

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

**Juliana Françoso da Silva Mantovani**

Bióloga e Farmacêutica

**EFEITO RESIDUAL DA POLIHALITA NOS ATRIBUTOS  
QUÍMICOS DO SOLO, NO ESTADO NUTRICIONAL E  
PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dracena - SP

2024

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

**Juliana Françoso da Silva Mantovani**

Bióloga e Farmacêutica

**EFEITO RESIDUAL DA POLIHALITA NOS ATRIBUTOS  
QUÍMICOS DO SOLO, NO ESTADO NUTRICIONAL E  
PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Câmpus de Dracena como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal.

Orientador: Prof. Dr. Reges Heinrichs

Dracena - SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvida pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação  
Campus de Dracena

M293e

Mantovani, Juliana Françoço da Silva

Efeito residual da Polihalita nos atributos químicos do solo, no estado nutricional e produção de cana-de-açúcar / Juliana Françoço da Silva Mantovani. -- Dracena: [s.n.], 2024.

56 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena. Área do conhecimento: Produção Animal, 2024.

Orientador: Reges Heinrichs

1. Potássio. 2. Adubação. 3. Fertilidade do solo. 4. Cana-de-açúcar. I. Título.

Bibliotecário Fábio S. Rosas  
CRB 8/6665

## **IMPACTO ESPERADO NA SOCIEDADE**

A Polihalita é composta por uma mescla de nutrientes, o K, Ca, Mg e S promovendo a nutrição das culturas de maneira mais eficiente, reduzindo a quantidade de fertilizantes que precisam ser aplicados, diminuindo a pegada de carbono associada à agricultura, minimizando o impacto ambiental. Com baixo teor de cloro é mais favorável para culturas sensíveis ao cloro. Além disso, a liberação de seus nutrientes de forma gradual no solo, evita a lixiviação excessiva e a perda de nutrientes, promovendo uma nutrição mais eficiente do solo. O uso de Polihalita no solo é uma prática agrônômica benéfica, que além de melhorar a saúde do solo, promove a nutrição das plantas, contribuindo para o manejo mais sustentável e para segurança alimentar global.

## **EXPECTED IMPACT ON SOCIETY**

Polysulphate is composed of a blend of nutrients, including K, Ca, Mg, and S, which promotes more efficient crop nutrition by reducing the amount of products that need to be applied. This decreases the carbon footprint associated with agriculture and minimizes environmental impact. With a low chlorine content, it is more favorable for crops sensitive to chlorine. Additionally, the gradual release of its nutrients into the soil prevents excessive leaching and nutrient loss, promoting more efficient soil nutrition. The use of Polysulphate in the soil is a beneficial agronomic practice that, in addition to improving soil health, enhances plant nutrition, contributing to more sustainable management and global food security.

# CERTIFICADO DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Dracena



## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITO RESIDUAL DA POLIHALITA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO,  
NO ESTADO NUTRICIONAL E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

AUTORA: JULIANA FRANÇOSO DA SILVA MANTOVANI

ORIENTADOR: REGES HEINRICHS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências, pela Comissão Examinadora:

Prof. Assoc. REGES HEINRICHS (Participação Virtual)  
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - Unesp - Câmpus de Dracena

Pesquisador Dr. ADÔNIS MOREIRA (Participação Virtual)  
Departamento de Fertilização do Solo e Nutrição de Plantas / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Soja)

Dr. MAURÍCIO BRUNO PRADO DA SILVA (Participação Virtual)  
Pós-Doc do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Animal - PPGCTA / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - Unesp - Câmpus de Dracena

Dracena, 23 de julho de 2024

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Juliana Françoso da Silva Mantovani, nasceu em Adamantina estado de São Paulo, no dia 28 de agosto de 1979. Concluiu o curso de Biologia (ano 2000) e Farmácia (ano 2003) na Faculdades Adamantinenses Integradas, Adamantina estado de São Paulo. No ano de 2022, finalizou a ps-graduao em Biologia Molecular e Celular, Faculdade Faveni. Em agosto de 2022, ingressou no Programa de Ciência e Tecnologia Animal para realizao do Mestrado, na faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas-UNESP, na cidade de Dracena estado de São Paulo, tornando-se membro do grupo de Experimentao em Nutrio e Adubao de Plantas - GENAP. Atua como docente na área de Biologia, Química e Física, e atualmente ministra as disciplinas de Ciências e Tecnologia, na escola Estadual Helen Keller na cidade de Adamantina-SP.

## DEDICATÓRIA

Ao meu pai José da Silva, minha mãe Valdeci de Lourdes Françoso da Silva, minha filha Eloá Françoso da Silva Mantovani e meu esposo Edimar Mantovani, por todo amor, compreensão e incentivo para atingir meus objetivos, Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por me ajudar a trilhar o caminho até aqui. Por me abençoar, guiar e me dar perseverança para concretizar meu trabalho. À Nossa Senhora Aparecida, que intercede por mim junto a Deus, aos meus pais, José da Silva e Valdeci de Lourdes Françoso da Silva que me educaram e possibilitaram essa conquista pessoal e profissional. À minha amada filha Eloá Françoso da Silva Mantovani, que teve o seu primeiro contato com a escrita, rabiscando meus cadernos e foi crescendo em meio aos meus livros, peço desculpas pela minha ausência nos momentos de estudo, mas tenho certeza que todo amor do mundo é dado diariamente à você. Ao meu esposo que me compreendeu e me apoiou nessa trajetória de estudos, me incentivando diariamente. Agradeço à minha querida irmã Josiane Françoso da Silva Oliveira pelo carinho e conselhos recebidos. Ao meu orientador Prof. Dr. Reges Heinrichs, pela oportunidade, confiança, paciência, apoio, ensinamentos e contribuições para o meu futuro profissional e pessoal desde meu ingresso no mestrado e a todos os professores da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas-FCAT-Dracena-SP, por todo conhecimento compartilhado na pós-graduação.

Aos membros do GENAP (Grupo de Experimentação em Nutrição e Adubação de Plantas), pelo companheirismo e ajuda na execução dos trabalhos, em especial ao Clayton L. Baravelli de Oliveira, Juliana Bonfim Cassimiro, José Augusto Liberato de Souza, Karen Vitória Alvares, Gabriel dos Anjos, Matheus Okazuka e Gabriela Freitas, que compartilharam conhecimentos e participaram dessa conquista, e a todos que de alguma forma, contribuíram para realização dessa pesquisa.

Pois o Senhor dá sabedoria, de sua boca vem o conhecimento e a compreensão. (Provérbios 2:6)

## RESUMO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância no setor sucroenergético, sendo crucial para a produção de açúcar, etanol e outros subprodutos. Durante os ciclos de desenvolvimento, as plantas absorvem grandes quantidades de potássio, tornando-se imprescindível a reposição do nutriente no solo a longo prazo. A polihalita é um fertilizante composto por uma mistura de quatro macronutrientes, o K, Ca, Mg e S, com baixo teor de Cl, menor solubilidade em água, comparada às outras fontes potássicas, liberação lenta de nutrientes e baixa pegada de carbono, diminuindo o efeito estufa. O presente estudo teve como objetivo, avaliar o efeito da aplicação de doses e fontes potássicas no perfil do solo, concentração foliar, produtividade e qualidade tecnológica, além de investigar o possível efeito residual nas soqueiras de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido entre os anos de 2021 a 2023, em uma área comercial localizada em São João do Pau d'Alho estado de São Paulo, na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), variedade CTC 4. O delineamento experimental foi em blocos casualizados composto por 4 repetições com 10 tratamentos: T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); T3 – KCl (120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); T4 – gesso + KCl (1.300 + 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); T5 Polihalita (120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); T6 – Polihalita (240 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); T7 Polihalita (360 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); T8 – Polihalita + KCl (1:2) (120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); T9 – Polihalita + KCl (2:1) (120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e T10 – Polihalita (120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). Nas avaliações dos teores de K no solo após a colheita do primeiro ano do estudo (cana-planta), o tratamento com 2/3 de Polihalita e 1/3 de KCl apresentou uma resposta positiva seguido dos tratamentos com doses elevadas de polihalita, sugerindo uma vantagem dessa mistura. Os teores foliares do S, da segunda soca apresentaram efeito significativo no tratamento com aplicação anual de Polihalita na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. O estudo indica que assim como o KCl, a Polihalita pode ser usada como fonte de fertilizante na cultura da cana-de-açúcar, proporcionando níveis adequados de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

**Palavras-chave:** Potássio. Adubação. Fertilidade do solo. Cana-de-açúcar.

## SUMMARY

Sugarcane is a crop of great importance in the sugar-energy sector, being crucial for the production of sugar, ethanol, and other by-products. During the growth cycles, the plants absorb large amounts of potassium, making it essential to replenish this nutrient in the soil over the long term. Polyhalite is a fertilizer composed of a mixture of four macronutrients: K, Ca, Mg, and S, with low Cl content, lower water solubility compared to other potassium sources, slow nutrient release, and a low carbon footprint, reducing the greenhouse effect. This study aimed to evaluate the effect of applying different doses and potassium sources on soil profile, foliar concentration, productivity, and technological quality, as well as investigate the possible residual effect on sugarcane ratoons. The experiment was conducted between 2021 and 2023, in a commercial area located in São João do Pau d'Alho, São Paulo state, in sugarcane (*Saccharum spp.*), variety CTC 4. The experimental design was randomized blocks with four replications and ten treatments: T1 – gypsum (1,000); T2 – gypsum + KCl (1,000+120 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O); T3 – KCl (120 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O); T4 – gypsum + KCl (1,300 + 120 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O); T5 – Polyhalite (120 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O); T6 – Polyhalite (240 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O); T7 – Polyhalite (360 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O); T8 – Polyhalite + KCl (1:2) (120 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O); T9 – Polyhalite + KCl (2:1) (120 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O); and T10 – Polyhalite (120 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O). In the evaluations of soil K levels after the first year of study (plant-cane) harvest, the treatment with 2/3 Polyhalite and 1/3 KCl showed a positive response, followed by treatments with higher doses of Polyhalite, suggesting an advantage of this mixture. The foliar levels of S in the second ratoon showed a significant effect in the treatment with the annual application of Polyhalite at a dose of 120 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. The study indicates that, like KCl, Polyhalite can be used as a fertilizer source in sugarcane cultivation, providing adequate nutrient levels for plant growth and development.

**Keywords:** Potassium. Fertilization. Soil fertility. Sugar cane.

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
1.1 Revisão de Literatura .....	14
1.1.1 Cana-de-açúcar .....	14
1.1.2 Características da variedade CTC 4 .....	14
1.1.3 Importância do potássio na cana-de-açúcar .....	15
1.1.4 Fertilizante multinutriente .....	15
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
2.1 Local Experimental.....	17
2.2 Desenho Experimental e Tratamentos .....	20
2.3 Condução da Pesquisa .....	22
2.4 Avaliações.....	22
2.4.1 Diagnose foliar da cana-de-açúcar .....	22
2.4.2 Contagem de colmos .....	22
2.4.3 Produtividade de colmos.....	23
2.4.4 Qualidade tecnológica .....	23
2.4.5 Exportação de nutrientes pelos colmos .....	24
2.4.6 Análise química do solo .....	24
2.5 Análises Estatísticas.....	24
3 RESULTADOS .....	25
3.1 Disponibilidade de Nutrientes no Solo .....	25
3.2 Estado Nutricional da Cana-de-Açúcar .....	32
3.2.1 Correlações entre as concentrações de nutrientes foliares e produtividade de colmos de cana-de-açúcar.....	35
3.3 Produtividade de Colmos e Qualidade Tecnológica.....	37
3.4 Nutrientes Exportados da Cana-de-Açúcar.....	41
4 DISCUSSÃO .....	43
4.1 Aprimoramento de Nutrientes no Solo .....	43
4.2 Dinâmica dos Nutrientes na Planta .....	45
4.3 Efeitos dos Nutrientes Aplicados na Produtividade e Qualidade Tecnológica .....	46
4.4 Extração de Nutrientes pelos Colmos .....	48
CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	50



## 1 INTRODUÇÃO

Na região sudeste do estado de São Paulo, está centralizada a maior produção de cana-de-açúcar do país. O Brasil produziu cerca 37 mil toneladas de açúcar e 27 milhões de litros de etanol na safra 2022/2023 (CONAB, 2024), ostentando uma perspectiva de crescimento da cultura para atender a demanda. As condições climáticas da safra 2021/22 refletiu na safra 2022/23, apresentando baixos índices pluviométricos associados às baixas temperaturas, simultaneamente, o fenômeno La Niña, ocasionou adversidade afetando safras de diferentes culturas, entretanto, a área estimada de produção no estado de São Paulo é de 75,4 t ha<sup>-1</sup> na safra (2022/2023) (CONAB, 2024). As informações fornecidas, destaca a importância do cultivo da cultura, na expansão constante de produção de energia limpa e renovável (Oliveira *et al.*, 2022), ademais, é também matéria-prima versátil, produzindo produtos como o açúcar e aguardente, e gera uma variedade de subprodutos, entre eles, o bagaço, a vinhaça, o papel e o bioplástico, sendo essa, a razão pela qual ela é amplamente cultivada em várias partes do mundo. Portanto, a cana-de-açúcar e seus variados usos, tem um potencial de melhorar as condições de vida em várias regiões, com possibilidade de tornar-se fonte de renda em áreas com baixo desenvolvimento econômico (Heinrichs *et al.*, 2017).

A expansão da cultura, ressalta a necessidade de cuidados com o solo, especialmente em relação à adubação, onde o manejo torna-se crucial para o desempenho das culturas agrícolas (Oliveira *et al.*, 2023). Os elementos são essenciais porque exercem funções na vida da planta. O potássio possui as funções de economia de água, abertura e fechamento dos estômatos, fotossíntese e ativação de enzimas (Malavolta, Vitti; Oliveira, 1997), portanto, o desafio é conseguir altas produtividades e rentabilidades, abrangendo o diagnóstico da fertilidade dos solos e o manejo de adubação adequada, repondo as quantidades de K que as plantas extraíram do solo, onde o fertilizante KCl ou MOP, é o mais tradicional, aplicado nas culturas, no entanto, certas plantas são vulneráveis à salinidade (Murrell *et al.*, 2021).

A introdução da Polihalita como fertilizante é uma contribuição relevante para a agricultura, especialmente por sua composição rica em nutrientes essenciais para as plantas, como potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), além de possuir

baixo teor de Cl, o que evita problemas como a salinização e compactação do solo. Essa composição de nutrientes essenciais pode trazer benefícios para a cultura de cana-de-açúcar, promovendo um melhor desenvolvimento vegetativo e maior produtividade. Uma análise declarada dos componentes da Polihalita revela que ela é composta por 48% de trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>), 14% de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), 6% de óxido de magnésio (MgO) e 17% de óxido de cálcio (CaO), de acordo com (Yermiyahu *et al.*, 2017). É um tipo de fertilizante com liberação lenta de nutrientes, mineralizando-os de forma mais gradual em comparação com tratamentos que utilizam sais de sulfato equivalentes (Barbarick, K A, 1991; Huang *et al.*, 2020). Essa mineralização lenta pode resultar em uma redução nas perdas de K, ajudando maximizar a absorção e retenção de nutrientes pelas plantas. O fertilizante tem sido estudado em diversas culturas como milho, cana-de-açúcar, cenoura, batata, arroz, pomares de frutas e nozes (Dal Molin *et al.*, 2020; Gokul *et al.*; 2023; Huang *et al.*, 2020; Mello *et al.*, 2018; Vale; Sério, 2017; Yu *et al.*, 2023).

