfato de amônio (21-00-00 + 22% S)	10,00	2,1				2,2
	Microessentials® (10-46-00 + 9% S)	26,00	2,6	12,0	0	0	2,3
	KCl (00-00-60)	26,67	0	0	16	0	0
	MIB (B + Zn + Mo)	7,20	-	-	-	-	-
	<i>Total</i>		24,0	12,0	16,0	0	4,5
T5	Excellen® (46-00-00)	42,00	19,3				
	Sulfato de amônio (21-00-00 + 22% S)	10,00	2,1				2,2
	Microessentials® (10-46-00 + 9% S)	26,00	2,6	12,0	0	0	2,3
	KCl (00-00-60)	19,60	0	0	11,7	0	0
	K-MAG® (00-00-21 + 21% S + 10% Mg)	20,40	0	0	4,3	2,0	4,3
	MIB (B + Zn + Mo)	7,20	-	-	-	-	-
	<i>Total</i>		24,0	12,0	16,0	2,0	8,8
T6	Excellen® (46-00-00)	42,00	19,3				
	Sulfato de amônio (21-00-00 + 22% S)	10,00	2,1				2,2
	Microessentials® (10-46-00 + 9% S)	26,00	2,6	12,0	0	0	2,3
	KCl (00-00-60)	12,53	0	0	7,5	0	0
	K-MAG® (00-00-21 + 21% S + 10% Mg)	40,80	0	0	8,5	4,1	8,5
	MIB (B + Zn + Mo)	7,20	-	-	-	-	-
	<i>Total</i>		24,0	12,0	16,0	2,0	13,0
T7	Excellen® (46-00-00)	42,00	19,3				
	Sulfato de amônio (21-00-00 + 22% S)	10,00	2,1				2,2
	Microessentials® (10-46-00 + 9% S)	26,00	2,6	12,0	0	0	2,3
	Aspire® (00-00-58 + 0,5% B)	20,60	0	0	11,9	0	0
	K-MAG® (00-00-21 + 21% S + 10% Mg)	19,40	0	0	4,1	1,9	4,1
	MIB (B + Zn + Mo)	7,20	-	-	-	-	-
	<i>Total</i>		24,0	12,0	16,0	1,9	8,6

T1 e T2: 0,29 e 0,36 kg ha⁻¹ de B e Zn; T3: 0,43 e 0,36 kg ha⁻¹ de B e Zn; T4, T5 e T6: MIB ?; T7 = 0,10 + ? e ? kg ha⁻¹ de B e Zn
 Fonte: Próprio autor.

3.3. CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Ambos os experimentos foram conduzidos em cana-soca (1ª Cana-soca), os tratamentos foram aplicados em cobertura no início da brotação, no dia 10 de outubro de 2022, baseando-se nas recomendações de Quaggio *et al.* (2022), respeitando a declividade dos terrenos.

O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado de acordo com a necessidade da cultura ao longo do ciclo, seguindo o manejo utilizado da própria usina. A colheita dos experimentos da 1ª cana-soca foram realizados manualmente em 22 de setembro de 2023, aos 341 dias após a brotação (DAB).

3.4. AVALIAÇÕES

3.4.1. Análises biométricas e de produtividade de colmo da cana-de-açúcar

- Número de perfilhos por metro: foram obtidos contando-se a quantidade de perfilhos presentes em duas linhas de 5 m de comprimento da área útil das parcelas. Ao longo do ciclo foram realizadas contagens em três épocas (91, 166 e 341 DAB);

- Altura de plantas: foram medidas em cinco plantas representativas por parcela com o auxílio de réguas graduadas do nível do solo até a primeiro colarinho visível, classificada como folha +1, em quatro épocas ao longo do ciclo em três épocas (91, 166 e 341 DAB);

- Diâmetro do colmo: foi determinado utilizando um paquímetro, através da média dos diâmetros da base, do meio e da ponta de três colmos industrializáveis, na colheita da cana-de-açúcar;

- Número de internódios por colmo: foram avaliados em três colmos industrializáveis, pela contagem do número de internódios presentes naqueles colmos, na colheita da cana-de-açúcar;

- Produtividade de colmos (TCH), através da colheita e passagem dos colmos, já separado ponteiros e palhada, de 4,5 metros, sendo colhidos 1,5 m de cada linha da área útil das parcelas em diagonal, aos 341 DAB da cana-de-açúcar.

3.4.2. Indicadores da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

- Para determinação da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, ainda por ocasião da colheita, foram amostrados dez colmos industrializáveis por parcela e encaminhados ao Laboratório de Análises Tecnológicas da usina em questão, para serem processados e analisados segundo a metodologia definida no SPCTS (Sistema de Pagamento da Cana-de-açúcar baseado no Teor de Sacarose), conforme Fernandes (2003). Foram determinados: fibra (%), pureza do caldo (%), teor de sólidos solúveis ou brix do caldo (%), pol da cana (%) e açúcar total recuperável (ATR) (kg açúcar por t⁻¹ cana). A produtividade de açúcar - TAH (t açúcar ha⁻¹) foi obtida por meio do produto entre a produtividade de colmos e a % pol da cana correspondente de cada parcela, dividido por cem.

3.4.3. Análise nutricional e massa seca

- Concentração de nutrientes na folha diagnose: na fase de maior desenvolvimento vegetativo da cultura aos 96 dias após brotação (DAB), foram coletados em 12 plantas por parcela o terço médio de 12 folhas +1 (folha mais alta com colarinho visível -"TVD"), excluindo-se a nervura central (RAIJ; CANTARELLA, 1997), da área útil de cada parcela. As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 65 °C por 72 horas, e posteriormente moídas em moinho tipo Wiley para efetuar as digestões das amostras (sulfúrica para N; nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn; e incineração para B), para determinação das concentrações de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foliar, conforme descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997);

- Massa seca da palhada (ponteiro + folhas), massa seca dos colmos e massa seca total da parte aérea (colmo + palhada) no final do ciclo: no final do ciclo da cultura aos 341 DAB, foram coletadas duas plantas representativas por parcela, sendo em seguida separados colmo e palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar, pesados e reduzidos em subamostras, então colocados para secar em estufa com circulação de ar forçada, com temperatura média de 65 °C, por 72 horas. Em seguida, após a secagem desses materiais amostrados, realizou-se nova pesagem. Os dados de massa seca foram então extrapolados para kg ha⁻¹, levando em conta também o número de colmos industrializáveis por metro (número de perfilhos por metro na avaliação 4);

- Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas), no colmo e na parte aérea total (colmo + palhada) no final do ciclo: as amostras da colheita foram fragmentadas em partes menores e moídas separadamente, em moinho tipo Wiley, para realização das digestões das amostras (sulfúrica para N; nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn; e incineração para B), e então determinadas as concentrações de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) separadamente no colmo e na palhada da cana-de-açúcar, conforme descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A partir desses dados de concentração nutricional de cada parte da planta e, levando em consideração também os valores de massa seca, calculou-se o acúmulo de nutrientes no colmo, na palhada (ponteiro + folhas) e parte aérea (colmo + palhada) no final do ciclo, expressos em kg ha^{-1} .

3.4.4. Análise química do solo

Posteriormente as colheitas dos experimentos, foram coletadas próximo da linha de plantio da cana, onde foi adubado, quatro amostras simples de solo por parcela experimental, com auxílio de trado de rosca, formando uma amostra composta, nas camadas de 0,00-0,25 m. As amostras compostas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm (TFSA), para determinação dos atributos químicos, utilizando a metodologia de Raij *et al.* (2001).

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias dos tratamentos em cada experimento separadamente. Também foram avaliados os contrastes de interesse (*Não Convencional x Convencional* e *K-MAG + KCl x somente KCl*) pelo teste de Scheffé (5%). As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa computacional SISVAR (Ferreira, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. LOCALIDADE: GUAÍÇARA/SP (VARIEDADE: RB985476)

Na primeira avaliação, o tratamento T3 apresentou altura de plantas de cana superior ao tratamento T4 e não diferiram dos outros tratamentos, dentre esses o que não recebeu o fornecimento de potássio (Tratamento T1). Na segunda, o tratamento T7 propiciou maior altura em relação aos tratamentos T1 e T3. No entanto, na última avaliação não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 3). Tal fato, também foi constatado para as duas avaliações do número de colmos por metro. Para a avaliação realizada na ocasião na colheita, o número de colmos industrializáveis foi superior com a aplicação dos tratamentos T5, T6 e T7 (não convencional) em relação ao tratamento T1 (sem aplicação de K), fato que não ocorreu para os tratamentos T2 e T3 (convencional). Nesse sentido, a introdução de novas tecnologias (Excellen[®], K-Mag[®] e Aspire[®]) no processo de produção da cana-de-açúcar (RB985476) proporciona benefícios em relação ao manejo tradicional (convencional).

Tabela 3. Altura de planta (ALT), número de colmos (NC) e número de colmos industrializáveis (NCI) da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaíçara/SP, 2023.

Tratamento	ALT1	ALT2 m	ALT3	NC1	NC2 colmos m ⁻¹	NCI
T1	0,84 ab	2,69 b	3,00 a	79,5 a	82,8 a	42,1 c
T2	0,86 ab	2,79 ab	2,96 a	82,9 a	82,3 a	45,6 bc
T3	0,90 a	2,76 b	3,16 a	85,4 a	85,6 a	52,3 abc
T4	0,79 b	2,79 ab	3,12 a	85,5 a	85,5 a	49,9 abc
T5	0,86 ab	2,77 ab	3,11 a	79,6 a	89,2 a	53,6 ab
T6	0,82 ab	2,79 ab	3,04 a	80,4 a	85,7 a	53,8 ab
T7	0,84 ab	2,87 a	3,04 a	89,6 a	87,1 a	58,1 a
D.M.S. (%)	0,11	0,11	0,23	13,6	13,3	10,3
C.V. (%)	6,30	1,87	3,64	8,04	7,69	9,97
Média geral	0,84	2,78	3,06	83,3	85,4	50,8

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ALT1: coletado no dia 14/01/23. ALT2: coletado no dia 25/03/23. ALT3: coletado no dia 22/09/23. NC1: coletado no dia 14/01/23. NC2: coletado no dia 25/03/23.

Para o diâmetro do colmo da cana-de-açúcar, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 4). No entanto, na avaliação do número de internódios o tratamento T4 foi superior ao tratamento T2 e não diferiram dos outros tratamentos, dentre esses o que não recebeu o fornecimento de potássio (Tratamento T1). Em relação a produtividade de palhada e de tonelada de colmos por hectare, os tratamentos T6 e T7 (não convencional) propiciaram maior produtividade de palhada de cana-de-açúcar em relação aos outros tratamentos. Sendo que o tratamento T6 proporcionou maior produtividade de colmo de cana (TCH) em relação aos tratamentos convencionais (T1, T2 e T3) e não

convencionas (T4, T5 e T7). Nesse sentido, a introdução de novas tecnologias (Excellen[®] e K-Mag[®]) no processo de produção da cana-de-açúcar (RB985476) proporciona benefícios em relação ao manejo tradicional (convencional).

O fertilizante Excellen[®] é uma fonte de nitrogênio mais estável, de alta concentração e de maior eficiência que as fontes convencionais, pois apresenta em sua formulação o inibidor de urease (NBPT), reduzindo assim as perdas de N por volatilização (MOSAIC, 2024), a qual é potencializada em áreas com palhada em que a cana é colhida mecanizada, como na presente pesquisa. O outro fertilizante utilizado no manejo não convencional (T6) foi o K-Mag[®] (00-00-21 + 21% de S + 10% de Mg) que é obtido pelo processamento do mineral natural langbeinita que é um mineral de sulfato de potássio e magnésio com a fórmula química $K_2Mg_2(SO_4)_3$, portanto, contendo em sua composição o Mg, S e K, baixo teor de cloro e alta solubilidade (MOSAIC, 2024). Nesse sentido, em todos os tratamentos não convencionais (T4, T5, T6 e T7) foi utilizado a tecnologia Excellen[®], sendo o diferencial do tratamento T6 em relação aos outros, é a maior quantidade de K-Mag em sua formulação, com 53% de K_2O proveniente da fonte K-Mag e 47% de K_2O do KCl, para o fornecimento de K para a cultura da cana-de-açúcar.

Tabela 4. Diâmetro de colmo (DC), número de internódios (NI), produtividade de tonelada de cana por hectare (TCH) e produtividade de palhada (PP) da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.

Tratamento	DC mm	NI	TCH t ha ⁻¹	PP
T1	26,06 a	18,95 ab	91,2 b	6,1 c
T2	24,27 a	17,33 b	94,3 b	6,0 c
T3	24,96 a	18,95 ab	66,2 d	9,2 b
T4	24,55 a	20,43 a	86,3 b	5,7 c
T5	24,53 a	19,63 ab	76,2 c	6,2 c
T6	24,92 a	18,20 ab	108,0 a	12,2 a
T7	24,50 a	18,85 ab	91,6 b	12,5 a
D.M.S. (%)	3,14	2,81	5,5	2,4
C.V. (%)	6,22	7,32	4,59	10,21
Média geral	24,83	18,91	87,70	8,2

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O cloreto de potássio (KCl) apresenta maior solubilidade em relação a langbeinita, o que implica em uma liberação mais rápida de K para a solução do solo com o uso de KCl e mais lenta (gradual) com o de K-Mag[®]. Nesse sentido, a quantidade utilizada dessas fontes foi interessante, pois a primeira propicia uma liberação mais rápida, atendendo assim as necessidades da cultura na fase inicial da rebrota da cana-soca e a

segunda fonte as fases subsequentes até a colheita. Tal associação, permite menor perdas de K pelo processo de lixiviação, principalmente, nas condições do solo do experimento, de textura arenosa e, conseqüentemente, proporciona condições de melhor aproveitamento da adubação potássica, ou seja, é mais eficiente que o manejo da adubação mineral tradicional que é adotado pela Usina Lins para cana-soca em solo arenoso, com baixo teor de K no solo.

Para os indicadores da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, a aplicação de todos os tratamentos não influenciou nos indicadores de fibra, pureza do caldo, Pol da cana, Brix e ATR da cana (Tabela 5). No entanto, o tratamento T6 proporcionou maior tonelada de açúcar por hectare (TAH) de cana-de-açúcar em relação aos outros tratamentos, com aumento de 2,8; 1,8; 6,1; 3,1; 5,1 e 2,1 t açúcar ha⁻¹ (T1, T2, T3, T4, T5 e T7, respectivamente). Portanto, tal manejo (T6) propiciou aumento na produtividade de cana-de-açúcar e de açúcar por hectare.

Tabela 5. Fibra, pureza do caldo, Pol da cana (PC), Brix, açúcar total recuperável (ATR) da cana e a tonelada de açúcar por hectare (TAH) cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaíçara/SP, 2023.

Tratamentos	Fibra	Pureza	PC	Brix	ATR	TAH
		%			kg açúcar t ⁻¹ cana	t açúcar ha ⁻¹
T1	12,9 a	88,9 a	16,6 a	22,3 a	164,4 a	15,1 b
T2	13,1 a	88,0 a	17,1 a	23,4 a	169,2 a	16,1 b
T3	12,5 a	88,9 a	17,8 a	23,9 a	176,3 a	11,8 c
T4	13,2 a	86,5 a	17,2 a	24,0 a	170,8 a	14,8 b
T5	12,5 a	89,6 a	16,8 a	22,2 a	165,7 a	12,8 c
T6	12,8 a	86,3 a	16,6 a	23,0 a	164,8 a	17,9 a
T7	12,9 a	89,6 a	17,3 a	23,2 a	170,7 a	15,8 b
D.M.S. (%)	1,1	6,9	1,5	1,8	13,4	1,7
C.V. (%)	4,22	3,83	4,37	3,81	3,91	5,60
Média geral	12,8	88,3	17,0	23,1	168,8	14,9

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A aplicação de todos os tratamentos não influenciou nas concentrações dos nutrientes da folha diagnose da cana-de-açúcar (RB985476) (Tabela 6). Sendo que as concentrações foliares de N, P, K, Ca, S, Cu e Fe são classificadas como adequadas (entre o valor mínimo e máximo), de Mg e B próximo ao valor máximo e de Zn acima do valor máximo. Tal constatação tendo como referência as faixas de concentração dos nutrientes na folha diagnose para a cultura da cana-de-açúcar preconizada por Quaggio *et al.* (2022), que são as seguintes: N (18-15 g kg⁻¹); P (1,5-3,0 g kg⁻¹); K (10-16 g kg⁻¹); Ca (2,0-5,0 g kg⁻¹); Mg (1,0-2,5 g kg⁻¹); S (1,2-2,0 g kg⁻¹); B (5-15 mg kg⁻¹); Cu (5-15 mg kg⁻¹); Fe (40-250 mg kg⁻¹); Mn (25-100 mg kg⁻¹) e Zn (10-30 mg kg⁻¹).

O teor de Mg inicial no solo foi $11,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 1) é tido como alto ($> 8,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg) conforme a classificação de Mattos Junior *et al.* (2022). Tal fato, explica a ausência de diferença entre os tratamentos T1, T2, T3 e T4 (que não receberam fertilizante que contém Mg em sua composição) e os tratamentos T5, T6 e T7 (que receberam o K-Mag que tem em sua composição 10% de Mg) (Tabela 2). Nesse sentido, é esperado melhor desempenho da cultura em função da aplicação dessa fonte de Mg (K-Mag) em área com teores mais baixo desse nutriente ou que receberam calcário calcítico (baixo teor de Mg) na prática da correção do solo, ou mesmo que recebam altas doses de vinhaça devido ao alto fornecimento de K.

Tabela 6. Concentração de nutrientes na folha diagnose da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaíçara/SP, 2023.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
T1	18,3 a	2,1 a	13,3 a	3,7 a	2,5 a	1,3 a
T2	17,3 a	2,0 a	13,5 a	3,8 a	2,2 a	1,3 a
T3	17,7 a	1,9 a	13,3 a	4,1 a	2,5 a	1,3 a
T4	17,1 a	2,0 a	13,6 a	4,0 a	2,8 a	1,3 a
T5	16,9 a	2,0 a	12,9 a	4,2 a	2,5 a	1,3 a
T6	17,0 a	2,0 a	12,8 a	4,0 a	2,5 a	1,3 a
T7	17,4 a	2,0 a	13,7 a	3,9 a	2,4 a	1,3 a
D.M.S. (%)	1,7	0,2	1,2	1,2	1,0	0,1
C.V. (%)	3,38	2,88	3,21	10,62	13,97	2,62
Média geral	17,4	2,0	13,3	4,0	2,5	1,3
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	mg kg^{-1}					
T1	14,3 a	5,7 a	152,5 a	70,3 a	58,0 a	
T2	12,8 a	5,0 a	158,0 a	76,0 a	49,7 a	
T3	12,8 a	5,0 a	161,3 a	77,3 a	48,5 a	
T4	11,8 a	5,3 a	158,3 a	93,7 a	53,0 a	
T5	12,0 a	5,0 a	163,7 a	87,3 a	48,5 a	
T6	11,8 a	5,0 a	147,5 a	87,7 a	53,3 a	
T7	12,0 a	5,0 a	153,0 a	85,3 a	53,7 a	
D.M.S. (%)	3,8	1,4	30,1	28,3	19,7	
C.V. (%)	10,69	9,80	6,73	11,99	13,21	
Média geral	12,5	5,1	156,3	82,5	52,1	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O teor de S inicial no solo era $6,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 1) é tido como médio ($5,0\text{-}10,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de S) conforme a classificação de Mattos Junior *et al.* (2022). Tal fato, explica a ausência de diferença entre os tratamentos T1, T2 e T3 que não receberam fertilizante que contém S em sua composição e os tratamentos T4, T5, T6 e T7 que receberam Sulfato de Amônio (22% de S), Microessenciais S9 (9% de S) e K-Mag (21% de S) (Tabela 2). Nesse sentido, é esperado melhor desempenho da cultura em função da aplicação dessas

fontes de S em área com teores mais baixo desse nutriente ou que não receberam a aplicação de gesso.