Para otimizar o manejo sustentável de nutrientes na cultura da cana-de-açúcar, é fundamental implementar práticas agrícolas viabilizando a saúde do solo. De acordo com (Dal Molin *et al.*, 2020), a Polihalita mostra-se como alternativa aos fertilizantes convencionais usados no Brasil. Possui a vantagem de sua ocorrência ser natural na forma mineral, deste modo, é um fertilizante que pode ser aproveitado na agricultura orgânica, tornando-se um mercado vantajoso para a cana-de-açúcar orgânica brasileira (Herrera *et al.*, 2022).

O objetivo do estudo foi avaliar o manejo da adubação com Polihalita no plantio e na soqueira, e os efeitos na fertilidade do solo, no estado nutricional e produtividade de cana-de-açúcar em três anos sucessivos.

## 1.1 Revisão de Literatura

### 1.1.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma cultura de grande importância socioeconômica e desempenha um papel crucial na produção de açúcar, etanol e geração de bioenergia. O Brasil se destaca pela produção de cana-de-açúcar, com área cultivada em torno de 9,9 milhões de hectares (FAOSTAT, 2024). Com aumento de 16,8% na safra 2023/2024 comparada à safra 2022/2023, a estimativa da safra 2023/24 de produção de cana-de-açúcar é de 713,2 milhões de toneladas. A região Sudeste é a maior produtora de cana-de-açúcar do país produzindo 64,2%, com área colhida estimada em 5,34 milhões de hectares (CONAB, 2024). É uma cultura estratégica, produzindo produtos como o açúcar e aguardente, e subprodutos, o bagaço, a vinhaça, o papel e o bioplástico, com grande impacto na economia, contribuindo para seu cultivo em diferentes países.

O Brasil exportou 35,2 milhões de toneladas de açúcar na safra 2023/24 para China, Índia e Indonésia, e manterá a sua posição, como o maior produtor mundial de açúcar, buscando aumentar simultaneamente a produção de biocombustíveis (CONAB, 2024). A tecnologia flex fuel em automóveis, aumentou significativamente a demanda e os investimentos para produção do etanol (Benites-Lazaro; Mello-Théry; Lahsen, 2017), tornou-se uma estratégia global importante para diminuir as emissões de gases de efeito estufa (De Oliveira Lino *et al.*, 2024).

Para produção de energia renovável, o conhecimento das propriedades físico químicas da cana-de-açúcar é fundamental para o aproveitamento dos resíduos do bagaço da cana (Vivian *et al.*, 2022), sendo essa, uma prática aplicada em países como o Brasil, onde a cana-de-açúcar é vastamente cultivada.

O Brasil possui uma combinação de fatores como o clima e o solo favoráveis para o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar, onde os diversos avanços tecnológicos, como a colheita mecanizada, visam a preservação ambiental, e o manejo com fertilizantes potássicos é de grande importância para o desenvolvimento adequado da planta.

### 1.1.2 Características da variedade CTC 4

A cana-de-açúcar é uma cultura perene, a variedade CTC 4 apresenta colmos médios à longo, bom perfilhamento, alto teor de sacarose e fácil despalha. No Brasil

a área de cultivo está em expansão e atingiu 11,9% da área total de cana na safra 2021/2022. Esse crescimento está relacionado ao seu bom desempenho com a colheita mecanizada e resistência ao pisoteio das máquinas. Quanto às doenças, é moderadamente resistente à ferrugem (Agroadvance, 2023).

### **1.1.3 Importância do potássio na cana-de-açúcar**

A cultura da cana-de-açúcar necessita de uma quantidade significativa de potássio para alcançar altos níveis de produtividade e qualidade. Com relação à nutrição das plantas, a demanda por nutrientes é elevada para o desenvolvimento da planta. Fertilizantes ricos em nitrogênio, fósforo e potássio são frequentemente aplicados para promover o crescimento das plantas. Os solos tropicais apresentam baixo teor de potássio. Na cana-de-açúcar, essa deficiência induz a um crescimento reduzido, os internódios ficam curtos, colmos finos e diminuição dos brotos (Feltrin *et al.*, 2010). Com alta demanda por fertilizantes potássicos, o solo onde a cana-de-açúcar é cultivada, necessita da adubação para manter os níveis adequados desse nutriente. A aplicação do K ocorre habitualmente uma única vez, utilizando doses de 80 a 140 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Raij *et al.*, 1997).

O potássio é o nutriente mais importante e o mais exigido no desenvolvimento da cana-de-açúcar, participando da síntese de açúcares e proteínas (Silveira e Medina, 2015) com funções de economia de água, abertura e fechamento dos estômatos, fotossíntese e ativação de enzimas (Malavolta, 2004), com importante correlação com os teores de sacarose no vegetal (Silveira; Medina, 2015). É um elemento móvel, propício à lixiviação, especialmente em solos arenosos, reduzindo a disponibilidade para a cana-de-açúcar.

Para reduzir as perdas, os fertilizantes de liberação lenta, possibilitam a nutrição das plantas de maneira equilibrada com tecnologia inovadora e manejo adequado.

### **1.1.4 Fertilizante multinutriente**

O Brasil é dependente de grande quantidade de potássio para suprir as necessidades das culturas. A inclusão de macronutrientes além do NPK, é essencial para aperfeiçoar a gestão de fertilizantes (Chen *et al.*, 2022). O cloreto de potássio (KCl) é o fertilizante comumente utilizado na cultura de cana-de-açúcar, no entanto,

outras fontes potássicas estão sendo aplicadas, para promover menor impacto ao meio ambiente e maior sustentabilidade no setor agrícola.

A Polihalita encontrada nos depósitos de North Yorkshire, possui alta qualidade e pode ser comercializada e extraída sem processamento, apenas trituração e dimensionamento (Kemp *et al.*, 2016). É extraída de depósitos naturais de maneira responsável, com técnicas que minimizam o impacto ambiental (Vale, 2016). A Polihalita apresenta a fórmula química  $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$  (Tiwari, 2015), análise declarada dos componentes revela que ela é composta por 48% de trióxido de enxofre ( $SO_3$ ), 14% de óxido de potássio ( $K_2O$ ), 6% de óxido de magnésio ( $MgO$ ) e 17% de óxido de cálcio ( $CaO$ ) (Yermiyahu *et al.*, 2017), macronutrientes necessários para o desenvolvimento das culturas. De acordo com Singh *et al.*, (2023) a Polihalita é compatível com outros fertilizantes, o que permite sua integração para um manejo adequado.

A adição de sais fertilizantes no solo, proporcionam altos níveis de salinidade que afetam a área foliar, raízes e massa seca (Silva *et al.*, 2013) em culturas sensíveis ao cloreto. O baixo teor de cloreto na composição da Polihalita, torna-a conveniente para culturas vulneráveis ao cloreto de potássio ( $KCl$ ), apresenta solubilidade inferior ao  $KCl$  (Mello *et al.*, 2018). A dissolução influencia na liberação de nutrientes, na disponibilidade para as plantas e nas perdas por lixiviação, no entanto, a Polihalita necessita de maiores volumes de água e exige mais tempo para dissolução, reduzindo os danos causados devido ao excesso de fertilizantes aplicados, (Yermiyahu *et al.*, 2019), liberando os nutrientes de forma lenta, minimizando as perdas por lixiviação.

A Polihalita é uma fonte alternativa de potássio para a cultura de cana-de-açúcar, fornecendo o nutriente em um único grânulo, pode ser aproveitado na agricultura orgânica (Herrera *et al.*, 2022), tornando-se uma alternativa promissora aos fertilizantes tradicionais, com características que viabilizam o manejo sustentável.

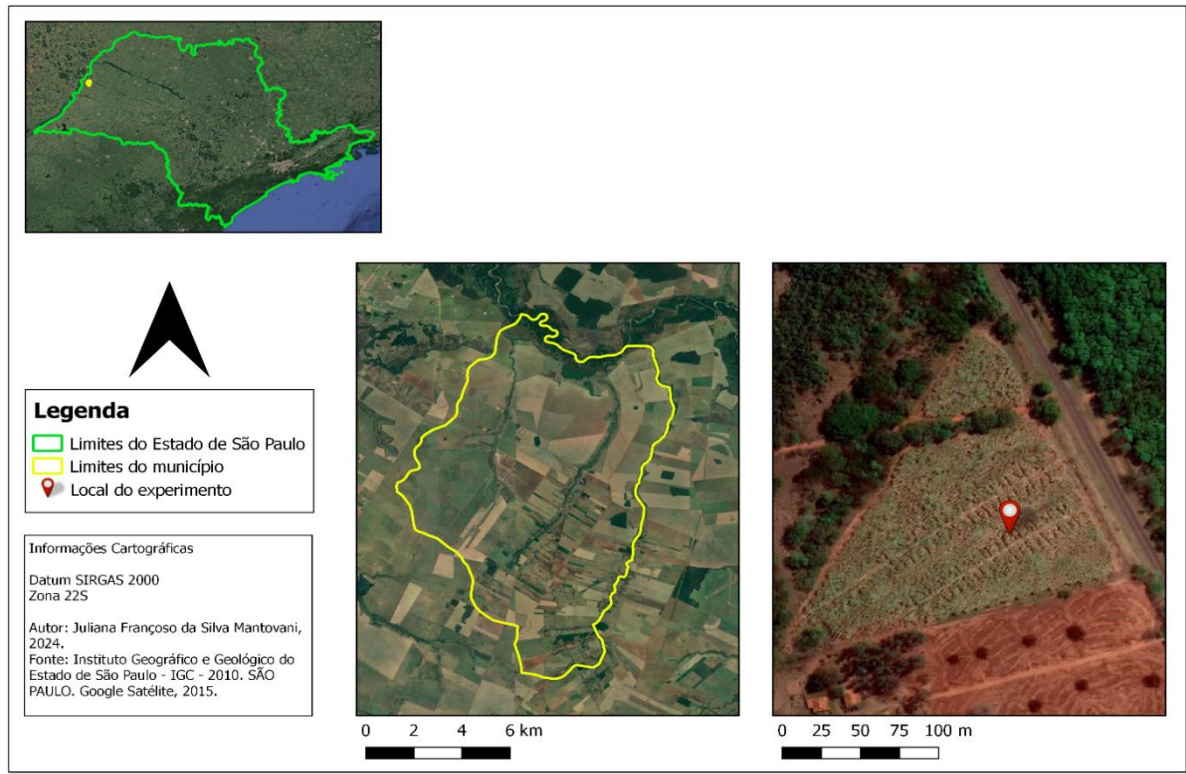
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Local Experimental

O experimento foi conduzido por três safras 2020/21, 2021/22 e 2022/23, em uma área comercial, unidade produtora da Baobá Agricultura e Pecuária LTDA, localizada em São João do Pau d'Alho estado de São Paulo, latitude 21°17'S e 51°39'W e altitude 376 m (Figura 1). A variedade utilizada foi a CTC 4. O solo da área foi classificado como Argiloso Vermelho Amarelo distrófico com textura arenosa (Santos *et al.*, 2018). Antes da instalação do experimento, o solo foi corrigido com aplicação de 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário. Os atributos químicos do solo na instalação do experimento estão descritos na Tabela 1 (Raij *et al.*, 1997).

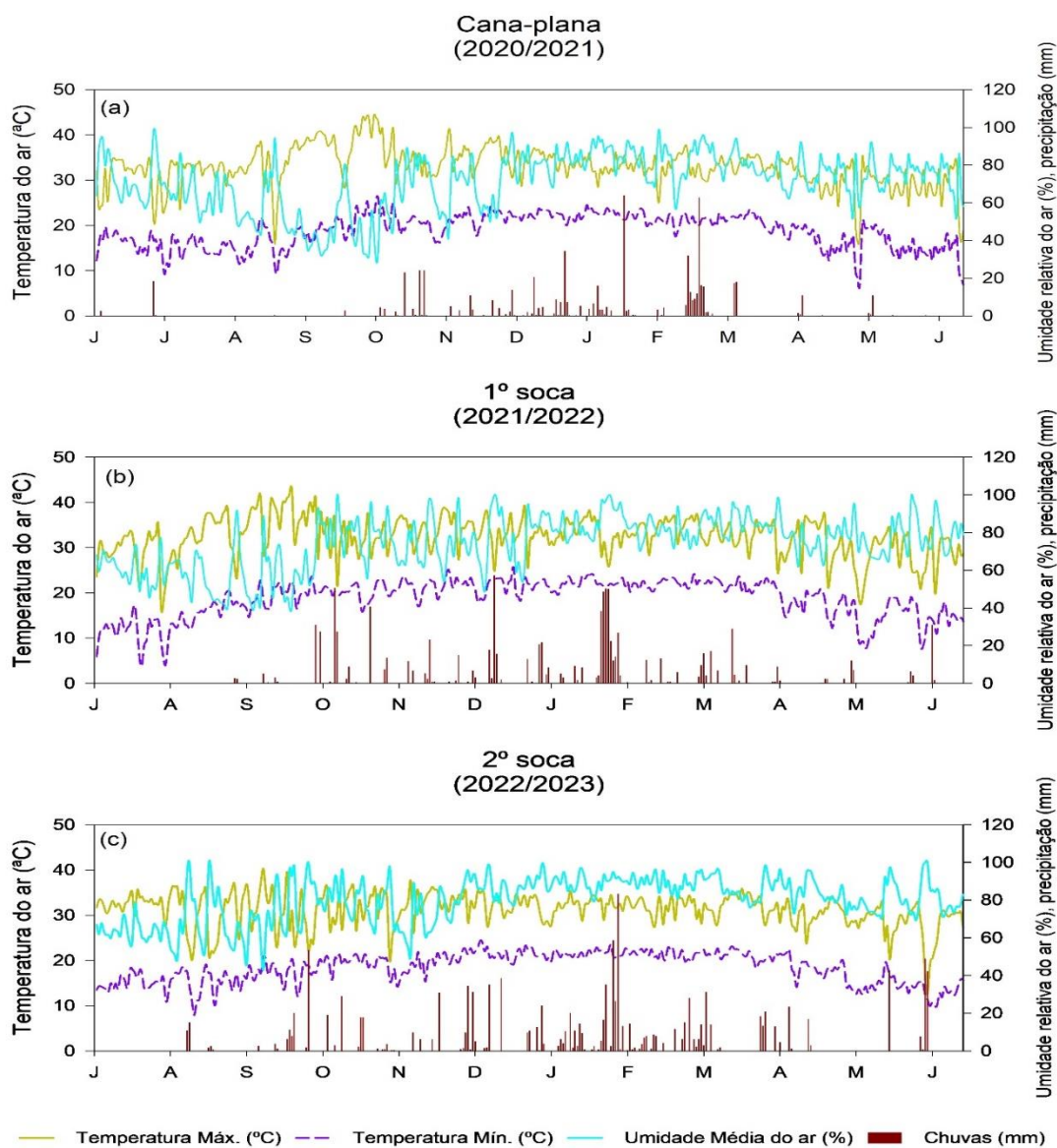
O clima local, conforme a classificação de Köppen é do tipo Aw, (Alvares *et al.*, 2013), sendo as médias anuais de temperatura e precipitação, respectivamente, 24°C, 1300 mm. Na Figura 2 estão apresentados os dados de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação dos três anos agrícolas da realização da pesquisa (julho/2020 a junho/2023).

Figura 1 - Localização geográfica do experimento com cana-de-açúcar adubada com Polihalita. São João do Pau d'Alho- SP



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 2 - Precipitação, umidade relativa do ar e temperatura mínima e máxima, nos três anos agrícolas (2020-2023) com a cultura de cana-de-açúcar. Cana-planta (a), primeira soca (b), segunda soca (c). Fonte: Estação climatológica – UNESP-Dracena.



Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 1 - Atributos químicos do solo na instalação do experimento, São João do Pau d'Alho, 2020.

Camada (cm)	pH	M.O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC
		g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						
0-20	6,6	16,28	6,46	1,00	38,46	16,70	0	11	56,16	67,16
20-40	6,54	10,53	2,11	1,40	26,37	14,04	0	11	41,81	52,81

Camada (cm)	V	M	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%		----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
0-20	86,63	0	1,25	0,46	2,13	13,51	23,62	1,28
20-40	79,17	0	5,76	0,32	1,67	15,83	23,07	1,08

P, Ca, Mg e K: resina; S-SO<sub>4</sub>: Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; B: BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,125% micro-ondas. Cu, Fe, Mn e Zn: DTPA, TEA. Fonte: Elaborado pela autora.

## 2.2 Desenho Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos, consistiram em doses e fontes de potássio (polihalita e cloreto de potássio) na adubação de plantio e soqueira de cana-de-açúcar, totalizando 10 tratamentos, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição da aplicação de fertilizantes para os três ciclos de crescimento da cultura de cana-de-açúcar.

Tratamentos	Fonte	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O			S		
		Cana-planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> Soca	Cana-planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca
		kg ha <sup>-1</sup>											
<b>T1</b>	Gesso	82	120	120	150	40	40	-	-	-	160	-	-
<b>T2</b>	Gesso + KCl	82	120	120	150	40	40	120	120	120	160	-	-
<b>T3</b>	KCl	82	120	120	150	40	40	120	120	120	-	-	-
<b>T4</b>	Gesso + KCl	82	120	120	150	40	40	120	120	120	160	-	48
<b>T5</b>	Polihalita	82	120	120	150	40	40	120	-	-	162	-	-
<b>T6</b>	Polihalita	82	120	120	150	40	40	240	-	-	324	-	-
<b>T7</b>	Polihalita	82	120	120	150	40	40	360	-	-	486	-	-
<b>T8</b>	Polihalita + KCl (1:2)	82	120	120	150	40	40	120	120	120	54	54	54
<b>T9</b>	Polihalita+ KCl (2:1)	82	120	120	150	40	40	120	120	120	108	108	108
<b>T10</b>	Polihalita	82	120	120	150	40	40	120	120	120	162	162	162

120kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com Polihalita (14% K<sub>2</sub>O;19% S) =162 kg ha<sup>-1</sup> de S; 1 t ha<sup>-1</sup> de gesso (16%S) =160kg ha<sup>-1</sup> Fonte: Elaborado pela autora.

### **2.3 Condução da Pesquisa**

As parcelas experimentais foram compostas por 90 m<sup>2</sup>, com seis linhas de cana-de-açúcar, espaçadas 1,5 m nas entrelinhas e 10 m de comprimento. Entre as parcelas foram destinados 2,0 m.

No plantio, exceto o potássio, as demais doses de fertilizantes foram aplicadas seguindo as recomendações para a cultura de cana-de-açúcar (Raij *et al.*, 1997). As doses de potássio foram divididas em duas parcelas, um terço no sulco de plantio e dois terços em cobertura na ocasião do “quebra lombo”, nos dias 17/10/2020 e 28/10/2020, respectivamente. No sulco de plantio também foram aplicados 82kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo 50 kg ha<sup>-1</sup> de N via ureia e 32 kg ha<sup>-1</sup> via fosfato monoamônico (MAP). Para o fósforo foram aplicados 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> via MAP.

No segundo e terceiro ciclo da cultura as doses aplicadas foram iguais, 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A partir do segundo ciclo de crescimento, foram aplicados 90 kg ha<sup>-1</sup> de BR12 (1,8% B, 0,8% Cu, 2% Mn, 9% Zn, 3% S) para atender a demanda por micronutrientes.

### **2.4 Avaliações**

#### **2.4.1 Diagnose foliar da cana-de-açúcar**

Para avaliar o estado nutricional da cana-de-açúcar foram coletadas, aleatoriamente 20 folhas diagnose (folha +1) por parcela, nas quatro linhas centrais desconsiderando-se dois metros das bordaduras. As amostras foram secas a 65°C em estufa com circulação de ar. Posteriormente moídas em moinho tipo Willey, para análises de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn conforme metodologia de (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

#### **2.4.2 Contagem de colmos**

Antes da colheita foi contado o número de colmos adentrando três metros das quatro linhas centrais, descartando-se dois metros de bordadura e posteriormente calculado o número de colmos por hectare.

### 2.4.3 Produtividade de colmos

Para a produção de colmos foi utilizado o método da pesagem de 15 colmos cortados em sequência em cada uma das quatro linhas centrais, desconsiderando-se dois metros de bordadura, sendo posteriormente os valores transformados para  $t\ ha^{-1}$  (TCH).

### 2.4.4 Qualidade tecnológica

Por ocasião da colheita foram retirados ao acaso 10 colmos de cana-de-açúcar em cada parcela, eliminando-se o palmito e palha presentes nos mesmos. Após identificações e pesagens, os feixes foram enviados para o laboratório, para análises das condições tecnológicas, determinando os valores de Brix (%) cana; Pol (%) cana; Pureza (%) cana, Fibra (%) cana e ATR ( $kg\ t^{-1}$ ) (Antônio Carlos Fernandes, 2011).

Brix (Bj): a determinação do brix (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo) foi realizada através de um refratômetro digital de leitura automática.

Fibra (F): a fibra da cana foi calculada através da equação:

$$F = 0,08 * PBU + 0,876. \text{ Onde: } PBU = \text{Peso úmido do bagaço da prensa.}$$

Umidade % (U): foi calculada através da equação:

$$U = \frac{P_{mu} - P_{ms}}{P_{mu}} * 100. \text{ Onde: } P_{mu} = \text{peso da massa úmida; } P_{ms} = \text{peso da massa seca.}$$

Pol do caldo (S): foi determinada através de sacarímetro digital automático. A pol do caldo (teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo) foi calculada pela seguinte equação:

$$S = LPol * (0,26047 - 0,0009882 * Bj). \text{ Onde: } LPol = \text{Leitura sacarimétrica do caldo clarificado; e, } Bj = \text{Brix do caldo.}$$

Pol da cana (PC): A pol da cana foi calculada através da equação:

$$POL = S * (1 - 0,01 * F) * C. \text{ Onde: } S = \text{Pol no caldo; } F = \text{Fibra; } C = \text{Coeficiente utilizado para a transformação da pol do caldo extraído pela prensa (S) em pol de cana (PC).}$$

Pureza no caldo (Q): A pureza aparente do caldo (Q) por ser definida como a Porcentagem de pol em relação ao brix, foi calculada pela equação:

$$Q = 100 * \frac{S}{Bj}. \text{ Onde: } S = \text{Pol do caldo; } Bj = \text{Brix no caldo.}$$

Açúcares redutores do caldo % (AR): O teor de açúcares redutores (AR) por cento, em peso, de caldo foi calculado pela equação:  $AR = 3,641 - 0,0343 * Q$ .

Onde: Q = pureza no caldo.

Açúcar total recuperável (ATR): Obtidos a pol da cana (PC) e os açúcares redutores da cana (ARC), o ATR foi calculado pela equação:  $ATR = 9,526 * PC + 9,05 * AR$ .

#### **2.4.5 Exportação de nutrientes pelos colmos**

No terceiro ano foram coletados 6 colmos por parcela para determinar a quantidade de nutrientes exportadas com a colheita. Os colmos foram pesados e em seguida triturados em picador tipo “Nogueira”. O material triturado foi homogeneizado, em seguida foi retirada uma sub amostra, pesada e seca em estufa a 65°C até peso constante e pesado novamente para obtenção do valor de matéria seca. A determinação da concentração de macronutrientes e micronutrientes foi realizada de acordo com a metodologia de (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

#### **2.4.6 Análise química do solo**

A amostragem de solo foi realizada após a colheita de cada safra (cana-planta, 1ª soca e 2ª soca). Com auxílio de uma sonda retirou-se seis amostras de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m por tratamento, homogeneizadas, secas ao ar e passadas em peneira de malha 2mm. Para determinação de P, K, Ca e Mg, foram extraídos do solo com o método de resina de troca iônica. A extração do enxofre, foi determinada por uma solução de fosfato de cálcio  $Ca(H_2PO_4)_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, e quantificação por turbidimetria. O PH em CaCl<sub>2</sub>; matéria orgânica por colorimetria; H + Al com solução tampão SMP; e Al extraído solução 1 mol L<sup>-1</sup> de KCl. Em relação aos micronutrientes, o boro foi extraído via água quente e Cu, Fe, Mn e Zn em DTPA (Raij *et al.*, 2001).

#### **2.5 Análises Estatísticas**

Os dados foram analisados quanto à normalidade dos erros, com auxílio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2011), os resultados foram submetidos à ANOVA, e as médias foram comparadas pelo teste Scott Knott com significância  $p < 0,05$ .

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Disponibilidade de Nutrientes no Solo

A matéria orgânica (M.O) e P não sofreram efeito dos tratamentos na camada 0,00-0,20m ( $p > 0,05$ ). Os valores médios de matéria orgânica nos três anos variaram de 7,9 a 13,2 g kg<sup>-1</sup>, enquanto para fósforo a variação foi de 11,1 a 13,1 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 3). Os teores de K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (primeira soca) não responderam aos tratamentos, com médias, respectivamente, de 2,5 e 13,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

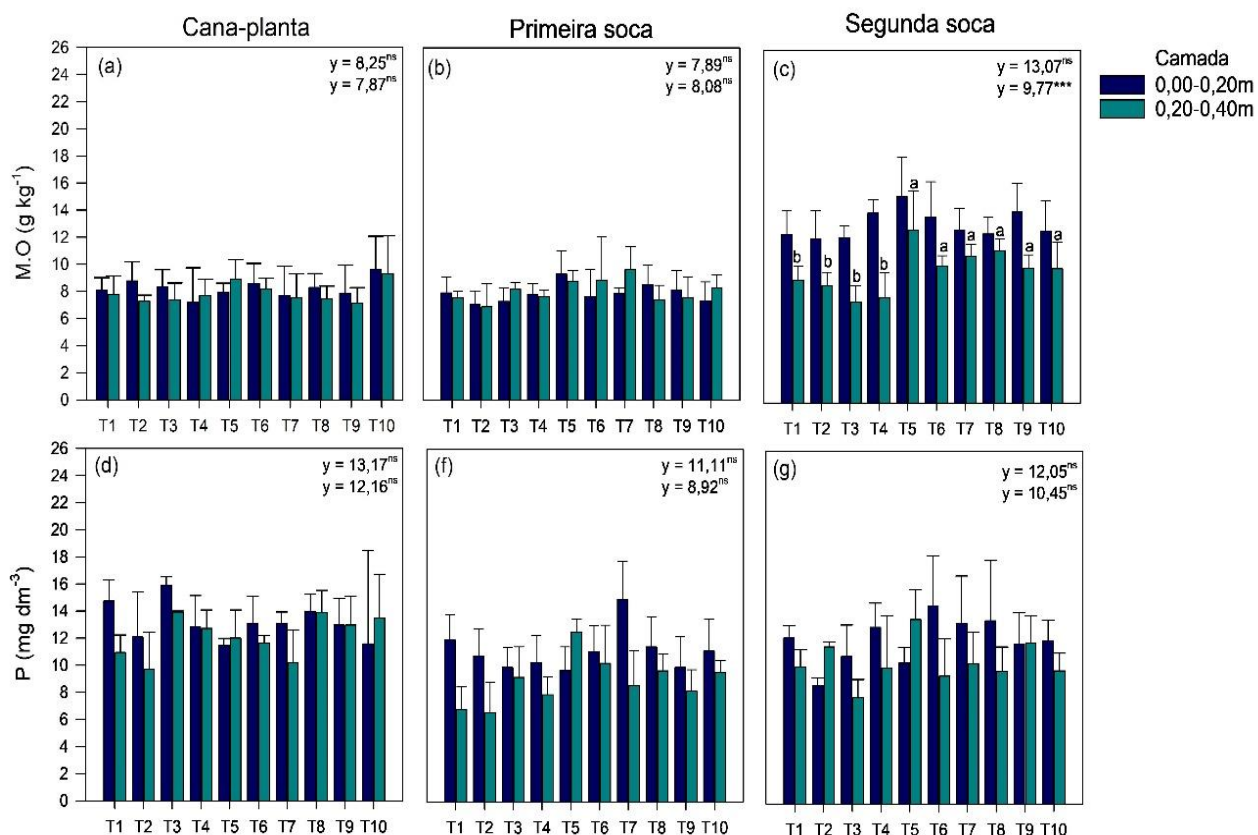
Os teores de K no solo após a colheita da cana planta e segunda soca foram afetados pela aplicação dos tratamentos na camada 0,00-0,20m. Na cana-planta observou-se maiores concentrações no tratamento T9 (4,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) >T6, T7 > T2, T4> T1, T3, T5, T8 e T10. Por sua vez, na segunda soca, as maiores concentrações foram dos tratamentos T3, T4, T8 e T9, diferenciando significativamente dos demais (Figura 4). O Ca na cana-planta, os tratamentos T1, T2, T3, T7, T9 e T10 diferenciaram dos demais, e na primeira soca, T7, T9 e T10, apresentaram concentrações maiores que os restante e no último ano de avaliação os tratamentos T2, T5, T6 e T10 diferenciaram significativamente dos demais (Figura 4).