O teor de Zn inicial no solo era de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 1) é tido como baixo ($< 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn) conforme a classificação de Boaretto *et al.* (2022). Tal fato, explica a ausência de diferença entre os tratamentos convencionais (T1, T2 e T3) que receberam esse nutriente dos fertilizantes que contém em sua composição 0,45% de Zn (Tabela 2) e dos tratamentos não convencionais (T4, T5, T6 e T7) que receberam Zn dos fertilizantes MIB (B+Mo+Zn) (Tabela 2). Nesse sentido, independentemente da fonte de fertilizante da empresa Mosaic, todos propiciaram alta concentração de Zn foliar.

O teor de B inicial no solo era de $0,16 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 1) é tido como baixo ($< 0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ de B) conforme a classificação de Boaretto *et al.* (2022). Tal fato, explica a não diferenciação entre os tratamentos convencionais (T1, T2 e T3) que receberam esse nutriente do fertilizante que contém em sua composição 0,36% de B e o T3 que além desse recebeu 0,5% de B do Aspire® (Tabela 2) e dos tratamentos não convencionais (T4, T5, T6 e T7) que receberam B do fertilizante MIB (B+Mo+Zn) e o T7 que além desse recebeu 0,5% de B do Aspire® (Tabela 2). Nesse sentido, independentemente da fonte de fertilizante da empresa Mosaic todos proporcionaram concentração de B foliar próximo ao valor máximo da faixa de suficiência reportada.

De acordo com Malavolta (2006) a baixa disponibilidade de B no solo é mais comum nas condições de baixo teor de matéria orgânica do solo e alta lixiviação de B no perfil do solo, principalmente em solos arenosos. Nesse sentido, a aplicação de B para essa condição é de suma importância, pois propicia maior concentração foliar de B e não prejudica o desenvolvimento da planta.

Os tratamentos T6 e T7 propiciaram maiores acúmulos de N, P, K, Ca e S na palhada da cana-de-açúcar, sendo que o T7 proporcionou também maior acúmulo de Mg em relação aos outros tratamentos (Tabela 7). Nesse sentido, a inserção do fertilizante Excellen no manejo da adubação da cana-soca propiciou maior acúmulo de N, provavelmente, em função da redução das perdas de N por volatilização, devido a presença de NBPT na formulação do fertilizante. Também, a introdução do K-Mag proporcionou maior acúmulo de K, Mg e S, em função da presença desses na formulação do fertilizante (Tabela 2).

O maior acúmulo de P e Ca na palhada da cana-de-açúcar pode ser explicado pela melhora em termos nutricional das plantas de cana-de-açúcar (maior acúmulo de N, K, Mg e S) propiciada pela aplicação desses fertilizantes, que aumentou a produtividade da

cultura da cana-de-açúcar (palhada = folhas e colmos), como verificado pela aplicação do tratamento T6 (Tabela 4), pois o maior crescimento das plantas propiciado pela aplicação de um determinado nutriente, há uma tendência de maior absorção e acúmulo na planta dos outros (maior volume do sistema radicular), desde que, as quantidades desses no solo não seja limitante.

Tabela 7. Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
			kg ha ⁻¹			
T1	40,6 c	4,8 cd	78,9 de	16,5 c	9,2 c	7,3 bc
T2	38,7 c	3,7 de	96,3 cd	13,5 c	10,3 c	6,8 c
T3	69,3 b	3,5 de	132,8 ab	32,9 b	16,2 b	8,7 b
T4	41,0 c	3,0 e	64,2 e	15,9 c	14,1 bc	6,4 c
T5	44,0 c	5,3 bc	110,2 bc	21,5 bc	13,9 bc	7,0 bc
T6	95,0 a	6,7 ab	159,2 a	47,3 a	17,1 b	14,3 a
T7	83,9 a	8,0 a	149,5 a	53,8 a	24,7 a	13,7 a
D.M.S. (%)	13,5	1,4	29,5	12,6	5,2	1,8
C.V. (%)	7,99	9,86	9,12	15,26	12,02	7,00
Média geral	58,9	5,0	113,0	28,8	15,1	9,2
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
			g ha ⁻¹			
T1	99,5 de	18,2 bc	1679,8 bc	390,9 d	383,0 bc	
T2	116,4 d	13,6 cd	1599,9 c	378,4 d	316,5 d	
T3	153,7 c	15,0 cd	1680,3 bc	559,5 d	423,1 b	
T4	76,2 e	8,2 d	2629,4 b	451,8 d	324,2 d	
T5	126,0 cd	14,4 cd	1783,7 bc	936,1 c	353,9 cd	
T6	290,0 a	26,3 a	6646,6 a	1507,7 a	571,4 a	
T7	222,3 b	22,7 ab	6420,5 a	1209,8 b	623,9 a	
D.M.S. (%)	32,1	6,8	978,5	242,1	57,2	
C.V. (%)	7,24	14,03	10,67	10,91	4,67	
Média geral	154,9	16,9	3205,7	776,3	428,0	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os tratamentos T6 e T7 propiciaram maiores acúmulos de Cu, Fe e Zn na palhada da cana-de-açúcar, sendo que o T6 proporcionou também maiores acúmulos de B e Mn em relação aos outros tratamentos (Tabela 7). Nesse sentido, a aplicação do T6 resultou no maior acúmulo de todos os micronutrientes na palhada da cana-de-açúcar. Portanto, tais resultados evidenciam que a combinação dos fertilizantes Excellen, Sulfato de Amônio, Microessentials S9, MIB (B+Mo+Zn), K-MAg e KCl (Tratamento T6) proporcionou de forma adequada e equilibrada a nutrição das plantas de cana-de-açúcar, o que resultou na maior produtividade da cultura (Tabelas 4 e 5).

A aplicação da ureia com a adição de NBPT (tecnologia utilizada no fertilizante Excellen) na cultura da cana-de-açúcar reduziu em 30% as perdas de NH_3 por volatilização (Cantarella, 2007). Tal fato, melhora a eficiência da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar, pois o N é um dos nutrientes limitantes à produtividade e a longevidade das soqueiras de cana-de-açúcar (Barth *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2020).

O sulfato de potássio e magnésio ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$) (21-22% de K_2O ; 21-22% de S e 10-11% de Mg), conhecido comercialmente por K-Mag, é um fertilizante muito utilizado quando há a necessidade dos três nutrientes (K, S e Mg), é solúvel em água e dissolve-se lentamente (Reetz, 2016), disponibilizando o K no solo de forma gradual, o que permite menores perdas de K pelo processo de lixiviação, principalmente, nas condições do solo do experimento, de textura arenosa e baixo teor de K no solo (Tabela 1). Portanto, proporciona condições de melhor aproveitamento da adubação potássica de cobertura, atendendo assim as necessidades da cultura da cana-de-açúcar durante todo o seu ciclo, principalmente, nas fases mais tardias (crescimento e maturação dos colmos).

A aplicação do fertilizante MIB (B+Mo+Zn) que compõe o tratamento T6 forneceu B e Zn de forma adequada para a cultura da cana-de-açúcar, sendo evidenciado pelo maior acúmulo desses nutrientes na palhada (Tabela 7). A baixa disponibilidade de B no solo é mais comum nas condições de baixo teor de matéria orgânica do solo e alta lixiviação de B no perfil do solo, principalmente em solos arenosos (condições da área de estudo) (Malavolta, 2006). Nesse sentido, a aplicação de B para essa condição é de suma importância, pois o nutriente participa da formação de zonas meristemáticas (gema apical e radículas) (Vitti *et al.*, 2016) e a sua deficiência reduz o comprimento e superfície das raízes das plantas de cana-de-açúcar (Martello, 2016), ou seja, no crescimento das plantas de cana-de-açúcar.

O Zn participa do desdobramento do triptofano em ácido indolacético (AIA), promove maior crescimento dos internódios, novos lançamentos, bem como maior resistência às falsas ferrugens das plantas de cana-de-açúcar (Vitti *et al.*, 2016). Sendo que a sua aplicação em solos de baixa fertilidade (condições da área de estudo) aumenta a produtividade agrícola e industrial (açúcar) (Becari, 2010).

Embora no presente estudo não avaliou a concentração e o acúmulo do Mo nas plantas de cana-de-açúcar. O seu fornecimento pelo fertilizante MIB (B+Mo+Zn) pode propiciar efeito benéfico no metabolismo do N na planta, pois o Mo tem duas finalidades: aumentar a atividade da enzima nitrato redutase das folhas e, consequentemente, a

assimilação de N na planta e aumentar a absorção de N via solo, pela ação do Mo e Fe na enzima nitrogenase (Vitti *et al.*, 2016).

No acúmulo dos nutrientes na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (Tabela 7), ficou evidente que a aplicação do tratamento T6 foi superior aos outros tratamentos, o que explica a maior produtividade de palhada (ponteiro + folhas), de colmos (Tabela 4) e de açúcar (Tabela 5). No entanto, para o acúmulo dos nutrientes no colmo não houve diferença entre os tratamentos T3 (convencional) e T6 (não convencional) para os acúmulos de N, P, K, Ca, S, Mn e Zn (Tabela 8), sendo que o T3 propiciou maiores acúmulos de Mg e B em relação ao T6, e esse maior de Cu em relação ao tratamento T3. Nesse sentido, o tratamento T6 foi superior aos outros para os acúmulos dos nutrientes na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar e destacou-se também para o acúmulo dos nutrientes no colmo da cana-de-açúcar. Vale destacar que os nutrientes acumulados na palhada serão importantes para o próximo ciclo de cana-soca, pois após a decomposição da palhada e mineralização dos nutrientes, estes irão nutrir a cana-de-açúcar.

Tabela 8. Acúmulo de nutrientes no colmo da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaiçara/SP, 2023.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
			kg ha ⁻¹			
T1	38,2 c	9,6 d	110,4 c	15,9 c	21,5 d	15,3 c
T2	43,8 c	13,8 c	93,7 c	16,4 bc	23,7 d	16,9 c
T3	65,2 a	18,0 a	187,6 a	27,4 a	44,4 a	28,8 a
T4	43,4 c	14,2 bc	101,2 c	15,6 c	24,8 cd	19,8 bc
T5	56,7 ab	17,0 ab	137,2 b	23,6 a	31,9 bc	24,2 ab
T6	64,6 a	17,3 a	163,2 ab	22,9 ab	32,6 b	25,1 ab
T7	54,1 b	15,9 abc	142,1 b	21,0 abc	23,6 d	23,4 ab
D.M.S. (%)	9,3	2,9	26,2	6,9	7,5	6,4
C.V. (%)	6,21	6,81	6,85	11,93	9,11	10,17
Média geral	52,3	15,1	133,6	20,4	28,9	21,9
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
			g ha ⁻¹			
T1	91,4 d	47,9 c	794,9 e	586,3 b	1082,9 c	
T2	104,8 d	65,6 b	1721,2 c	829,4 b	1245,7 bc	
T3	232,8 a	90,3 b	2056,6 b	1554,4 a	2086,6 a	
T4	152,0 c	66,7 b	1324,1 d	745,5 b	1320,7 bc	
T5	136,3 c	69,0 b	2639,1 a	1449,4 a	1633,5 ab	
T6	186,9 b	103,0 a	1854,8 bc	1339,3 a	1694,2 ab	
T7	186,2 b	68,8 a	1565,6 cd	928,1 b	1642,0 ab	
D.M.S. (%)	23,4	14,5	300,6	410,6	509,0	
C.V. (%)	5,25	6,96	6,15	13,52	11,64	
Média geral	155,8	73,0	1708,1	1061,8	1529,4	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Considerando o acúmulo total na parte aérea (palhada + colmo) das plantas de cana-de-açúcar não houve diferença entre os tratamentos T3 (convencional) e T6 e T7 (não convencional) para os acúmulos de P, K, Ca, S e Zn (Tabela 9), sendo que o T3 propiciou maior acúmulo de Mg em relação ao T6, e esse maior de N, B, Cu, Fe e Mn em relação ao tratamento T3. Nesse sentido, o tratamento T6 foi superior aos outros para o acúmulo dos nutrientes na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar, destacou-se também para o acúmulo dos nutrientes no colmo e na parte aérea total da cana-de-açúcar.

Portanto, tais resultados evidenciam que a combinação dos fertilizantes Excellen, Sulfato de Amônio, Microessentials S9, MIB (B+Mo+Zn), K-MAg e KCl (Tratamento T6) proporcionou de forma adequada e equilibrada a nutrição para as plantas de cana-de-açúcar, o que resultou na maior produtividade da cultura (Tabelas 4 e 5).

Tabela 9. Acúmulo de nutrientes na parte aérea total (palhada + colmo) da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaíçara/SP, 2023.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
			kg ha ⁻¹			
T1	78,8 d	14,4 b	189,4 c	32,4 d	30,7 d	22,6 d
T2	82,5 d	17,5 b	190,0 c	29,9 d	34,0 d	23,6 d
T3	134,5 b	21,6 a	320,3 a	60,3 b	60,6 a	37,5 ab
T4	84,4 d	17,2 b	165,4 c	31,6 d	38,9 cd	26,2 cd
T5	100,7 c	22,3 a	247,4 b	45,1 c	45,8 bc	31,2 bc
T6	159,6 a	24,0 a	291,6 a	70,2 ab	49,7 b	39,4 a
T7	138,0 b	23,9 a	322,4 a	74,8 a	48,4 bc	37,1 ab
D.M.S. (%)	15,7	3,4	36,4	10,4	10,5	6,8
C.V. (%)	4,94	5,98	5,16	7,37	8,36	7,64
Média geral	111,2	20,1	246,6	49,2	44,0	31,1
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
			g ha ⁻¹			
T1	191,0 d	66,0 e	2474,7 d	977,2 c	1466,0 d	
T2	221,2 cd	79,2 cde	3321,2 cd	1207,8 c	1562,2 cd	
T3	386,5 b	105,2 b	3736,9 bc	2113,9 b	2509,7 a	
T4	228,3 cd	74,9 de	3953,5 bc	1197,4 c	1644,8 cd	
T5	262,2 c	83,4 cd	4422,8 b	2385,5 ab	1987,4 bc	
T6	477,0 a	129,3 a	8501,4 a	2845,0 a	2265,6 ab	
T7	408,5 b	91,5 bc	7986,1 a	2137,9 b	2265,9 ab	
D.M.S. (%)	42,2	14,6	894,5	500,2	508,1	
C.V. (%)	4,75	5,70	6,37	9,52	9,08	
Média geral	310,7	89,9	4913,8	1838,1	1957,4	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A aplicação de todos os tratamentos não influenciou nos teores de P, K, S, Cu, Mn e Zn no solo, nos valores de pH, H⁺Al e teor de MO (Tabela 10). Sendo que o tratamento T6 propiciou maiores teores de Ca e Mg em relação aos outros tratamentos e, conseqüentemente, maior CTC e SB do solo, pois ambos atributos químicos do solo é

calculado pela soma dos cátions trocáveis (nesse caso os de Ca e Mg). A maior disponibilidade de Mg no solo é em função da aplicação do fertilizante K-Mag que tem em sua composição 10% de Mg (Tabela 2).

Em relação aos teores de B no solo, a aplicação dos tratamentos T3 (convencional) e T6 (não convencional) resultou no maior teor do nutriente no solo (Tabela 10). Nesse sentido, a aplicação do tratamento T6 que contém em sua composição o fertilizante MIB (B+Mo+Zn) proporcionou maior teor de B no solo e, conseqüentemente, no maior acúmulo de B na palhada e parte aérea total das plantas de cana-de-açúcar (Tabelas 7 e 9).

Tabela 10. Análise química do solo após o cultivo da cana-de-açúcar (RB985476) em função de diferentes manejos de adubação. Guaíçara/SP, 2023.

Tratamentos	P _{resina} mg dm ⁻³	S-SO ₄	K	Ca	Mg	SB
T1	3,5 a	6,7 a	0,7 a	6,0 c	4,5 d	11,2 d
T2	5,3 a	8,7 a	0,7 a	17,3 b	13,7 b	31,7 b
T3	6,0 a	6,0 a	1,1 a	9,5 bc	7,0 cd	17,6 cd
T4	3,7 a	6,7 a	0,8 a	7,5 c	5,0 d	13,3 cd
T5	5,7 a	5,5 a	0,8 a	12,5 bc	11,0 bc	24,3 bc
T6	4,3 a	6,8 a	0,8 a	29,0 a	21,5 a	51,3 a
T7	3,0 a	8,3 a	0,8 a	13,5 bc	8,5 bc	22,8 bcd
D.M.S. (%)	3,1	4,0	0,5	8,2	4,6	11,6
C.V. (%)	24,45	20,32	22,58	21,14	15,92	16,45
Média geral	4,5	6,9	0,8	13,6	10,2	24,6
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Al
			mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³
T1	0,1 c	0,4 a	33,3 a	9,7 a	0,5 a	12,0 a
T2	0,2 bc	0,5 a	33,5 a	13,1 a	0,6 a	0,0 c
T3	0,4 a	0,5 a	19,4 b	12,6 a	0,7 a	8,7 ab
T4	0,1 c	0,3 a	26,3 ab	10,6 a	0,5 a	8,5 ab
T5	0,1 c	0,4 a	29,0 ab	10,7 a	0,7 a	5,3 bc
T6	0,3 ab	0,3 a	22,0 ab	9,7 a	0,7 a	0,0 c
T7	0,2 bc	0,3 a	31,3 ab	10,5 a	0,7 a	0,0 c
D.M.S. (%)	0,1	0,3	12,5	7,7	0,4	6,1
C.V. (%)	18,77	23,27	15,70	24,47	21,21	43,51
Média geral	0,2	0,4	27,8	11,0	0,6	4,9
	pH	MO	CTC	H+Al	V	
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³		%	
T1	4,7 a	14,3 a	42,1 ab	25,3 a	38,7 bc	
T2	5,4 a	16,3 a	50,3 ab	18,7 a	62,7 ab	
T3	5,1 a	14,0 a	35,7 b	21,7 a	41,0 bc	
T4	5,2 a	15,3 a	36,7 b	19,7 a	35,5 c	
T5	5,1 a	15,0 a	48,1 ab	22,0 a	54,7 abc	
T6	5,4 a	15,7 a	65,1 a	20,3 a	75,5 a	
T7	5,1 a	14,3 a	58,9 ab	20,3 a	71,0 a	
D.M.S. (%)	1,9	5,1	27,2	15,5	25,2	
C.V. (%)	12,84	11,85	19,73	25,62	16,25	
Média geral	5,1	15,0	48,1	21,1	54,1	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.2. LOCALIDADE: PIRAJUÍ/SP (VARIEDADE: CTC4)

Na terceira avaliação, o tratamento T7 apresentou altura de plantas de cana-de-açúcar superior aos tratamentos T1 (sem fornecimento de K “testemunha”) e T4 e, não diferiu dos outros tratamentos (Tabela 11). Tal fato, também foi constatado para a segunda avaliação do número de colmos por metro (NC2).