A maior concentração de Mg na primeira safra foi no T7 (22,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) sendo superior aos demais tratamentos. Na segunda soca os maiores efeitos foram obtidos pelo T2, T5, T6 e T10 diferenciando dos demais tratamentos (Figura 5). Para os teores de S na cana-planta o T2 (8,9 mg dm<sup>-3</sup>) obteve maior concentração. Enquanto os menores valores foram no T6, T7 e T8. Na primeira soqueira, os teores de S apresentaram a maior concentração no tratamento T7 (16,44 mg dm<sup>-3</sup>), representando 11,68 mg dm<sup>-3</sup> a mais em relação ao tratamento T1 com aplicação exclusiva de gesso agrícola no plantio. Na segunda soqueira, os tratamentos T2, T5, T7 e T9 apresentaram melhores resultados na disponibilidade de enxofre, diferenciando dos demais tratamentos (Figura 5).

Na camada de 0,20-0,40m os teores de matéria orgânica e potássio não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos na cana-planta e primeira soca, com médias, respectivamente, de 7,87 g kg<sup>-1</sup> e 8,08 g kg<sup>-1</sup> para

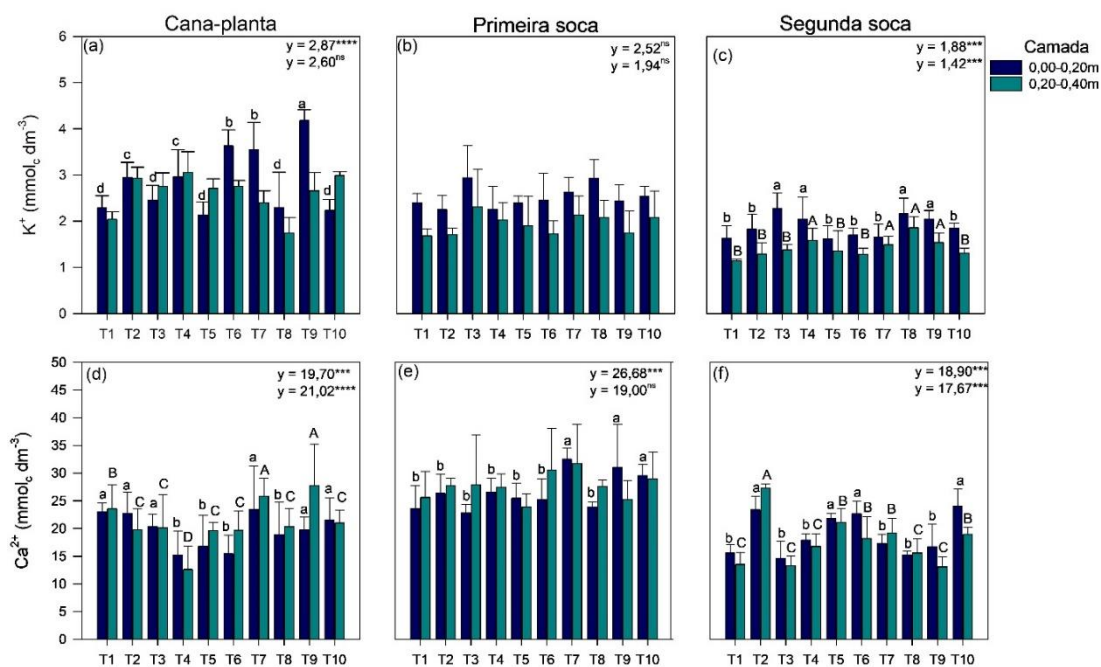
matéria orgânica e 2,6, e 1,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para o potássio. No entanto, a segunda soca apresentou diferenciação entre os tratamentos T5, T6, T7, T8, T9 e T10 para matéria orgânica (Figura 3) e nos tratamentos T4, T7, T8 e T9 para o K (Figura 4), ambos, diferenciando dos demais tratamentos.

Figura 3 - Teores de matéria orgânica e fósforo afetados pela aplicação de doses e fontes de potássio nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20m-0,40m nos tratamentos T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCL (120); T4 – gesso + KCl (1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). As letras indicam (a) cana-planta, (b) primeira-soca e (c)segunda soca. As barras de erros indicam  $\pm$  desvio padrão. Letras acima da barra de erro indicam diferença significativa entre as fontes de acordo com o teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e NS -  $p > 0,05$ , respectivamente.



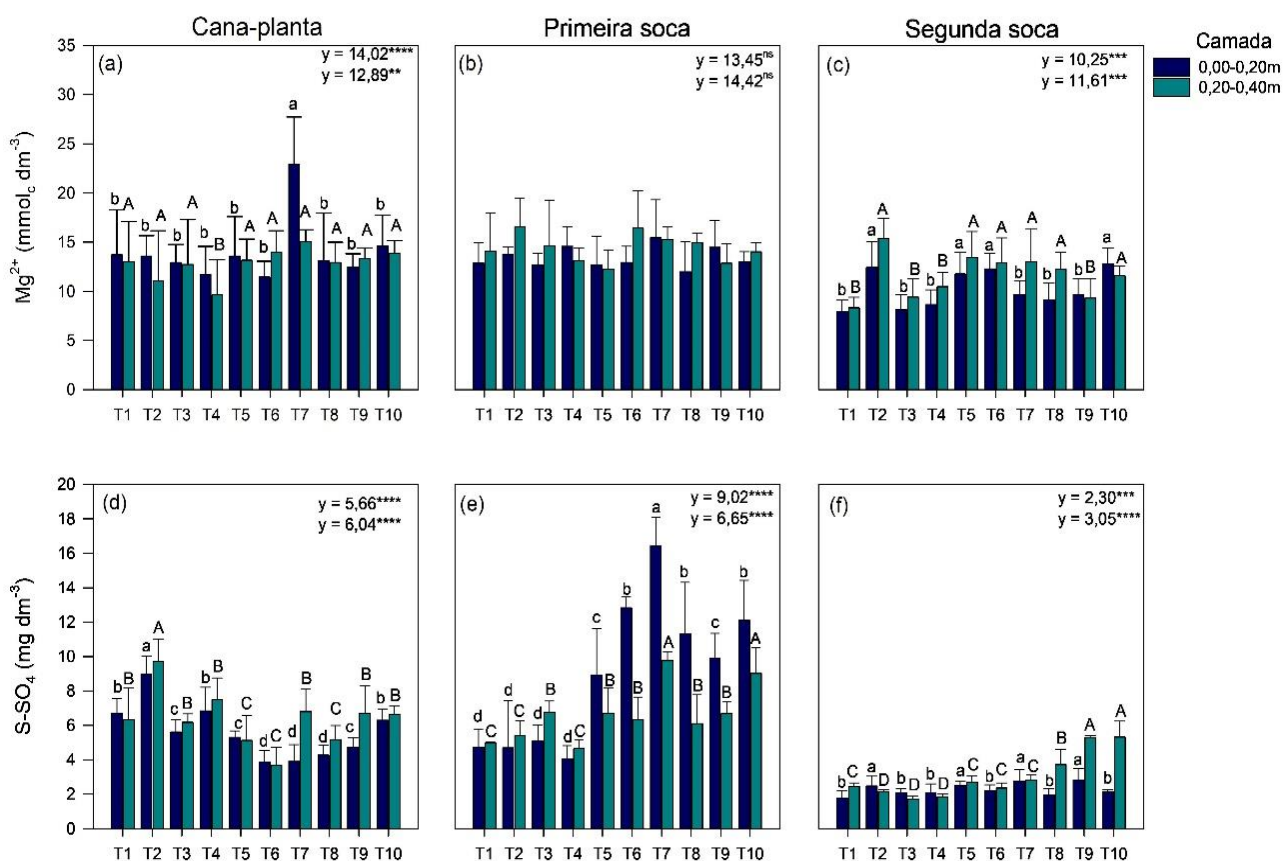
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 4 - Teores de potássio e cálcio afetados pela aplicação de doses e fontes de potássio nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20m-0,40m nos tratamentos T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCL (120); T4 – gesso + KCl (1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). As letras indicam (a) cana-planta, (b) primeira-soca e (c)segunda soca. As barras de erros indicam  $\pm$  desvio padrão. Letras acima da barra de erro indicam diferença significativa entre as fontes de acordo com o teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e NS -  $p > 0,05$ , respectivamente.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 - Teores de magnésio e enxofre afetados pela aplicação de doses e fontes de potássio nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20m-0,40m nos tratamentos T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCL (120); T4 – gesso + KCl (1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). As letras indicam (a) cana-planta, (b) primeira-soca e (c)segunda soca. As barras de erros indicam  $\pm$  desvio padrão. Letras acima da barra de erro indicam diferença significativa entre as fontes de acordo com o teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e NS -  $p > 0,05$ , respectivamente.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na cana-planta a concentração de P nos tratamentos, não diferenciaram significativamente, apresentando teores médios de  $12,1 \text{ mg dm}^{-3}$ . Por sua vez, nas soqueiras observou-se significância na análise de variância, mas as variações não foram o suficiente para apresentar diferença entre os tratamentos (Figura 3).

Em relação ao Ca, a cana-planta e segunda soqueira diferenciaram significativamente entre os tratamentos, com maiores concentrações no T7 e T9 e as menores nos tratamentos T4 (cana-planta), com aplicação de gesso no plantio e aplicação de  $0,3 \text{ tha}^{-1}$  na segunda soqueira, com maiores concentrações no T2 e menores no T1, T3, T4, T8 e T9 (Figura 4). A concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  na primeira soqueira não apresentou diferença entre os tratamentos, com médias nos tratamentos de  $27,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Semelhante ao verificado com o Ca, o Mg no solo foi significativo após o cultivo da cana-planta e segunda soqueira. Na cana planta as menores médias foram nos tratamentos com cloreto de potássio associado ao gesso agrícola no plantio e na aplicação bianual (T2 e T4). Já na segunda soca, as maiores médias foram verificadas nos tratamentos com polihalita (exceto o tratamento T9) (Figura 5).

Os teores de S na camada subsuperficial diferenciaram significativamente em todos os anos avaliados, semelhante ao verificado na camada superficial. Na cana-planta o T2 ( $9,7 \text{ mg dm}^{-3}$ ), KCl com  $1 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso no plantio, apresentou maior teor comparado aos demais tratamentos (Figura 5). Na primeira e segunda soca as maiores médias foram verificadas nos tratamentos com Polihalita, respectivamente, com aplicação de  $360 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  no plantio ou na aplicação anual de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  e quando da aplicação anual de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  de forma isolada ou na mistura com KCl (2:1) (Figura 5).

Os teores de micronutrientes no solo nas camadas 0,00 e 0,20m e 0,20 – 0,40m avaliados anualmente estão compilados nas Tabelas 3 e 4. Verificou-se deficiência de alguns micronutrientes, especialmente boro, motivo pelo qual foi aplicado em todos os tratamentos a fonte de BR12 após o primeiro ano de cultivo.

Tabela 3 - Teores de B, Fe, Cu, Mn e Zn na camada de 0,00-0,20m durante três anos agrícolas (2021/2023).

Tratamentos	B		Fe			Cu			Mn			Zn				
	----- Camada (0,00-0,20m) -----															
	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----															
<b>T1</b>	0,12	0,12a	0,24b	6,57b	19,82	13,64b	1,74a	1,06	0,75	6,44a	10,79	14,22	0,61b	0,62	0,41d	
<b>T2</b>	0,12	0,10a	0,40a	6,74b	14,90	13,81b	1,81a	1,34	0,90	6,35a	12,19	17,80	0,82a	0,66	0,48d	
<b>T3</b>	0,12	0,09a	0,36a	8,15a	20,24	18,69a	0,93b	1,20	0,87	5,67b	11,64	16,09	0,42c	0,59	0,45d	
<b>T4</b>	0,12	0,15a	0,28b	6,97b	14,28	14,22b	1,67a	1,14	1,11	5,45b	11,31	16,88	0,56b	0,55	0,51d	
<b>T5</b>	0,12	0,15a	0,40a	5,95c	14,17	21,40a	0,62c	1,21	1,00	4,78c	12,02	18,25	0,51c	0,79	0,97b	
<b>T6</b>	0,12	0,12a	0,28b	7,86a	17,61	12,98b	0,69c	1,27	0,89	6,73a	13,56	17,47	0,66b	0,78	0,45d	
<b>T7</b>	0,12	0,13a	0,42a	4,25d	17,81	16,92a	0,67c	1,50	0,95	4,64c	10,88	17,96	0,45c	0,66	0,64c	
<b>T8</b>	0,11	0,19a	0,42a	6,56b	18,49	14,05b	1,09b	1,62	1,11	6,37a	13,55	16,57	0,47c	0,72	0,74c	
<b>T9</b>	0,11	0,14a	0,27b	8,40a	14,56	11,40b	1,05b	1,54	1,05	6,13a	11,84	17,53	0,55b	0,66	1,19a	
<b>T10</b>	0,11	0,11a	0,37a	6,49b	19,00	13,77b	0,69c	1,57	0,94	6,24a	9,38	15,70	0,58b	0,68	0,57c	
<b>Pr &gt; F</b>	NS	*	**	**	NS	**	**	NS	NS	****	NS	NS	****	NS	****	
<b>MÉDIA</b>	0,12	0,13	0,34	6,79	17,09	15,09	1,14	1,35	0,95	5,88	11,71	16,85	0,56	0,67	0,64	
<b>C.V. (%)</b>	4,95	26,94	18,09	6,01	22,19	19,76	10,50	20,13	17,72	6,59	15,91	13,04	9,97	15,98	18,33	

T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCL (120); T4 – gesso + KCl (1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). Letras diferentes indicam significância entre os tratamentos (teste de Scott-Knott) \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e NS -  $p > 0,05$ , respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 - Teores de B, Fe, Cu, Mn e Zn na camada de 0,20-0,40m durante três anos agrícolas (2021/2023).