Para a avaliação realizada na ocasião na colheita, o número de colmos industrializáveis não foi influenciado pela aplicação dos tratamentos. Contudo, o tratamento T7 (manejo não convencional) foi superior em termo de altura e número de colmos em relação ao tratamento T1, fato que não ocorreu para os tratamentos T2 e T3 (manejo convencional). Assim, a introdução de novas tecnologias (Excellen[®], K-Mag[®] e Aspire[®], tratamento T7) no processo de produção da cana-de-açúcar (variedade CTC4) proporcionou benefícios em relação ao manejo tradicional (convencional).

Tabela 11. Altura de planta (ALT), número de colmos (NC) e número de colmos industrializáveis (NCI) da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.

Tratamento	ALT1	ALT2 m	ALT3	NC1	NC2 colmos m ⁻¹	NCI
T1	1,09 a	2,74 a	2,97 bc	79,9 a	83,2 b	60,5 a
T2	1,10 a	2,75 a	3,16 ab	85,1 a	93,0 ab	59,2 a
T3	1,05 a	2,74 a	3,09 abc	87,0 a	94,1 ab	62,0 a
T4	1,09 a	2,67 a	2,87 c	83,0 a	82,4 b	59,8 a
T5	1,05 a	2,72 a	3,14 ab	83,6 a	87,7 ab	56,9 a
T6	1,10 a	2,81 a	3,15 ab	85,5 a	86,5 ab	63,0 a
T7	1,04 a	2,70 a	3,22 a	85,5 a	95,6 a	64,5 a
D.M.S. (%)	0,10	0,24	0,22	14,1	10,7	14,9
C.V. (%)	4,78	4,34	3,48	8,25	5,93	12,10
Média geral	1,07	2,73	3,09	84,2	88,9	60,8

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ALT1: coletado no dia 14/01/23. ALT2: coletado no dia 25/03/23. ALT3: coletado no dia 22/09/23. NC1: coletado no dia 14/01/23. NC2: coletado no dia 25/03/23.

O diâmetro do colmo e o número de internódios da cana-de-açúcar não foi influenciado pela aplicação dos tratamentos (Tabela 12). Em relação à produtividade de palhada (folhas + ponteiros), o tratamento T2 (manejo convencional) foi superior a todos os tratamentos do manejo não convencional (T4, T5, T6 e T7) e ao tratamento T1 (sem fornecimento de K “testemunha”). No entanto, para a produtividade de colmos por hectare (TCH), os tratamentos T5 e T6 (manejo não convencional: Excellen[®] + Sulfato

de amônio + MicroEssentials[®], MIB - B+Mo+Zn + K-Mag[®]) e o T3 (convencional + Aspire[®]) foram superiores aos tratamentos T1, T2 e T4 e não diferiram do T7 (manejo não convencional: Excellen[®] + Sulfato de amônio + MicroEssentials[®], MIB - B+Mo+Zn + K-Mag[®] + Aspire[®]).

Tabela 12. Diâmetro de colmo (DC), número de internódios (NI), tonelada de cana por hectare (TCH) e produtividade de palhada (PP) da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.

Tratamento	DC mm	NI	TCH t ha ⁻¹	PP
T1	23,53 a	17,88 a	78,5 b	5,0 c
T2	25,27 a	19,94 a	79,2 b	7,7 a
T3	24,21 a	18,75 a	91,7 a	6,9 ab
T4	24,72 a	18,63 a	79,9 b	2,5 d
T5	23,27 a	19,50 a	90,7 a	4,3 c
T6	24,76 a	18,88 a	95,2 a	6,3 b
T7	23,38 a	20,38 a	86,7 ab	4,2 c
D.M.S. (%)	5,05	2,64	8,5	1,1
C.V. (%)	10,29	6,78	4,90	7,32
Média geral	24,16	19,13	86,0	5,2

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os tratamentos T3 e T7 apresentam o Aspire[®] (00-00-58 + 0,5% de B) que segundo a Mosaic (2024) propicia suprimento eficiente e nutrição equilibrada via solo de B e K (mesmo grânulo) e apresenta duas fontes de B (uma de liberação rápida e outra lenta), o que possibilita a disponibilidade do nutriente durante todo o ciclo da cultura.

O fertilizante Excellen[®] é uma fonte de nitrogênio mais estável, de alta concentração e de maior eficiência que as fontes convencionais, pois apresenta em sua formulação o inibidor de urease (NBPT), reduzindo assim as perdas de N por volatilização (MOSAIC, 2024). O outro fertilizante utilizado no manejo não convencional (T6) é o K-Mag[®] (00-00-21 + 21% de S + 10% de Mg) que é obtido pelo processamento do mineral natural langbeinita que é um mineral de sulfato de potássio e magnésio com a fórmula química $K_2Mg_2(SO_4)_3$, portanto, contendo em sua composição o Mg, S e K, baixo teor de cloro e alta solubilidade (MOSAIC, 2024). Nesse sentido, a introdução de fertilizantes de qualidade superior (Excellen[®] e K-Mag[®]) no processo de produção da cana-de-açúcar (CTC4) proporciona aumento de produtividade para a cultura da cana-de-açúcar.

Para os indicadores da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, a aplicação de todos os tratamentos não influenciou nos indicadores de fibra, Pol da cana, Brix e ATR da cana (Tabela 13). No entanto, o tratamento T7 proporcionou maior pureza do caldo

em relação aos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T6. E os tratamentos T3 (convencional) e T5, T6 e T7 (não convencionais) propiciaram maior produtividade de açúcar por hectare (TAH) de cana-de-açúcar em relação ao T1, com aumento de 2,5; 2,8; 3,4 e 2,2 t açúcar ha⁻¹ (T3, T5, T6, e T7, respectivamente). Portanto, no manejo da adubação potássica o tratamento T6 propiciou maior incremento de produtividade de açúcar por hectare.

Tabela 13. Fibra, pureza do caldo, Pol da cana (PC), Brix, açúcar total recuperável (ATR) da cana e a tonelada de açúcar por hectare (TAH) cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.

Tratamentos	Fibra	Pureza %	PC	Brix	ATR kg açúcar t ⁻¹ cana	TAH t açúcar ha ⁻¹
T1	12,8 a	82,8 b	16,3 a	23,6 a	163,0 a	12,8 c
T2	12,7 a	83,9 b	17,2 a	24,5 a	171,2 a	13,6 bc
T3	12,7 a	81,5 b	16,7 a	24,4 a	167,5 a	15,3 ab
T4	12,5 a	81,3 b	17,0 a	24,5 a	169,8 a	13,6 bc
T5	12,2 a	85,6 ab	17,2 a	23,9 a	171,3 a	15,6 a
T6	12,5 a	83,4 b	17,0 a	24,3 a	169,8 a	16,2 a
T7	13,0 a	89,6 a	17,3 a	23,2 a	170,7 a	15,0 ab
D.M.S. (%)	1,3	5,6	1,2	1,3	11,6	1,9
C.V. (%)	4,95	3,28	3,61	2,60	3,37	6,41
Média geral	12,6	84,0	16,9	24,0	169,1	14,6

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A aplicação de todos os tratamentos não influenciou nas concentrações de N, P, K, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn da folha diagnose da cana-de-açúcar (variedade CTC4) (Tabela 14). O tratamento T7 propiciou maior concentração de Ca foliar em relação aos tratamentos T3, T4 e T6 e maior concentração de B foliar em relação aos tratamentos T1 e T6. O tratamento T7 apresenta em sua composição os fertilizantes MIB (B+Mo+Zn) + Aspire[®] que forneceram quantidades de B via solo, suficientes para aumentar a concentração de B nas folhas da cana-de-açúcar.

O teor de B inicial no solo era de 0,07 mg dm⁻³ (Tabela 1) é tido como baixo (< 0,60 mg dm⁻³ de B) conforme a classificação de Boaretto *et al.* (2022). De acordo com Malavolta (2006) a baixa disponibilidade de B no solo é mais comum nas condições de baixo teor de matéria orgânica do solo e alta lixiviação de B no perfil do solo, principalmente em solos arenosos. Nesse sentido, a aplicação de B de forma eficiente para essa condição é de suma importância, pois propicia maior concentração foliar de B.

As concentrações de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Mn na folha diagnose são classificadas como adequadas (entre o valor mínimo e máximo), de N abaixo do valor mínimo e a de Zn acima do valor máximo. Tal constatação tendo como referência as

faixas de concentração dos nutrientes para a cultura da cana-de-açúcar preconizada por Quaggio *et al.* (2022): N (15-18 g kg⁻¹); P (1,5-3,0 g kg⁻¹); K (10-16 g kg⁻¹); Ca (2,0-5,0 g kg⁻¹); Mg (1,0-2,5 g kg⁻¹); S (1,2-2,0 g kg⁻¹); B (5-15 mg kg⁻¹); Cu (5-15 mg kg⁻¹); Fe (40-250 mg kg⁻¹); Mn (25-100 mg kg⁻¹) e Zn (10-30 mg kg⁻¹).

Tabela 14. Concentração de nutrientes na folha diagnose da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
T1	14,2 a	1,6 a	13,0 a	5,1 ab	2,1 a	1,3 a
T2	14,6 a	1,7 a	12,4 a	5,2 ab	2,1 a	1,4 a
T3	13,8 a	2,0 a	13,3 a	4,4 b	2,1 a	1,4 a
T4	13,9 a	2,0 a	12,7 a	4,5 b	2,0 a	1,4 a
T5	13,7 a	2,0 a	13,2 a	4,8 ab	1,9 a	1,3 a
T6	14,3 a	2,0 a	13,2 a	4,4 b	1,9 a	1,3 a
T7	13,8 a	2,0 a	12,7 a	5,4 a	2,2 a	1,5 a
D.M.S. (%)	1,9	0,7	1,2	0,8	0,4	0,4
C.V. (%)	4,70	12,73	3,37	6,12	7,59	10,30
Média geral	14,0	1,9	12,9	4,8	2,0	1,4
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	mg kg ⁻¹					
T1	8,1 b	4,5 a	172,7 a	88,0 a	46,3 a	
T2	8,8 ab	4,3 a	180,5 a	87,0 a	47,7 a	
T3	8,8 ab	5,5 a	179,3 a	70,0 a	49,0 a	
T4	8,5 ab	4,8 a	171,0 a	74,5 a	49,0 a	
T5	9,7 ab	4,7 a	164,3 a	73,0 a	47,0 a	
T6	7,8 b	4,3 a	161,3 a	77,0 a	47,0 a	
T7	10,3 a	5,0 a	171,3 a	77,7 a	47,7 a	
D.M.S. (%)	2,0	1,2	19,4	27,8	7,1	
C.V. (%)	7,81	8,62	3,95	12,45	5,20	
Média geral	8,9	4,7	171,5	78,2	47,7	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O teor de Mg inicial no solo era 16,0 mmol_c dm⁻³ (Tabela 1) é tido como alto (> 8,0 mmol_c dm⁻³ de Mg) conforme a classificação de Mattos Junior *et al.* (2022). Tal fato, explica a não diferença entre os tratamentos T1, T2, T3 e T4 (que não receberam fertilizante que contém Mg em sua composição) e os tratamentos T5, T6 e T7 (que receberam o K-Mag que tem em sua composição 10% de Mg) (Tabela 2). Nesse sentido, é esperado melhor desempenho da cultura em função da aplicação dessa fonte de Mg em áreas com teores mais baixo do nutriente ou que receberam calcário calcítico (baixo teor de Mg) na prática da correção do solo, ou mesmo em áreas que recebem altas aplicações de vinhaça, fornecendo muito K e desequilibrando a relação das bases trocáveis no solo, com prejuízo na absorção de Mg pela planta.

O teor de Zn inicial no solo era de $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 1) é tido como baixo ($<5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn) conforme a classificação de Boaretto *et al.* (2022). Tal fato, explica a não diferença entre os tratamentos convencionais (T1, T2 e T3) que receberam esse nutriente dos fertilizantes que contém em sua composição 0,45% de Zn (Tabela 2) e dos tratamentos não convencionais (T4, T5, T6 e T7) que receberam Zn dos fertilizantes MIB (B+Mo+Zn) (Tabela 2). Nesse sentido, independentemente da fonte de fertilizante da empresa Mosaic todos propiciaram alta concentração foliar de Zn nas plantas.

Os tratamentos T2 (manejo convencional) e T6 (manejo não convencional: inserção de novas tecnologias no manejo) propiciaram maiores acúmulos de N, P, Ca, Mg e S na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar em relação ao tratamento T1 (sem fornecimento de K “testemunha”) (Tabela 15). Em relação ao K esses tratamentos propiciaram maior acúmulo de K, no entanto, o T2 foi superior ao T6. O maior acúmulo dos nutrientes na palhada da cana-de-açúcar pode ser explicado pela melhora em termos nutricional das plantas.

Para o acúmulo dos micronutrientes, os tratamentos T2 (manejo convencional) e T6 (manejo não convencional: inserção de novas tecnologias no manejo) se destacaram em relação ao tratamento T1 (sem fornecimento de K “testemunha”) para os acúmulos de Cu, Fe, Mn e Zn (Tabela 15). No entanto, para o acúmulo de B na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar, os tratamentos T2 e T3 (manejo convencional) proporcionaram maior acúmulo de B em relação ao demais tratamentos.

Tabela 15. Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
T1	38,3 c	5,7 b	68,0 cd	13,2 ab	6,1 ab	5,5 b
T2	65,4 a	9,5 a	104,6 a	21,1 a	7,3 ab	8,5 a
T3	53,3 b	4,6 bc	70,4 c	20,8 a	7,6 a	7,8 a
T4	19,6 d	2,7 c	33,2 e	9,3 b	2,8 c	2,9 c
T5	35,1 c	4,5 bc	55,4 d	14,3 ab	5,5 ab	5,0 b
T6	55,6 ab	8,4 a	84,6 b	17,1 ab	7,4 a	7,5 a
T7	34,7 c	5,0 b	63,6 cd	12,0 ab	4,9 bc	4,9 b
D.M.S. (%)	11,0	2,0	13,5	9,7	2,5	1,7
C.V. (%)	8,93	12,12	6,91	21,99	14,44	10,08
Média geral	43,2	5,8	68,5	15,4	6,0	6,0
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	g ha ⁻¹					
T1	44,9 c	12,4 bc	1352,7 b	363,4 d	267,1 b	
T2	74,9 a	24,3 a	2555,3 a	584,0 b	378,8 a	
T3	77,6 a	13,9 b	1566,0 b	341,0 cd	367,9 a	
T4	25,5 d	5,1 d	696,3 c	171,8 e	131,6 c	
T5	40,6 c	8,5 cd	1289,8 b	378,6 c	233,6 b	
T6	59,7 b	14,7 b	2125,0 a	776,3 a	335,4 a	
T7	34,6 cd	8,1 cd	1182,1 b	267,3 d	225,6 b	
D.M.S. (%)	11,7	5,3	439,1	92,0	67,4	
C.V. (%)	7,99	14,93	9,98	7,81	8,50	
Média geral	51,1	12,4	1538,1	411,7	277,2	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os tratamentos T3 (manejo convencional) e T6 (manejo não convencional: inserção de novas tecnologias no manejo) propiciaram maiores acúmulos de N, P, Ca, Mg e S no colmo da cana-de-açúcar em relação ao tratamento T1 (sem fornecimento de K “testemunha”) (Tabela 16). Em relação ao acúmulo de K no colmo, esses tratamentos foram superiores aos demais, no entanto, não diferenciaram do tratamento T1.

Para o acúmulo dos micronutrientes no colmo, o tratamento T3 destacou-se para o B, Cu e Zn em relação aos demais tratamentos e não diferiu para os acúmulos de Fe e Mn no colmo propiciada pelos outros tratamentos (Tabela 16).

Tabela 16. Acúmulo de nutrientes no colmo da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
T1	70,1 b	18,2 bc	220,4 a	30,1 ab	41,6 bc	28,7 bc
T2	51,5 d	17,0 c	108,1 d	18,8 c	27,2 d	17,7 d
T3	91,3 a	23,3 ab	239,8 a	36,0 a	48,5 a	37,2 a
T4	71,8 b	23,6 a	162,4 b	25,0 bc	39,8 c	32,9 ab
T5	57,0 cd	17,1 c	129,8 cd	23,6 bc	32,0 d	24,2 cd
T6	85,8 a	23,6 a	215,0 a	31,3 ab	47,7 ab	34,2 ab
T7	64,3 bc	19,7 abc	140,1 bc	27,3 bc	29,4 d	28,9 bc
D.M.S. (%)	11,6	5,2	32,0	8,7	6,3	7,3
C.V. (%)	5,80	8,91	6,43	11,08	5,79	8,79
Média geral	70,3	20,3	173,7	27,4	38,0	29,1
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	g ha ⁻¹					
T1	174,6 c	90,6 b	1623,5 c	1147,4 bc	2049,8 abc	
T2	136,2 c	164,8 b	1712,8 c	1074,8 c	1380,5 c	
T3	300,7 a	801,1 a	2679,6 a	1311,9 abc	2702,2 a	
T4	242,5 b	189,5 b	2295,1 ab	1249,9 bc	2190,3 ab	
T5	135,6 c	80,8 b	2524,1 a	1455,1 ab	1639,5 bc	
T6	250,5 b	125,0 b	2532,0 a	1593,9 a	2311,3 ab	
T7	224,0 b	98,7 b	1919,4 bc	1178,1 bc	1915,2 bc	
D.M.S. (%)	44,7	109,4	555,4	317,0	675,2	
C.V. (%)	7,47	17,26	8,89	8,61	11,65	
Média geral	209,2	221,5	2183,8	1287,3	2027,0	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os tratamentos T3 (manejo convencional) e T6 (manejo não convencional: inserção de novas tecnologias no manejo) propiciaram maiores acúmulos de N, P, Ca, Mg e S na parte aérea (colmo + palhada) das plantas de cana-de-açúcar em relação ao tratamento T1 (sem fornecimento de K “testemunha”) (Tabela 17). Em relação ao acúmulo de K total na parte aérea, esses tratamentos foram superiores aos demais, no entanto, não diferenciaram do tratamento T1.