Tratamentos	B		Fe			Cu			Mn		Zn				
	----- Camada (0,20-0,40cm) -----														
	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----														
<b>T1</b>	0,12	0,14a	0,22a	6,72c	9,49c	12,76a	1,86a	0,51b	0,70b	6,49a	6,31	12,20b	0,59b	0,38a	0,37b
<b>T2</b>	0,12	0,08b	0,31a	6,41c	7,82c	9,73b	1,89a	0,68b	0,74b	5,95b	7,85	12,57b	0,77a	0,30b	0,30c
<b>T3</b>	0,12	0,14a	0,25a	7,50b	13,79b	12,64a	0,90b	1,06a	0,69b	5,72b	9,52	12,04b	0,42c	0,52a	0,45b
<b>T4</b>	0,11	0,13a	0,24a	7,75b	9,46c	12,61a	1,79a	1,02a	0,97a	5,71b	8,49	16,13a	0,58b	0,48a	0,40b
<b>T5</b>	0,11	0,11b	0,31a	5,62d	16,54a	11,68b	0,66c	1,13a	1,01a	4,56c	7,41	14,49a	0,49c	0,42a	0,61a
<b>T6</b>	0,11	0,13b	0,22a	7,64b	10,82c	12,73a	0,72c	0,65b	0,79b	6,21a	9,66	13,79a	0,67b	0,46a	0,29c
<b>T7</b>	0,11	0,17a	0,26a	4,24e	10,85c	12,21a	0,73c	0,79b	0,79b	4,50c	8,91	11,77b	0,45c	0,36b	0,41b
<b>T8</b>	0,11	0,10b	0,28a	6,82c	12,43b	14,92a	1,11b	0,75b	1,14a	6,41a	12,28	14,50a	0,46c	0,40a	0,51a
<b>T9</b>	0,11	0,15a	0,12b	8,60a	7,62c	10,23b	1,09b	0,98a	1,05a	6,34a	8,70	15,03a	0,52c	0,22b	0,42b
<b>T10</b>	0,11	0,10b	0,16b	6,55c	13,37b	10,99b	0,68c	1,08a	0,76b	6,26a	9,17	9,40b	0,59b	0,48a	0,29c
<b>Pr &gt; F</b>	NS	**	**	****	*****	**	*	**	**	****	NS	**	****	**	****
<b>MÉDIA</b>	0,11	0,12	0,24	6,78	11,22	12,05	1,17	0,8682	0,86	5,82	8,83	13,19	0,55	0,40	0,40
<b>C.V. (%)</b>	5,79	21,52	23,67	7,30	17,10	12,92	11,92	24,57	18,07	7,28	20,52	14,90	10,79	22,50	16,86

T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCl (120); T4 – gesso + KCl ( 1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). Letras diferentes indicam significância entre os tratamentos (teste de Scott-Knott) \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e NS -  $p > 0,05$ , respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.2 Estado Nutricional da Cana-de-Açúcar

Exceto o teor de S na segunda soqueira, os demais macronutrientes não apresentaram diferença entre os tratamentos (Tabela 5). Os teores foliares do S da segunda soca a maior concentração ( $1,66 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi verificada na aplicação anual de Polihalita na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (T10). Os valores médios encontrados nos três cultivos foram respectivamente  $20,8$ ,  $14,8$  e  $11,7 \text{ g kg}^{-1}$  de N,  $3,4$ ,  $1,2$  e  $2,6 \text{ g kg}^{-1}$  de P,  $8,1$ ,  $16,1$  e  $12,2 \text{ g kg}^{-1}$  de K,  $4,9$ ,  $4,9$  e  $3 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca e  $2,6$ ,  $1,9$  e  $1,4 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg (Tabela 5).

Houve um efeito significativo dos tratamentos nos teores de Cu e Fe na cana-planta. Os tratamentos T1, T2, T3, T5, T6 e T9 apresentaram maiores teores de Cu, diferindo dos demais tratamentos, enquanto, o Fe apresentou significância na análise de variância, contudo, as variações não foram o suficiente para apresentar diferença entre os tratamentos. A primeira e segunda soca não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, com médias, respectivamente, de  $4,9$  e  $3,8 \text{ mg kg}^{-1}$  para os teores de Cu,  $97$  e  $36,1 \text{ mg kg}^{-1}$  para os teores de Fe. Os tratamentos aplicados, afetaram significativamente os teores Mn e B nas soqueiras. As maiores concentrações nos teores de Mn foram nos tratamentos T8>T1, T3> T2, T4, T5, T6, T7, T9 e T10 (primeira soca) e os teores de B nos tratamentos T2, T8 e T10 (segunda soca) diferenciando dos demais. Nos três anos de cultivos, os tratamentos apresentaram médias de  $14,9$  e  $11,5 \text{ mg kg}^{-1}$  nos teores de B, (cana-planta e primeira soca),  $57$  e  $50,9 \text{ mg kg}^{-1}$  de Mn (cana-planta e segunda soca),  $10,9$ ,  $14,7$  e  $8,6 \text{ mg kg}^{-1}$  nos teores de Zn, respectivamente, na cana-planta e soqueiras, ambos não diferenciaram dos demais tratamentos (Tabela 6).

Tabela 5 - Teores de macronutrientes na folha diagnose (folha +1) da cana-de-açúcar, ano agrícola 2021/2023, São João do Pau d'Alho– SP.

Tratamentos	N			P			K			Ca			Mg			S			
	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> Soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana-Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	
	----- g kg <sup>-1</sup> -----																		
<b>T1</b>	21,08	15,05	11,83	3,43	1,30	2,66	8,25	16,27	10,94	4,97	4,82	3,06	2,59	1,95	1,50	2,35	1,48	1,05b	
<b>T2</b>	19,68	14,91	12,04	3,29	1,17	2,49	8,18	18,72	13,00	5,45	5,51	3,11	2,58	2,26	1,30	2,49	1,56	0,97b	
<b>T3</b>	19,68	14,07	13,01	3,53	1,17	2,65	7,99	15,78	12,51	4,82	5,37	3,03	2,75	1,97	1,33	2,27	1,56	0,80b	
<b>T4</b>	21,43	14,95	11,99	3,43	1,28	2,52	7,90	15,86	12,76	5,37	4,82	3,09	2,69	2,00	1,36	2,52	1,62	0,98b	
<b>T5</b>	19,68	14,70	9,18	3,41	1,18	2,61	8,13	15,46	12,58	4,10	5,02	3,15	2,45	2,04	1,58	2,41	1,48	1,28b	
<b>T6</b>	21,08	14,81	11,41	3,45	1,22	2,73	8,51	15,46	11,79	5,08	4,96	3,00	2,67	2,00	1,47	2,58	1,51	1,09b	
<b>T7</b>	21,43	14,70	12,49	3,40	1,15	2,67	8,56	15,36	11,90	4,72	4,70	3,12	2,53	1,71	1,46	2,55	1,50	1,14b	
<b>T8</b>	20,73	15,30	12,02	3,57	1,25	2,29	8,57	16,58	12,11	4,36	4,93	3,04	2,52	2,01	1,25	2,17	1,63	1,06b	
<b>T9</b>	24,23	14,60	12,10	3,50	1,18	2,72	7,98	16,36	12,61	5,22	4,62	3,13	2,83	1,93	1,47	2,27	1,19	1,18b	
<b>T10</b>	19,68	14,81	11,79	3,40	1,08	2,55	7,06	15,24	12,14	5,15	4,96	3,03	2,56	1,89	1,45	2,62	1,42	1,66a	
<b>Pr &gt; F</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
<b>MÉDIA</b>	20,87	14,7875	11,78	3,44	1,1970	2,59	8,11	16,11	12,23	4,92	4,9697	3,08	2,62	1,9760	1,42	2,42	1,4957	1,11	
<b>C.V. (%)</b>	12,97	4,76	18,18	3,74	9,36	10,06	9,29	14,78	9,12	12,63	10,41	3,09	9,26	9,77	10,85	21,29	14,05	26,23	

T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCL (120); T4 – gesso + KCl ( 1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). Letras diferentes indicam significância entre os tratamentos (teste Scott-Knott) \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e NS -  $p > 0,05$ , respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 6 - Teores de micronutrientes na folha diagnose (folha +1) da cana-de-açúcar, ano agrícola 2021/2023, São João do Pau d'Alho– SP.

Tratamentos	B			Cu			Fe			Mn			Zn		
	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> Soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca	Cana- Planta	1 <sup>a</sup> soca	2 <sup>a</sup> soca
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----														
<b>T1</b>	14,37	12,67	2,98b	15,19a	4,72	3,88	67,78a	98,69	45,06	55,73	48,41b	53,14	10,58	15,00	8,61
<b>T2</b>	15,26	11,17	6,49a	19,04a	5,49	3,59	76,21a	92,45	42,52	61,16	44,78c	57,63	10,60	15,68	8,97
<b>T3</b>	15,24	11,17	4,20b	15,74a	4,13	3,84	69,66a	92,84	30,60	65,01	49,70b	47,25	10,99	14,88	7,25
<b>T4</b>	15,26	11,38	3,04b	11,75b	4,40	3,79	68,70a	97,74	41,50	57,05	43,56c	51,08	9,83	14,04	8,84
<b>T5</b>	15,09	11,52	3,42b	17,96a	4,96	3,31	70,97a	104,55	43,27	47,72	45,32c	52,90	11,13	15,33	8,99
<b>T6</b>	14,69	12,05	3,11b	21,26a	6,86	4,10	56,36a	108,95	33,95	58,06	44,16c	47,89	11,41	15,04	8,91
<b>T7</b>	15,01	11,56	3,03b	13,43b	4,68	3,98	47,52a	85,03	38,62	54,35	39,09c	52,25	11,40	14,21	9,15
<b>T8</b>	14,60	11,27	5,85a	9,25b	4,65	4,08	60,25a	103,26	34,84	61,66	55,90a	52,42	11,98	15,70	9,57
<b>T9</b>	15,22	10,85	4,50b	16,85a	4,62	3,52	87,49a	86,64	28,48	55,77	45,30c	49,97	10,92	14,53	8,27
<b>T10</b>	15,20	11,83	5,11a	9,93b	5,35	3,92	66,13a	99,88	22,57	54,31	45,01c	44,75	10,11	13,04	7,31
<b>Pr &gt; F</b>	NS	NS	**	****	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
<b>MÉDIA</b>	14,99	11,55	4,17	15,04	4,99	3,80	67,11	97,00	36,14	57,08	46,12	50,93	10,89	14,74	8,59
<b>C.V. (%)</b>	5,03	9,43	30,07	17,99	21,14	15,66	21,61	17,59	30,46	15,30	10,01	14,56	13,37	12,66	18,82

T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCl (120); T4 – gesso + KCl ( 1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). Letras diferentes indicam significância entre os tratamentos (teste (Scott-Knott) \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e NS -  $p > 0,05$ , respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.2.1 Correlações entre as concentrações de nutrientes foliares e produtividade de colmos de cana-de-açúcar

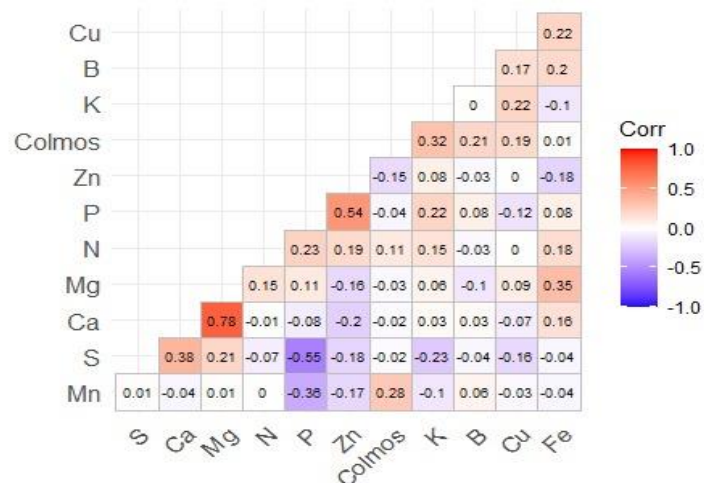
Na estrutura de correlações, as concentrações foliares do Mg e Ca, Zn e P, apresentaram uma correlação positiva forte ( $r=0,78$  e  $r=0,54$ ) e significativa ( $p < 0,001^{***}$ ) respectivamente, na cana-planta. No entanto, as concentrações foliares de K ( $r=0,32$ ) apresentaram uma correlação positiva moderada ( $p < 0,05^*$ ) com a produtividade de cana-de-açúcar. Na primeira soca, as concentrações foliares do K e Ca, correlacionam-se com o Mg ( $r=0,54$  e  $0,56$ ), respectivamente. Assim como, as concentrações foliares de Ca e K ( $r=0,65$ ) apresentaram correlação, ambas positivamente forte e significativa ( $p < 0,001^{***}$ ). As concentrações foliares do P e B correlacionaram-se com N ( $r=0,5$  e  $r=0,41$ ) positivamente, apresentando significância ( $p < 0,01^{**}$ ). Os nutrientes foliares N e Fe, Zn e Ca, Cu e B e Zn e Mn ( $r=0,32$ ;  $r=0,31$ ;  $r=0,33$ ;  $r=0,33$ ) apresentaram correlação positiva moderada com significância ( $p < 0,05^*$ ). Houve uma correlação positiva entre as concentrações foliares do S ( $r=0,32$ ) com a produtividade de cana-de-açúcar ( $p < 0,05^*$ ).

As concentrações foliares do nutriente P foi negativamente correlacionado com os nutrientes Mn e S ( $r= -0,36 - p < 0,05^*$  e  $r= -0,55 - p < 0,001^{***}$ ), respectivamente na cana-planta. Enquanto na primeira soca, o nutriente P correlacionou-se negativamente com os nutrientes K e Ca ( $r= -0,31 - p < 0,05^*$  e  $r= -0,48 - p < 0,01^{**}$ ).

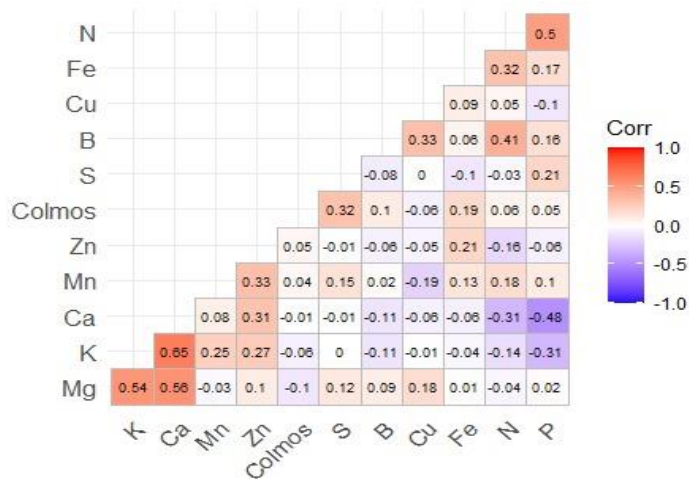
No contexto das variações, de maneira geral, as concentrações foliares dos macronutrientes e micronutrientes na segunda soca não apresentaram uma correlação significativa entre os nutrientes (Figura 6).

Figura 6 – Correlações entre as concentrações de nutrientes foliares e produtividade de colmos na cana-de-açúcar. Ano agrícola 2021/2023 (a) cana-planta, (b) primeira-soca, (c) segunda-soca. \*\*\*, \*\*, \*, indicam  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ , respectivamente.

(a)



(b)



(c)



### 3.3 Produtividade de Colmos e Qualidade Tecnológica

Os fertilizantes aplicados não implicaram em resposta significativa relacionado à produtividade de colmos nos 3 anos avaliados, apresentando médias de 123,70 t ha<sup>-1</sup>, 93,74 t ha<sup>-1</sup> e 79,44 t ha<sup>-1</sup>, 296,91 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para cana-planta, primeira soca, segunda soca e produção acumulada (Tabela 7).