Para os acúmulos dos micronutrientes na parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, o tratamento T3 destacou-se para B, Cu e Zn em relação aos demais tratamentos e não diferiu para os acúmulos de Fe e Mn dos outros tratamentos (Tabela 17).

Tabela 17. Acúmulo de nutrientes na parte aérea total (colmo + palhada) da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.

Tratamentos	N	P	K kg ha ⁻¹	Ca	Mg	S
T1	108,4 bc	23,9 bc	288,4 a	43,3 abc	47,7 b	34,3 bc
T2	116,9 b	26,5 b	212,7 b	39,9 bc	34,5 d	26,3 d
T3	144,7 a	27,8 ab	310,1 a	56,8 a	56,1 a	45,1 a
T4	91,4 c	26,3 b	195,6 b	34,4 c	42,7 bc	35,6 bc
T5	92,1 c	21,5 c	185,2 b	37,9 bc	37,6 cd	29,3 cd
T6	141,4 a	32,0 a	299,6 a	48,4 ab	55,1 a	41,7 ab
T7	99,1 bc	24,8 bc	203,7 b	39,3 bc	34,3 d	33,8 c
D.M.S. (%)	19,6	4,6	37,2	13,9	6,8	7,5
C.V. (%)	6,04	6,15	5,37	11,38	5,41	7,44
Média geral	113,4	26,1	242,2	42,9	44,0	35,2
	B	Cu	Fe g ha ⁻¹	Mn	Zn	
T1	219,5 cde	102,9 b	2976,2 d	1510,7 bc	2316,9 bc	
T2	211,1 de	189,2 b	4268,2 ab	1658,8 bc	1759,3 c	
T3	378,2 a	814,9 a	4245,6 ab	1652,9 bc	3070,1 a	
T4	268,0 bc	194,6 b	2991,3 cd	1421,7 c	2322,0 bc	
T5	176,2 e	89,3 b	3813,8 bc	1833,8 b	1873,2 c	
T6	310,3 b	139,7 b	4656,9 a	2370,2 a	2646,8 ab	
T7	258,6 bcd	106,8 b	3101,5 cd	1445,3 c	2140,8 bc	
D.M.S. (%)	54,0	109,9	836,2	337,7	696,3	
C.V. (%)	7,25	16,43	7,86	6,95	10,57	
Média geral	260,3	233,9	3721,9	1699,0	2304,1	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De forma geral os tratamentos T3 e T6 foram semelhantes para os acúmulos dos macronutrientes (Tabelas 15, 16 e 17). No entanto, ambos não foram superiores em relação ao tratamento T1 (sem fornecimento de K “testemunha”) para o acúmulo de K (Tabelas 15, 16 e 17). Tal efeito, pode ser explicado pela condição de regime hídrico no local de condução do experimento, em que apenas no mês de janeiro, a precipitação pluvial foi de aproximadamente 500 mm (Figura 2). Isso associado à condição do solo da área do experimento, que apresenta textura arenosa, favorece intensamente as perdas de K pelo processo de lixiviação.

Pode se inferir que o efeito esperado com a inserção do fertilizante K-Mag no manejo da adubação potássica na cana-soca não foi evidente nessa condição. Pois essa fonte de K (T5, T6 e T7) apresenta menor solubilidade em relação ao KCl, o que implica em uma liberação mais lenta de K para a solução do solo e, consequentemente, menor perda do nutriente e aproveitamento pela cultura.

Para a produtividade de colmos, os tratamentos T3 e T6 foram superiores ao tratamento T1 (Tabelas 12 e 13) com incrementos de 13,2 e 16,7 t ha⁻¹. Nesse sentido, o

efeito da aplicação do T6 foi superior em termos de ganho de produtividade da cana-de-açúcar. Tal efeito, pode ser explicado pelo fornecimento de macronutrientes “secundários” presentes no manejo do tratamento T6, que forneceu Mg e S (2,0 e 13,0 kg ha⁻¹, respectivamente) (Tabela 2).

Embora o tratamento T3 não tenha fornecido Mg e S, deve-se considerar que provavelmente a sua aplicação supriu mais a cultura da cana-de-açúcar em B, pois apresenta o Aspire® (00-00-58 + 0,5% B), que propiciou maior acúmulo de B na mesma em relação aos outros tratamentos (Tabelas 15, 16 e 17). Segundo a Mosaic (2024), esse fertilizante propicia suprimento eficiente e nutrição equilibrada via solo de B e K (mesmo grânulo) e apresenta duas fontes de B (liberação rápida e lenta), o que possibilita a disponibilidade do nutriente durante todo o ciclo da cultura.

De acordo com Malavolta (2006) a baixa disponibilidade de B no solo está associado a alta lixiviação do nutriente no perfil do solo, principalmente em solos arenosos. Nesse sentido, é provável que a utilização do Aspire® nas condições de baixo teor de B no solo e de textura arenosa (condição do experimento) proporcionou benefícios à cultura da cana-de-açúcar.

A aplicação de todos os tratamentos influenciou nos teores de P, Ca e Mg no solo após o cultivo da cana-soca (residual de P). Nota-se que nos tratamentos que ocorreram maiores acúmulos de P, Ca e Mg na parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 17), resultando no menor teor desses nutrientes no solo (Tabela 18). Pois com o maior crescimento das plantas propiciado pela aplicação de um determinado nutriente, há uma tendência de maior absorção e acúmulo na planta dos outros (maior volume do sistema radicular) e, consequentemente, na sua redução no solo.

O efeito nos teores de Ca e Mg no solo influenciou na SB e CTC, pois ambos atributos químicos do solo são calculados pela soma dos cátions trocáveis (nesse caso os de Ca e Mg). Os maiores teores de Fe no solo foram observados nos tratamentos T1 e T6, sem diferir do T2. Em relação aos outros nutrientes e atributos do solo, a aplicação de todos os tratamentos não influenciou nesses atributos químicos estudados (Tabela 18).

Tabela 18. Análise química do solo após o cultivo da cana-de-açúcar (CTC4) em função de diferentes manejos de adubação. Pirajuí/SP, 2023.

Tratamentos	P _{resina} mg dm ⁻³	S-SO ₄	K	Ca	Mg	SB
				mmol _c dm ⁻³		
T1	32,3 a	4,7 a	0,7 a	21,7 d	12,5 b	34,8 c
T2	36,3 a	6,7 a	0,7 a	43,5 a	27,0 a	71,2 a
T3	14,5 bc	4,0 a	0,7 a	41,5 ab	28,7 a	70,8 a
T4	24,7 ab	5,3 a	0,7 a	27,0 dc	16,0 ab	43,7 bc
T5	17,5 bc	5,7 a	0,8 a	28,0 bcd	22,3 ab	51,1 abc
T6	10,0 c	5,3 a	0,7 a	23,7 d	17,3 ab	41,7 bc
T7	11,5 c	5,0 a	0,7 a	39,0 abc	25,8 a	65,5 ab
D.M.S. (%)	12,5	2,7	0,3	14,4	12,8	25,2
C.V. (%)	20,79	18,24	14,63	15,74	20,90	16,28
Média geral	20,9	5,2	0,7	32,0	21,4	54,1
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Al
			mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³
T1	0,05 a	1,4 a	25,5 a	13,8 a	1,4 a	0,0
T2	0,05 a	1,3 a	19,7 ab	14,7 a	1,5 a	0,0
T3	0,06 a	1,7 a	14,0 bc	15,0 a	1,6 a	0,0
T4	0,05 a	1,4 a	14,5 bc	14,7 a	1,4 a	0,0
T5	0,06 a	1,3 a	12,0 c	13,9 a	1,3 a	0,0
T6	0,05 a	1,3 a	16,3 bc	15,3 a	1,3 a	0,0
T7	0,04 a	1,6 a	24,7 a	16,0 a	1,3 a	0,0
D.M.S. (%)	0,04	0,8	7,1	3,7	0,8	0,0
C.V. (%)	27,24	18,97	13,81	8,71	20,61	0,0
Média geral	0,05	1,4	18,1	14,8	1,4	0,0
	pH	MO	CTC	H+Al	V	
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³		%	
T1	6,4 a	14,7 a	49,67 c	12,0 a	79,7 a	
T2	6,6 a	16,7 a	67,60 abc	12,0 a	84,3 a	
T3	6,5 a	15,3 a	86,10 a	11,7 a	84,0 a	
T4	6,5 a	14,7 a	56,33 c	11,7 a	75,7 a	
T5	6,5 a	15,7 a	60,47 bc	11,7 a	83,3 a	
T6	6,3 a	15,7 a	53,73 c	12,0 a	77,7 a	
T7	6,3 a	15,7 a	78,70 ab	12,3 a	77,7 a	
D.M.S. (%)	0,8	7,9	21,8	2,6	26,0	
C.V. (%)	4,27	17,95	11,78	7,67	11,32	
Média geral	6,4	15,5	64,6	11,9	80,3	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.3. Média das duas Variedades de cana-de-açúcar (Aplicação do teste de Tukey e Scheffé)

Independente das condições locais do experimento e da variedade cultivada, o tratamento T6 propiciou maior produtividade de colmos e açúcar por hectare (Tabela 19), com incrementos de 16,8; 14,9; 22,7; 18,5; 18,2 e 12,4 t cana ha⁻¹ em relação aos tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T7, respectivamente. Assim a menor diferença de produtividade foi entre os tratamentos T6 e T7, sendo que no manejo desse foi retirado todo o KCl e incluído o fertilizante Aspire[®].