Em virtude dos fertilizantes aplicados, os parâmetros tecnológicos avaliados, de modo geral, não apresentaram interação significativa entre os tratamentos. Exclusivamente, na primeira soca, o brix e o pol diferenciaram significativamente entre os tratamentos. Nos tratamentos T8 e T9 o brix apresentou menores valores comparado aos demais tratamentos, por sua vez, nos tratamentos T2, T5, T8 e T9, o pol foi também menor. Entretanto, a cana-planta e segunda soca, apresentaram médias nos tratamentos de 19,9, 21,0% brix e 15,7, 18,7% pol, respectivamente. Os valores médios dos tratamentos encontrados nos três anos avaliados foram, respectivamente, para os dados qualidade tecnológica na cana-planta e soqueiras 11,2, 12,75 e 13,3% de fibra, 78,6, 86,0 e 86,5% de pureza e 0,9, 0,7 e 0,6% de AR caldo (Tabela 8).

Os valores de ATR estão apresentados na Tabela 9. Na concentração de ATR foi verificada significância somente na primeira soca, no entanto não foi verificado diferença nos açúcares redutíveis produzidos por hectare. Os valores médios encontrados nos três anos avaliados e na produção acumulada, foram respectivamente, 158,184,5 e 521 kg t<sup>-1</sup> (cana-planta, segunda soca e produção acumulada) para ATR kg t<sup>-1</sup> e 19,5, 17,2, 14,3 e 50,2 ATR t ha<sup>-1</sup> (cana-planta, soqueiras e produção acumulada).

Tabela 7 - Produtividade de colmos da cana-de-açúcar adubados com doses e fontes de potássio, ano agrícola 2021/2023, São João do Pau d'Alho– SP.

Tratamentos	Cana-planta	1ª soca	2ª soca	Produção acumulada	
				t ha <sup>-1</sup>	
T1	110,21	89,97	76,81	277,00	
T2	122,09	89,98	77,12	289,19	
T3	124,65	92,20	83,11	299,97	
T4	128,96	95,32	82,37	306,66	
T5	123,26	96,53	76,32	296,13	
T6	132,31	94,17	77,36	303,86	
T7	122,97	99,57	81,15	303,51	
T8	125,56	99,69	79,14	304,40	
T9	127,13	85,20	80,76	293,10	
T10	120,25	94,79	80,24	295,28	
<b>Pr &gt; F</b>	NS	NS	NS	NS	
<b>Média</b>	123,72	93,74	79,44	296,91	
<b>C.V. (%)</b>	8,63	11,21	6,88	5,97	

T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCL (120); T4 – gesso + KCl ( 1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). Letras diferentes indicam significância entre os tratamentos (Scott-Knott) \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS não significativo.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8 - Parâmetros tecnológicos de colmos da cana-de-açúcar, variedade CTC, ano agrícola 2021/2023, São João do Pau d'Alho- SP.

Tratamentos	Brix			Fibra			Pol			Pureza			AR		
	Cana-Planta	1ª soca	2ª soca	Cana-Planta	1ª soca	2ª soca	Cana-Planta	1ª soca	2ª soca	Cana-Planta	1ª soca	2ª soca	Cana-Planta	1ª soca	2ª soca
	-----%-----														
<b>T1</b>	19,9	21,91a	22,17	11,3	12,83	13,73	15,38	19,22a	19,11	77,28	87,81	86,20	0,99	0,627	0,68
<b>T2</b>	19,3	21,45a	21,25	10,77	12,86	12,99	15,03	18,27b	18,32	77,83	85,21	86,24	0,97	0,717	0,68
<b>T3</b>	20,59	21,94a	22,13	11,46	13,02	13,24	16,32	19,29a	19,20	79,17	87,87	86,74	0,93	0,627	0,66
<b>T4</b>	20,63	21,94a	21,26	11,41	12,5	13,04	16,35	18,79a	18,38	79,08	85,6	86,46	0,93	0,702	0,67
<b>T5</b>	19,65	21,63a	20,71	11,25	12,77	13,52	15,89	18,40b	18,09	80,79	85,08	87,29	0,87	0,722	0,64
<b>T6</b>	19,43	21,84a	21,42	11,33	13,07	13,38	14,5	19,23a	18,43	74,52	88,04	86,05	1,09	0,62	0,68
<b>T7</b>	19,62	21,68a	21,71	11,06	12,52	13,28	15,07	18,77a	18,80	76,75	86,51	86,60	1,01	0,675	0,67
<b>T8</b>	20,25	20,78b	21,87	11,62	12,34	13,06	15,92	17,44b	19,11	78,53	83,92	87,38	0,95	0,762	0,64
<b>T9</b>	20,08	21,03b	16,49	11,21	12,55	13,16	16,74	17,80b	18,73	83,38	84,84	85,18	0,78	0,732	0,71
<b>T10</b>	19,94	21,72a	21,89	11,18	13,05	13,65	15,76	18,62a	19,08	78,89	85,69	87,16	0,93	0,702	0,65
<b>Pr &gt; F</b>	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>MÉDIA</b>	19,94	21,59	21,09	11,26	12,75	13,31	15,70	18,58	18,73	78,62	86,06	86,53	0,94	0,69	0,67
<b>C.V. (%)</b>	3,07	2,56	17,22	2,74	3,21	5,17	8,11	3,95	3,56	5,31	3,93	2,04	15,17	17,01	9,01

T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCl (120); T4 – gesso + KCl ( 1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). Letras diferentes indicam significância entre os tratamentos (Scott-Knott) \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e NS -  $p > 0,05$ , respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 9 - Qualidade tecnológica de colmos da cana-de-açúcar, variedade CTC, ano agrícola 2021/2023, São João do Pau d'Alho– SP.

Tratamentos	Cana-planta	1ª soca	2ª soca	Acumulado	Cana-planta	1ª soca	2ª soca	Acumulado
	-----ATR kg t <sup>-1</sup> -----				-----ATR t ha <sup>-1</sup> -----			
<b>T1</b>	155,45	188,75 <sup>a</sup>	188,29	532,50	17,14	16,99	14,45	48,60
<b>T2</b>	151,97	180,75 <sup>b</sup>	180,77	513,50	18,55	16,24	13,92	48,72
<b>T3</b>	163,80	189,50 <sup>a</sup>	188,99	542,29	20,38	17,46	15,70	53,55
<b>T4</b>	164,11	185,25 <sup>a</sup>	181,25	530,61	21,19	17,74	14,93	53,88
<b>T5</b>	159,19	181,75 <sup>b</sup>	178,22	519,17	19,62	17,57	13,61	50,81
<b>T6</b>	147,91	188,75 <sup>a</sup>	181,83	518,49	19,48	17,81	14,06	51,36
<b>T7</b>	152,67	184,75 <sup>a</sup>	185,23	522,65	18,67	18,46	15,03	52,17
<b>T8</b>	160,27	173,00 <sup>b</sup>	187,90	521,17	20,28	17,24	14,86	52,39
<b>T9</b>	166,56	176,00 <sup>b</sup>	138,75	481,30	21,18	15,01	11,70	39,22
<b>T10</b>	158,60	184,00 <sup>a</sup>	187,65	530,26	19,15	17,35	15,07	51,5
<b>Pr &gt; F</b>	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>Média</b>	158,05	183,25	184,55	521,19	19,56	17,19	14,33	50,23
<b>C.V. (%)</b>	6,92	3,43	3,26	6,50	11,36	11,85	18,96	17,95

T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCl (120); T4 – gesso + KCl (1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). Letras diferentes indicam significância entre os tratamentos (Scott-Knott) \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e NS -  $p > 0,05$ , respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.4 Nutrientes Exportados da Cana-de-Açúcar

O acúmulo da Matéria Seca no colmo da cana-de-açúcar da segunda soca, não foi influenciado significativamente pelas doses e fontes de potássio aplicadas, apresentando média entre os tratamentos de 30,48 t ha<sup>-1</sup>.

Os efeitos das interações de nutrientes exportados nos colmos da cana-de-açúcar e as doses e fontes aplicadas, não foram significativos nas concentrações de N, Ca, Mg, S e B, onde o acúmulo dos respectivos nutrientes apresentaram médias de 52,02, 20,98, 28,44, 16,33 e 0,64 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, o acúmulo de P, K, Cu, Fe Mn e Zn nos colmos, variaram significativamente entre os tratamentos (Tabela 10). A alocação dos P e K nos colmos, apresentou maior disponibilidade de P no T1, T2, T4, T7, T9 e T10 comparado aos demais tratamentos, enquanto o maior acúmulo de K, foi verificado no T8 e T10, onde foram aplicadas doses de Polihalita + KCl (1:2) e Polihalita 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente.

Tabela 10 - Exportação de nutrientes dos colmos da cana-de-açúcar, segunda soqueira, variedade CTC 4, ano agrícola 2023, São João do Pau d'Alho – SP.

Tratamentos	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	---- t ha <sup>-1</sup> ----	----- kg ha <sup>-1</sup> -----										
<b>T1</b>	5,42	6,52	8,30a	11,32c	3,62	4,88	3,47	0,77	0,39c	1,14b	0,64b	0,31c
<b>T2</b>	5,40	6,87	9,33a	10,47c	4,48	4,35	4,03	0,79	0,47b	1,19b	0,68b	0,30c
<b>T3</b>	5,60	6,98	6,49b	12,54c	4,79	5,10	3,76	0,82	0,45b	1,00c	0,62b	0,37b
<b>T4</b>	5,62	7,96	8,61a	14,42b	4,98	5,24	3,59	0,81	0,51b	1,25a	0,75a	0,46a
<b>T5</b>	5,47	7,31	6,89b	12,60c	4,58	4,65	3,86	0,80	0,55a	1,30a	0,68b	0,46a
<b>T6</b>	5,41	6,94	6,72b	12,02c	4,32	4,80	4,29	0,77	0,50b	1,15b	0,60b	0,39b
<b>T7</b>	5,54	7,17	7,99a	13,39b	4,33	5,10	4,42	0,80	0,54a	1,13b	0,65b	0,39b
<b>T8</b>	5,52	7,53	5,67b	15,51a	4,59	5,71	4,05	0,80	0,47b	1,29a	0,75a	0,35b
<b>T9</b>	5,53	7,06	8,81a	13,81b	4,70	5,88	4,39	0,81	0,60a	1,11b	0,70a	0,44a
<b>T10</b>	5,63	7,41	8,11a	15,88a	4,71	6,13	4,15	0,81	0,59a	1,19b	0,66b	0,42a
<b>Pr &gt; F</b>	NS	NS	****	****	NS	NS	NS	NS	****	****	*	****
<b>MÉDIA</b>	30,48	52,02	31,11	178,20	20,98	28,44	16,33	0,64	0,26	1,40	0,46	0,15
<b>C.V. (%)</b>	3,60 <sup>◊</sup>	9,13 <sup>◊</sup>	16,56 <sup>◊</sup>	9,53 <sup>◊</sup>	17,89 <sup>◊</sup>	22,52 <sup>◊</sup>	11,67 <sup>◊</sup>	4,26 <sup>◊</sup>	7,40 <sup>◊</sup>	6,13 <sup>◊</sup>	8,62 <sup>◊</sup>	10,86 <sup>◊</sup>

T1 – gesso (1.000); T2 – gesso + KCl (1.000+120); T3 – KCl (120); T4 – gesso + KCl (1.300 + 120); T5 Polihalita (120); T6 – Polihalita (240); T7 Polihalita (360); T8 – Polihalita + KCl (1:2); T9 – Polihalita + KCl (2:1); T10 – Polihalita (120). Letras diferentes indicam significância entre os tratamentos (Scott-Knott) \*\*\*\*, \*\*\*, \*\*, \* e NS indicam  $p < 0,0001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e não significativo, respectivamente. <sup>◊</sup>MS, Macronutrientes e Micronutrientes foram transformados por  $\sqrt{x}$ .

Fonte: Elaborado pela autora.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Aprimoramento de Nutrientes no Solo

Os teores de matéria orgânica entre cana-planta e segunda soca apresentaram tendência de aumento, pode estar relacionado à manutenção da palha no sistema. Segundo Pimentel *et al.* (2024) cerca de 25% do C adicionado via palha fica no sistema. Embora a capacidade das culturas de cobertura em aumentar o C do solo seja altamente variável (Koudahe *et al.*, 2022), sua presença na rotação com plantas perenes pode favorecer o acúmulo de C (Ledo *et al.*, 2020). A palha no sistema também pode justificar os teores de P não terem diminuídos ao longo do tempo, sendo, a manutenção da palha na superfície do solo a uma taxa de 5 t ha<sup>-1</sup> favorece o crescimento das plantas sem a necessidade de aplicação de fertilizante de P (Soltangheisi *et al.*, 2021). A diferença no teor de matéria orgânica encontrada na camada de 0,20-0,40m pode estar correlacionado a alguns fatores, sendo o primeiro a composição da Polihalita (K, Ca, Mg e S) que pode estimular o crescimento radicular e consequentemente aumentar os teores de matéria orgânica e/ou pode estar relacionado aos tratamentos com KCl, devido a presença de Cl<sup>-</sup> no solo ou no fertilizante podem tornar a competição entre Cl<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na absorção pelas raízes, prejudicando assim o desenvolvimento (Bhatt *et al.*, 2021) ou a presença de Cl na composição do KCl pode proporcionar efeito osmótico inibindo produção radicular e atividade microbiana do solo.

Embora dos tratamentos T6 e T7 tenham doses elevadas de Polihalita no plantio (camada 0,00-0,20m), o teor de K após o primeiro ano do estudo foi maior no Tratamento T9, com 2/3 de Polihalita e 1/3 de KCl, com valores seguidos dos tratamentos citados anteriormente. Esses resultados evidenciam que a dose elevada aplicada no plantio apresentou efeito residual após um ano de cultivo, bem como a menor solubilidade da Polihalita em relação ao KCl (Vale, 2016). De modo geral, na segunda soca (camada de 0,00-0,20m), os tratamentos no qual houve reaplicação anual dos fertilizantes apresentaram maiores concentrações (T3, T4, T8 e T9), e na camada inferior (0,20-0,40m) os tratamentos que tiveram KCl apresentaram maiores concentrações, o que pode ser explicado pelo fato da dissolução do KCl ser maior em relação à Polihalita e assim lixiviado para

camadas mais profundas. Para Singh *et al.* (2023) a aplicação de Polihalita é mais relevante em solos onde a disponibilidade desses nutrientes é baixa: em solos arenosos, altamente lixiviados ou em áreas onde as culturas são irrigadas por água com baixo teor desses nutrientes ou pela chuva. Além disso, em solos tropicais altamente intemperizados, a dinâmica do  $K^+$  é complexa devido à sua baixa concentração no material de origem e fixação na estrutura de minerais silicatados de camada 2:1 (Conti *et al.*, 2001; Herrera *et al.*, 2022; Santos, 2015).