Tabela 19. Contrastes de interesse para a tonelada de cana por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR) da cana e a tonelada de açúcar por hectare (TAH) da cana-de-açúcar, considerando os dados médios de duas variedades (RB985476 e CTC4, Guaçara/SP e Pirajuí/SP, respectivamente) em função de diferentes manejos de adubação. Guaçara/SP e Pirajuí/SP, 2023.

Tratamentos	TCH t cana ha ⁻¹	ATR kg açúcar t ⁻¹ cana	TAH t açúcar ha ⁻¹
T1	84,8 bc	163,7 a	13,8 cd
T2	86,7 b	170,2 a	14,9 bc
T3	78,9 c	171,9 a	13,5 d
T4	83,1 bc	170,3 a	14,2 bcd
T5	83,4 bc	168,5 a	14,2 bcd
T6	101,6 a	167,3 a	17,0 a
T7	89,2 b	170,7 a	15,4 b
D.M.S. (%)	6,1	9,2	1,3
C.V. (%)	3,48	2,68	4,22
Média geral	86,8	168,9	14,7
Contrastes	TCH t cana ha ⁻¹	ATR kg açúcar t ⁻¹ cana	TAH t açúcar ha ⁻¹
[(T4+T5+T6+T7) - 2(T2+T3)]	<i>Contraste 1: Não Convencional x Convencional</i> +6,5**	ns	+1,0**
[(T5+T6) - 2(T4)]	<i>Contraste 2: K-MAG + KCl x somente KCl</i> +9,4**	ns	+1,4**

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

**significativo a 1%, *significativo a 5% e ns = não significativo pelo teste de Scheffé.

Foi realizado o teste de Scheffé (contraste) com o intuito de comparar os diferentes tipos de manejo. No primeiro contraste constatou-se que as tecnologias dos fertilizantes Excellen®; Microessentials® e K-MAG® incluídas nos manejos dos tratamentos T4, T5, T6 e T7 resultou no aumento médio de 6,5 t cana ha⁻¹ e 1,0 t açúcar ha⁻¹ em relação aos tratamentos T2 e T3 (manejo convencional) (Tabela 19).

No segundo contraste verificou-se a mistura de K-MAG® e KCl (tratamentos T5 e T6) que propiciou aumento médio de 9,4 t cana ha⁻¹ e 1,4 t açúcar ha⁻¹ em relação ao tratamento T4 (somente KCl como fonte de K) (Tabela 19). O KCl apresenta maior solubilidade em relação a langbeinita, o que implica em uma liberação mais rápida de K para a solução do solo com o uso de KCl e mais lenta (gradual) com o de K-Mag®.

A quantidade utilizada dessas fontes foi interessante (Tabela 2), pois a primeira propicia uma liberação mais rápida, atendendo assim as necessidades da cultura na fase inicial da rebrota da cana-soca e a segunda fonte as fases subsequentes até a colheita. Tal associação, permite menor perdas de K pelo processo de lixiviação, principalmente, nas condições do solo do experimento, de textura arenosa e, conseqüentemente, proporciona condições de melhor aproveitamento da adubação potássica, ou seja, é mais eficiente que

o manejo da adubação mineral tradicional que é adotado pela Usina Lins para cana-soca em solo arenoso, com baixo teor de K no solo.

5. CONCLUSÕES

A aplicação do tratamento T6 (53 e 47% de K_2O proveniente das fontes K-MAG e KCl, respectivamente) no manejo da adubação de cana-soca, forneceu de forma equilibrada e adequada os nutrientes para a cultura e, conseqüentemente, aumentou a produtividade e qualidade tecnológica da mesma cultivada em solo de textura arenosa com baixo teor de K. Esse tratamento foi o que proporcionou os melhores resultados agrônômicos e tecnológicos na área de Latossolo, cultivada com a variedade RB985476, destacando-se em produtividade e qualidade do caldo. Portanto, recomenda-se o tratamento 6 para uma adubação mais eficiente da cana-soca.

Na área de Argissolo, cultivada com a variedade CTC4, o tratamento T7, composto pela mistura de K-MAG® e Aspire®, demonstrou desempenho superior, indicando que a substituição total do KCl por fontes mais tecnológicas de potássio é viável e eficaz.

Na presente pesquisa, não foi proposto tratamentos com a mistura de KCl + Aspire e KCl + Aspire + K-MAG no manejo da cana-soca. No entanto, os dados da pesquisa aventam para possíveis benefícios para a cultura, pelas seguintes hipóteses: 1ª KCl de liberação rápida (fase inicial da rebrota); 2ª K-MAG de liberação lenta (fase subsequentes até a colheita) e 3ª Aspire fornece K e B para a cultura, sendo que apresenta duas fontes de B (liberação rápida e lenta), o que possibilita a disponibilidade do nutriente durante todo o ciclo da cultura.

6. REFERÊNCIAS

Borelli, L. M. Fertilizantes de eficiência aprimorada – perspectivas e potencial de uso de biopolímeros como matrizes de liberação lenta ou controlada. Universidade Federal de São Carlos, Araras. **Monografia (Engenharia Agrônômica)**. 2020, p.56.

Caetano, J. O. et al. Dinâmica da matéria orgânica de um neossolo quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1245–1255, out. 2013.

Casarin V, Stipp SR. Manejo 4C - Quatro medidas corretas que levam ao uso eficiente dos fertilizantes. **Informações Agronômicas** nº 142, 2013.

Certini, G.; Ugolini, F. C. An updated, expanded, universal definition of soil. **Geoderma**, v. 192, p. 378–379, jan. 2013.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **CNA analisa custos de produção da cadeia de cana-de-açúcar**, 2022. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/noticias/cna-analisa-custos-de-producao-da-cadeia-de-cana-de-acucar>. Acessado em: 20 setembro de 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 10, n. 4, abril 2023, 49 p.

CONSECANA - Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba: Consecana, 2006. 112 p.

Demattê, J. L. I. Manejo e conservação de solos, na cultura da cana. **Visão agrícola**, v. 1, p. 8-17, 2004.

Donagemma, G. K. *et al.* Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, set. 2016.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. **Manual do medidor eletrônico de clorofila ClorofiLOG CFL 1030**, Porto Alegre, 2008. 4p.

Ferreira DF. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

Fiuza Júnior RF, Carriço CS, Teles CA. Prospecção tecnológica sobre fertilizantes de eficiência aprimorada. **Cadernos de Prospecção** - ISSN 1983-1358 (print) 2317-0026 (online), 2013, vol.6, n.4, p.480-489.

Kopittke PM, Menzies NW, Wang P, McKenna BA, Lombi E. Soil and the intensification of agriculture for global food security. **Environ. Int.** 2019; 132:105078.

Lara Cabezas WAR, Korndörfer GH, Motta SA. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.489-496, 1997.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

Oliveira, F. X. *et al.* Zona de manejo para o preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2015, V.19, n.2, p. 186-193,

ONU - Organização das Nações Unidas. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acessado em: 20 setembro de 2023.

Penatti, P. C. Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência. São Paulo: **Ottoni Editora**, 2013.

Pereira, S. D. A. Influência do fósforo sobre características agronômicas em cana-de-açúcar. 2017. 35f. **Monografia (Engenharia Agrônômica)** - Universidade de Brasília - UnB, 2017.

Pourjavadi, A., Soleyman, R., Bardajee, R. G., Novel High Capacity Swelling Superabsorbent Composite and Its Potential for Controlled Release of fertilizers, **Iranian journal of chemistry**. 2010, V. 29, n. 4, p. p. 113-123.

Raij B van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.

Raij B van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC, eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. 285p.

Raij B van, Cantarella H. Outras culturas industriais: Cana-de-açúcar. In: Raij B van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p.233–239.

Raij B van, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

Rodella, A. A. Requisitos de qualidade dos fertilizantes minerais. Piracicaba: IPNI – **International Plant Nutrition Institute**, 2018.

Rodrigues, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, 2010, v.3, p. 215-221.

Rosa PAL, Galindo FS, Oliveira CEC, Jalal A, Mortinho ES, Fernandes GC, Marega EMR, Buzetti S, Teixeira Filho MCM. Inoculation with plant growth-promoting bacteria to reduce phosphate fertilization requirement and enhance technological quality and yield of sugarcane. **Microorganisms**, 2022;10:192.

Rossa, U. B. *et al.* Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de Araucaria angustifolia e Ocotea odorifera. **Rev. Floresta**, Curitiba, 2011, v.41, n.3, p. 491-500.

Silva, F. B. V.; Nascimento, C. W. A.; Alvarez, A. M.; *et al.* Inputs of rare earth elements in Brazilian agricultural soils via P-containing fertilizers and soil correctives. **Journal of Environmental Management**, 2019, v. 232, p. 90–96.

Silva, J.P.N.; Silva, M.N.; Noções da Cultura da Cana-de-Açúcar. **Rede e-Tec**, 2012, 106p.

Simões, D. E. *et al.* Características agroindustriais da cana-de-açúcar em função da adubação fosfatada, em solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2012, v. 16, n. 4, p. 347-354.

Trenkel, M.E., Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture in Agriculture. **International Fertilizer Industry Association (IFA)** Paris, France, 2010.

Valderrama, M. *et al.* Nitrogen fertilization in corn with urea coated with different sources of polymers. Rev. **Ciências Agrárias**, Londrina, 2014, v.35, n.2, p.659-670.

Vandenberghe LPS, Valladares-Diestra KK, Bittencourt GA, Torres LZ, Vieira S, Karp SG, Sydney EB, de Carvalho JC, Soccol VT, Soccol CR. Beyond sugar and ethanol: The future of sugarcane biorefineries in Brazil. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 2022; 167:11272.

Vian, C. E. F. Embrapa – Cana: **Séries históricas**. Brasília, DF, 2022.