No primeiro ano de experimento na camada (0,00-0,20m), assim como  $K^+$ , o  $Ca^{2+}$  foi influenciado mais pela concentração dos fertilizantes do que propriamente pela fonte utilizada, demonstrando o potencial da Polihalita, no fornecimento do  $Ca^{2+}$  assemelhando ao do gesso (Araújo *et al.*, 2016). Na camada inferior os tratamentos com Polihalita apresentaram maiores concentrações, a Polihalita é 10 vezes mais solúvel que o gesso, portanto o  $Ca^{2+}$  se moveria para o subsolo como acontece com o gesso, mais rapidamente (Pavinato *et al.*, 2020). Da mesma forma como acontece com  $K^+$ , o T9 responde positivamente, na primeira soca, demonstrando que a mistura dos dois fertilizantes é positiva. No último ano de experimento (segunda soca) na camada de 0,20-0,40m o tratamento T2 (gesso + KCl) apresentou os maiores teores, resultados estes também encontrados por Rodrigues *et al.*, (2023) que relatou o aumento nos teores de  $Ca^{2+}$  na camada subsuperficial com a aplicação de KCl. Os teores de  $Mg^{2+}$  obtidos nos três anos de experimentos seguem um resultado esperado, uma vez que, a Polihalita é a única fonte que contém Mg. Na camada superficial da cana-planta o T7 diferencia dos demais, e no terceiro ano em ambas as profundidades há uma variação nos teores, entretanto, os tratamentos com o fertilizante Polihalita sempre apresentam teores elevados. Os teores de  $Mg^{2+}$  diminuem ao longo dos anos, efeito também observado por Pavinato *et al.*, (2020).

Em relação ao S, os tratamentos que continham gesso, obtiveram maiores concentrações na cana-planta em ambas as profundidades, isso é devido a composição do fertilizante, uma vez que  $S-SO_4$  é muito móvel no solo (Degryse *et al.*, 2018; Lehmann; Schroth, 2003). Na Polihalita, a lixiviação de Ca, Mg, K e S parece ser mais lenta do que a lixiviação desses íons dos sais solúveis comumente usados (Barbarick, 1991; Vale, 2016; Yermiyahu *et al.*, 2017). O que

corroborar com esses autores são os dados do segundo ano de avaliação (primeira soca), no qual, os tratamentos onde tiveram a presença da Polihalita apresentaram maiores concentrações comparada aos demais.

#### **4.2 Dinâmica dos Nutrientes na Planta**

Os teores foliares de N e K foram diminuindo conforme os anos avaliados, pode estar associado ao ciclo da cultura, entretanto, a literatura sugere valores mais elevados como adequados, principalmente no N primeira e segunda soca, enquanto o K, apesar da diminuição, se manteve dentro da faixa considerada adequada (Cantarella *et al.*, 2022; Malavolta, 1997; Raji *et al.*, 1997). Essa diminuição pode estar relacionada a escassez hídrica durante os anos de experimento, uma vez que o movimento desses nutrientes no solo é muito influenciado pelo fluxo de massa, afetando a absorção pelas raízes (Crusciol *et al.*, 2012; Lefèvre *et al.*, 2012), aliada ao solo arenoso com baixo teor de matéria orgânica e reduzida capacidade de retenção de água (Oliveira *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2017). A restrição hídrica também afeta o desenvolvimento do sistema radicular (Simões *et al.*, 2018; Vasconcelos; Dionardo-Miranda, 2011), reduzindo o volume de solo explorado para absorção de nutrientes (Oliveira *et al.*, 2022).

Os teores de P se mantiveram próximo as faixas consideradas adequadas (Cantarella *et al.*, 2022), contudo, a primeira soca ficou abaixo, o que pode estar relacionado a escassez hídrica citada anteriormente, entretanto, na segunda soca os valores voltam a subir, evidenciando os efeitos observados por Oliveira *et al.* (2022), atribuiu o aumento nos teores foliares de P na cultura à aplicação de fertilizantes fosfatados durante os ciclos da cultura. O Ca e o Mg adicionais da Polihalita não apresentaram efeito nos teores foliares da cana-de-açúcar, permanecendo dentro dos teores considerados adequados para cultura (Cantarella *et al.*, 2022). Isso é devido ao Ca e Mg que são absorvidos em pequenas quantidades (Cantarella; Rossetto, 2014).

O único macronutriente a responder aos tratamentos foi o S (segunda soca), sendo ele um componente necessário dos aminoácidos e, por conseguinte, das proteínas, bem como um elemento fundamental na formação de coenzimas (Herrera *et al.*, 2022). É também necessário para a atividade da

reduz-se do nitrato e para a produção de clorofila (Singh; Tiwari, 2018). O T10 diferenciou dos demais tratamentos, estando ligado a quantidade de  $\text{SO}_4$  aplicada, quanto a lixiviação do produto explicada anteriormente. Além disso os baixos teores obtidos nos outros tratamentos, dando indícios de uma possível deficiência nutricional, podem estar atribuídas à baixa MO do solo, alta mobilidade dos nutrientes no perfil do solo, especialmente com predominância da fração arenosa ou característica varietal (Oliveira *et al.*, 2022).

### **4.3 Efeitos dos Nutrientes Aplicados na Produtividade e Qualidade Tecnológica**

Esperava-se que os macronutrientes contidos no fertilizante Polihalita resultassem em ganhos de produtividade para a cultura, entretanto, não houve diferença entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram relatados por (Pavinato *et al.*, 2020), (Bhatt *et al.*, 2021) e (Herrera *et al.*, 2022) em solos ácidos e arenosos, indicando que o Polihalita é semelhante ao KCl no fornecimento de nutrientes para esta cultura. (Gokul *et al.*, 2023) em seu estudo identificou uma menor produção de cana-de-açúcar no tratamento com KCl, comparado à Polihalita, e atribuiu essa diferença à competição entre os ânions cloreto e sulfato pela absorção da raiz. Essa competição pode ser mais severa nos tratamentos com KCl devido à adição de ânions de cloreto. Além disso, a redução pode ser devida a outros fatores, como a sincronia entre a disponibilidade de nutrientes e o pico de demanda de nutrientes da cultura e as diferenças nas taxas de aplicação de S, Mg e Ca (Pavuluri *et al.*, 2017). A produtividade deste estudo foram superiores às médias nacionais e regionais do mesmo ano, a cana-planta como esperada foi superior à média regional de  $79.719 \text{ kg ha}^{-1}$  (CONAB, 2024), isso é devido a cana-planta sempre apresentar uma produtividade maior, diminuindo com as colheitas. A primeira soca teve um decréscimo, comparada à cana-planta, entretanto, a produtividade fora maior à média regional e nacional,  $71.604$  e  $70.945 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente (CONAB, 2024; FAOSTAT, 2024). Para o último ano avaliado (segunda soca), os valores foram levemente maiores que os regionais ( $75.436 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e nacional ( $75.639 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Nos valores do acumulado da produtividade dos três anos avaliados, nota-se uma diminuição da produtividade no T1, onde não havia presença de KCl, o que evidencia, que

mesmo com a liberação de K, efeito dos resíduos de cana-de-açúcar no campo podendo ser rápida e quase completa dentro de um ano (Fortes *et al.*, 2013, p. 20; Oliveira *et al.*, 1999; Souza Jr *et al.*, 2015), o que supriu nas necessidades da cultura, e a liberação de K da cultura anterior é importante, mas por si só não explica a absorção. A contribuição da raiz para a absorção de K na cultura seguinte é uma fonte adicional com documentação limitada. (Pavinato *et al.*, 2020). Outro fator importante a ser levado em consideração é que o K não trocável deve ser considerado ao interpretar o status de K do solo. (Volf *et al.*, 2023). Pode-se concluir que não ter diferença entre os tratamentos, faz da Polihalita uma fonte equivalente ao KCl na produtividade da cana-de-açúcar.

Os parâmetros tecnológicos, não responderam em função dos tratamentos, a exceção é o Brix e Pol (primeira soca), no qual os tratamentos T8 e T9 (relação KCl e Polihalita) obtém menores valores, porém o resultado não se repetiu nos demais anos de avaliação. Os teores estão de acordo com os recomendados por (Ripoli; Ripoli, 2004). Apesar dos teores do estudo realizado estarem semelhantes ao de (Gokul *et al.*, 2023), as doses de K aplicadas para KCl e Polihalita, foram diferentes, e os teores de K nos tratamentos, não diferenciaram estatisticamente nas análises. O ATR assim como a produtividade, não responderam aos tratamentos, entretanto, diferentemente da produtividade, não se observa uma redução se comparado ao tratamento controle (T1). Os efeitos do Potássio na produtividade das culturas agrícolas, em muitos casos não são verificados, muito diferente em estudos com N ou P, que as respostas em produtividade são observados com maior frequência. No entanto, é importante destacar que os tratamentos com aplicação de elevadas doses de Polihalita no sulco de plantio não prejudicou o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Dessa maneira, a ausência de diferença significativa evidencia o potencial de utilização de altas doses de polihalita para atender a demanda da cultura ou estabelecer estratégias de manejo de adubação de acordo com a disponibilidade operacional.

#### 4.4 Extração de Nutrientes pelos Colmos

As evidências da alocação de nutrientes da raiz para os colmos, sugerem que no início do perfilhamento, há um aumento na participação do colmo para o acúmulo de matéria seca, contribuindo para a matéria seca da parte aérea no início do processo de senescência (Santana *et al.*, 2023), promovendo a drenagem de nutrientes para as plantas, que por sua vez, apresentaram teores foliares considerados adequados de acordo com (Cantarella *et al.*, 2022; Malavolta, 1997; Raji *et al.*, 1997).

O baixo teor do N foliar na segunda soca, evidencia a expressão do N no colmo da cana-de-açúcar. Luo *et al.* (2017) relata que o N participa do processo de divisão e diferenciação celular, onde é direcionado para a formação de perfilhos, após, durante o prolongamento do colmo, o N manifesta a função primordial na multiplicação celular, em que as células vão exercer a função de depósito de sacarose no colmo, conseqüentemente o acúmulo de N, assim, como a demanda de P nos colmos no início da fase de maturação é mais acentuada (Santana *et al.*, 2023) evidenciando o acúmulo significativo de P nos colmos na segunda soca.

A mobilidade do K, faz com que esse elemento tenha uma importante função no crescimento das plantas ao participar do controle osmóticos e do processo de translocação de nutrientes. O K foi o nutriente mais exportado pelo colmo, corroborando com (Santana *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2018), com maiores acúmulo registrados nos tratamentos com Polihalita + KCl (1:2) e Polihalita 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. O acúmulo de Ca, Mg, S e B nos colmos, não foram influenciados significativamente com aplicação de fontes e doses de potássio, no entanto, o acúmulo de Ca pode estar relacionado a menor mobilidade do Ca no floema (Maathuis, 2009) não promovendo o deslocamento na planta, acumulando-se no colmo (Oliveira *et al.*, 2010). Garcia *et al.* (2020) sugere em seu estudo que no final do ciclo da cultura, a demanda por Mg, pode estar relacionada com o transporte de sacarose no floema, envolvendo gasto de energia, proveniente das moléculas de ATP, evidenciando a contribuição do S no transporte (Santana *et al.*, 2023). O acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nos colmos foi influenciado positivamente com doses e fontes potássicas aplicadas nos tratamentos, apresentando médias onde a exportação de Fe > Mn > Cu > Zn nos colmos.

## CONCLUSÃO

A aplicação de polihalita demonstrou ser benéfica em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente em solos arenosos ou altamente intemperizados. Os tratamentos que incluíram polihalita mostraram maior concentração de nutrientes como Ca, Mg, e S no solo e nas plantas, indicando sua eficácia como fonte de nutrientes.

O teor de S foliar apresentou resposta significativa aos tratamentos, especialmente na segunda soca, destacando a importância da sua aplicação na forma de polihalita e gesso agrícola.

A polihalita e o cloreto de potássio apresentaram resposta semelhante na produtividade e ambas as fontes foram eficientes no fornecimento de K à cana-de-açúcar.

A aplicação de até três vezes a dose recomendada de  $K_2O$ , no sulco de plantio, por meio da polihalita não prejudicou o desenvolvimento e a produtividade de cana-de-açúcar, como também, não interferiu na absorção de outros nutrientes.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

ARAÚJO, L. G.; FIGUEIREDO, C. C. D.; SOUSA, D. M. G. D.; NUNES, R. D. S.; REIN, T. A. Influence of gypsum application on sugarcane yield and soil chemical properties in the brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, [s.l.], v. 10, n. 11, p. 1557–1563, 20 nov. 2016.

BARBARICK, K. A. Polyhalite application to sorghum-sudangrass and leaching in soil columns. **Soil Science**, [s.l.], v. 151, n. 2, p. 159–166, fev. 1991.

BENITES-LAZARO, L. L.; MELLO-THÉRY, N. A.; LAHSEN, M. Business storytelling about energy and climate change: the case of Brazil's ethanol industry. **Energy Research & Social Science**, [s.l.], v. 31, p. 77–85, set. 2017.

BHATT, R.; SINGH, P.; ALI, O. M.; ABDEL LATEF, A. A. H.; LAING, A. M.; HOSSAIN, A. Polyhalite Positively Influences the Growth, Yield and Quality of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Potassium and Calcium-Deficient Soils in the Semi-Arid Tropics. **Sustainability**, [s.l.], v. 13, n. 19, p. 10689, 26 set. 2021.

BOSCHIERO, B. N. **5 variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-5-variedades-de-cana-mais-cultivadas/>. Acesso em: 23 set. 2024.

BRITO, J. O. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e suas potencialidades para geração de energia e polpa celulósica. **Madera y Bosques**, [s.l.], v. 28, n. 1, 10 set. 2022.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. VAN. **Boletim 100**: recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2022.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. Fertilizers for sugarcane. *In*: CORTEZ, L. A. B. (Ed.). **Sugarcane bioethanol**: R&D for productivity and sustainability. [s.l.]: Edgard Blücher, 2014. p. 405–422.

CHEN, XIAO; CHEN, XIAODONG; JIAO, JIABIN; ZHANG, FUSUO; CHEN, XINPING; LI, GUOHUA; SONG, ZHAO; SOKOLOV, ELDAD; IMAS, PATRICIA; MAGEN, HILLEL; BUSTAN, AMNON; HE, YUZHI; XIE, DASEN; ZHANG, BAIGE. Towards balanced fertilizer management in south China: enhancing wax gourd (*Benincasa hispida*) yield and produce quality. **Sustainability**, [s.l.], v. 14, n. 9, p. 5646, 7 maio 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 12, n. 2 ago. 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 11, n. 3, nov. 2023.

CONTI, M. E.; DE LA HORRA, A. M.; EFFRON, D.; ZOURARAKIS, D. Factors affecting potassium fixation in Argentine agricultural soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.], v. 32, n. 17–18, p. 2679–2690, 31 out. 2001.

CRUSCIOL, C. A. C.; MANCUSO, M. A. C.; GARCIA, R. A.; CASTRO, G. S. A. Crescimento radicular e aéreo de cultivares de arroz de terras altas em função da calagem. **Bragantia**, [s.l.], v. 71, n. 2, p. 256–263, 19 jul. 2012.

DAL MOLIN, S. J.; NASCIMENTO, C. O.; TEIXEIRA, P. C.; BENITES, V. D. M. Polyhalite as a potassium and multinutrient source for plant nutrition. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [s.l.], v. 66, n. 5, p. 667–678, 15 abr. 2020.

DE OLIVEIRA LINO, F. S.; GARG, S.; LI, S. S.; MISIAKOU, M.-A.; KANG, K.; VALE DA COSTA, B. L.; BEYER-PEDERSEN, T. S.-A.; GIACON, T. G.; BASSO, T. O.; PANAGIOTOU, G.; SOMMER, M. O. A. Strain dynamics of contaminating bacteria modulate the yield of ethanol biorefineries. **Nature Communications**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 5323, 22 jun. 2024.

DEGRYSE, F.; SILVA, R. C.; BAIRD, R.; BEYRER, T.; BELOW, F.; MCLAUGHLIN, M. J. Uptake of elemental or sulfate-S from fall- or spring-applied co-granulated fertilizer by corn: a stable isotope and modeling study. **Field Crops Research**, [s.l.], v. 221, p. 322–332, 15 maio 2018.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 26 mar. 2024.

FELTRIN, M. S.; LAVANHOLI, M. D. G. D. P.; SILVA, H. S.; PRADO, R. D. M. Adubação potássica na produtividade da soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Nucleus**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 307–314, 30 abr. 2010.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 3. ed. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 35, n. 6, p. 1039–1042, dez. 2011.

FORTES, C.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FERREIRA, D. A.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Contribution of nitrogen from sugarcane harvest residues and urea for crop nutrition. **Scientia Agricola**, [s.l.], v. 70, p. 313–320, out. 2013.

GARCIA, A.; CRUSCIOL, C. A. C.; MCCRAY, J. M.; NASCIMENTO, C. A. C.; MARTELLO, J. M.; DE SIQUEIRA, G. F.; TARUMOTO, M. B. Magnesium as a Promoter of Technological Quality in Sugarcane. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 19–30, mar. 2020.

GOKUL, D.; KARTHIKEYAN, P. K.; POONKODI, P.; BABU, S.; IMAS, P.; PERELMAN, A. Influence of Polyhalite on growth and yield of sugarcane var. Co 11015 in typic Ustropepts. **Research on Crops**, [s.l.], v. 24, n. 1, p. 123–131, 2023.

GOKUL, D.; KARTHIKEYAN, P. K.; POONKODI, P.; BABU, S.; IMAS, PATRICIA; PERELMAN, A.; SRIRAMACHANDRASEKHARAN, M. V. Effect of polyhalite and muriate of potash on quality attributes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Inceptisols. **Journal of Applied and Natural Science**, [s.l.], v. 15, n. 4, p. 1326–1331, 20 dez. 2023.

HEINRICHS, R.; OTTO, R.; MAGALHÃES, A.; MEIRELLES, G. C. Importance of Sugarcane in Brazilian and World Bioeconomy. *Em*: DABBERT, S.; LEWANDOWSKI, I.; WEISS, J.; PYKA, A. (Eds.). **Knowledge-Driven Developments in the Bioeconomy**. Economic Complexity and Evolution. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 205–217.

LEWANDOWSKI, I.; WEISS, J.; PYKA, A. (Ed.). **Knowledge-driven developments in the bioeconomy**: economic complexity and evolution. Cham: Springer International, 2017. p. 205–217.

HERRERA, W. F. B.; ARRUDA, B.; DE CARVALHO, H. W. P.; PAVINATO, P. S. Improving potassium use efficiency of sugarcane through the use of polyhalite. **CABI Agriculture and Bioscience**, [s.l.], v. 3, n. 1, p. 55, 4 set. 2022.

HUANG, C.; YERMIYAHU, U.; SHENKER, M.; BEN-GAL, A. Effect of leaching events on the fate of polyhalite nutrient minerals used for crop fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 43, n. 16, p. 2518–2532, 1 out. 2020.

KEMP, S. J.; SMITH, F. W.; WAGNER, D.; MOUNTENEY, I.; BELL, C. P.; MILNE, C. J.; GOWING, C. J. B.; POTTAS, T. L. An Improved Approach to Characterize Potash-Bearing Evaporite Deposits, Evidenced in North Yorkshire, United Kingdom. **Economic Geology**, [s.l.], v. 111, n. 3, p. 719–742, maio 2016.

LEDO, A. Changes in soil organic carbon under perennial crops. **Global Change Biology**, [s.l.], v. 26, n. 7, p. 4158–4168, 2020.

LEFÈVRE, I.; ZIEBEL, J.; GUIGNARD, C.; HAUSMAN, J.-F.; ROSALES, R. O. G.; BONIERBALE, M.; HOFFMANN, L.; SCHAFLEITNER, R.; EVERS, D. Drought Impacts Mineral Contents in Andean Potato Cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [s.l.], v. 198, n. 3, p. 196–206, 2012.

LEHMANN, J.; SCHROTH, G. Nutrient leaching. *In*: SCHROTH, G. SINCLAIR, F. L. (Ed.). **Trees, crops and soil fertility**: concepts and research methods. UK: CABI, 2003. p. 151–166.

LUO, L.; PAN, S.; LIU, X.; WANG, H.; XU, G. Nitrogen deficiency inhibits cell division-determined elongation, but not initiation, of rice tiller buds. **Israel Journal of Plant Sciences**, [s.l.], p. 1–9, 16 fev. 2017.

MAATHUIS, F. J. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 250–258, jun. 2009.

MALAVOLTA, E. Absorção, transporte e redistribuição de K na planta. **Informações Agronômicas**, [s.l.], n. 107, p. 5, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. DE. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**, [s.l.], v. 2, p. 115–230, 1997.

MELLO, S. DA C.; PIERCE, F. J.; TONHATI, R.; ALMEIDA, G. S.; NETO, D. D.; PAVULURI, K. Potato Response to Polyhalite as a Potassium Source Fertilizer in Brazil: Yield and Quality. **HortScience**, [s.l.], v. 53, n. 3, p. 373–379, 1 mar. 2018.

MURRELL, T. S.; MIKKELSEN, R. L.; SULEWSKI, G.; NORTON, R.; THOMPSON, M. L. (ed.). **Improving potassium recommendations for agricultural crops**. Cham: Springer International, 2021.

OLIVEIRA, C. L. B. D.; CASSIMIRO, J. B.; LIRA, M. V. D. S.; BONI, A. D. S.; DONATO, N. D. L.; REIS, R. D. A.; HEINRICHS, R. Sugarcane ratoon yield and soil phosphorus availability in response to enhanced efficiency phosphate fertilizer. **Agronomy**, [s.l.], v. 12, n. 11, p. 2817, 11 nov. 2022.

OLIVEIRA, C. L. B.; CASSIMIRO, J. B.; SILVA, J. F. DA; SILVA, M. B. P.; BONINI, C. S. B.; HEINRICHS, R. Fertilidade do solo, adubação e a sustentabilidade da produção agropecuária. *In*: MEMBRIVE, C. M. B.; BERNARDES, E. M.; ROSAS, F. S.; FONSECA, R. **IMAST 2023: IV International Meeting of Agrarian Science and Technology**. Dracena: FCAT, 2023.

OLIVEIRA, E. C. A. D.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I. D.; FREIRE, M. B. G. D. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. D. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 34, n. 4, p. 1343–1352, ago. 2010.

OLIVEIRA, M. W.; MACÊDO, G. A. R.; MARTINS, J. A.; SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, A. B. Mineral Nutrition and Fertilization of Sugarcane. *In*: OLIVEIRA, A. B (Ed.). **Sugarcane: technology and research**. [S.l.]: InTech, 2018.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. DE C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 34, p. 2359–2362, dez. 1999.

PAVINATO, P. S.; CORÁ, J. E.; CAMARGO SANTOS, A.; HERRERA, W. F. B.; PAVULURI, K.; PIERCE, F. J. Sugarcane response to polyhalite fertilizer in Brazilian Oxisols. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 112, n. 6, p. 5264–5278, 2020.

PAVULURI, K.; MALLEY, Z.; MZIMBIRI, M. K.; LEWIS, T. D.; MEAKIN, R. Evaluation of polyhalite in comparison to muriate of potash for corn grain yield in the Southern Highlands of Tanzania. **African Journal of Agronomy**, [s.l.], v. 5, n. 3, p. 325–332, mar. 2017.

PIMENTEL, M. L.; OLIVEIRA, A. B. DE; SCHIEBELBEIN, B. E.; CARVALHO, M. L.; TENELLI, S.; CHERUBIN, M. R.; CARVALHO, J. L. N.; BRIEDIS, C.; PANOSSO, A. R.; OLIVEIRA BORDONAL, R. Quantity, quality and physical protection of soil carbon associated with sugarcane straw removal in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [s.l.], v. 237, 2024.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. [S.l.: s.n.], 1997. p. 88.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques, 2004.

RODRIGUES, L. A.; MARTINS, C. C.; ARAÚJO, T. C.; MARCIANO, C. R.; BARCELOS, J. G.; RIBEIRO, R. M. D. S.; SILVA, M. G. D.; BARROSO, D. G. Biochar decreases nutrient leaching in KCl-fertilized Podzols grown with black mucuna. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 47, p. e0220086, 6 mar. 2023.

SANTANA, R. S.; MAUAD, M.; DE MEDEIROS, E. S.; SILVA, P. V.; MUSSURY FRANCO SILVA, R. M.; GONELI, A. L. D. Dry matter accumulation and macronutrient uptake in sugarcane varieties. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 46, n. 14, p. 3385–3401, 27 ago. 2023.

SANTOS, F. **Sugarcane: agricultural production, bioenergy and ethanol**. Amsterdam: Elsevier, 2015.

SANTOS, H. DOS; JACOMINE, P.; ANJOS, L.; OLIVEIRA, V.; LUMBRERAS, J.; COELHO, M.; ALMEIDA, J.; CUNHA, T.; OLIVEIRA, J. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, E. M. D.; LIMA, C. J. G. D. S.; DUARTE, S. N.; BARBOSA, F. D. S.; MASCHIO, R. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características da berinjela cultivada em ambiente protegido. **Revista Ciência Agrônômica**, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 150–158, mar. 2013.

SILVA, T. R.; CAZETTA, J. O.; CARLIN, S. D.; TELLES, B. R. Drought-induced alterations in the uptake of nitrogen, phosphorus and potassium, and the relation with drought tolerance in sugar cane. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 41, p. 117–127, abr. 2017.

SILVA, V. S. G. D.; OLIVEIRA, M. W. D.; FERREIRA, V. M.; OLIVEIRA, T. B. A.; SANTANA, M. D. B.; GALVÃO, E. R. Stalk yield and nutrients accumulation of sugarcane varieties in three crop cycles. **Revista de Ciências Agrárias**, [s.l.], p. 415- 423, 18 jan. 2019.

SILVEIRA, M. A. G.; MEDINA, N. H. Distribuição de potássio em cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, [s.l.], v. 3, n. 1A, 21 maio 2015.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M. J. M.; OLIVEIRA, A. R.; PINHEIRO, M. P. M. A. Sugarcane crops with controlled water deficit in the submiddle são francisco valley, Brazil. **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 31, n. 4, p. 963–971, 17 out. 2018.

SINGH, A.; TIWARI, S. K. Mineral nutrition in plants and its management in soil. *In: EMERGING trends of plant physiology for sustainable crop production*. [S.l.]: Apple Academic Press, 2018.

SINGH, V. K.; SHEKHAWAT, K.; SINGH, R. K.; BABU, S.; UPADHYAY, P. K.; RAI, P. K.; KUMAR, A.; AWASTHI, N. K.; RATHORE, S. S. Optimizing polyhalite (POLY-4) use in the maize-wheat system: a comparative case study from upper and Trans Indo-Gangetic plains of India. **Heliyon**, [s.l.], v. 9, n. 12, p. e22566, 1 dez. 2023.

SOLTANGHEISI, A.; HAYGARTH, P. M.; PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; TELES, A. P. B.; BORDONAL, R. DE O.; CARVALHO, J. L. N.; WITHERS, P. J. A.; MARTINELLI, L. A. Long term sugarcane straw removal affects soil phosphorus dynamics. **Soil and Tillage Research**, [s.l.], v. 208, p. 104898, abr. 2021.

SOUZA JR, J. P.; FLORES, R. A.; PRADO, R. M.; MODA, L. R. Release of potassium, calcium and magnesium from sugarcane straw residue under different irrigation regimes. **Australian Journal of Crop Science**, [s.l.], v. 9, p. 767–771, 2015.

TIWARI, D. D.; PANDEY, S. B.; KATIYAR, N. K. Effects of polyhalite as a fertilizer on yield and quality of the oilseed crops mustard and sesame. **International Potash Institute e-ific**, [s.l.], v. 42, p. 13-20, 2015.

VALE, F. Calcium and magnesium movement in soil profile with polyhalite as potassium fertilizer for soybean crop. **Proceedings of FERTBIO**, [s.l.], p. 16–20, 2016.

VALE, F.; SÉRIO, D. R. Introducing polyhalite to Brazil: first steps of a new fertilizer. **Electronic International Fertilizer Correspondent (e-ific)**, [s.l.], n. 48, p. 3–11, 2017.

VASCONCELOS, A. C. M. DE; DIONARDO-MIRANDA, L. **Dinâmica do desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar e implicações no controle de nematóides**. 2. ed. Campinas: Revista e Ampliada, 2011.

VIVIAN, M. A.; SANTOS, J. R. S. D.; SEGURA, T. E. S.; SILVA JÚNIOR, F. G. D.; BRITO, J. O. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e suas potencialidades para geração de energia e polpa celulósica. **Madera y Bosques**, v. 28, n. 1, 10 set. 2022.

VOLF, M. R.; BENITES, V. M.; AZEVEDO, A. C.; MORAES, M. F.; TIRITAN, C. S.; ROSOLEM, C. A. Soil mineralogy and K reserves in soils from the Araguaia River valley, Brazil. **Geoderma Regional**, [s.l.], v. 33, p. e00654, 1 jun. 2023.

YERMIYAHU, U.; ZIPORI, I.; FAINGOLD, I.; YUSOPOV, L.; FAUST, N.; BARTAL, A. Polyhalite as a multi nutrient fertilizer: potassium, magnesium, calcium and sulfate. **Israel Journal of Plant Sciences**, [s.l.], 2017.

YERMIYAHU, U.; ZIPORI, I.; OMER, C.; BEER, Y. Solubilidade de polihalita granular em condições de laboratório e campo. **Internacional Potassa Inst.**, [s.l.], v. 58, p. 3-9, 2019.

YU, C.; GEISSELER, D. J.; BROWN, P. H.; KHALSA, S. D. S. Distribution of potassium, calcium, and magnesium ions from potassium fertilizers in columns of orchard soils. **Soil Science Society of America Journal**, [s.l.], v. 87, n. 3, p. 572–585, maio 2023.