

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TRIÂNGULO MINEIRO- *CAMPUS* UBERABA
CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

ANA LAURA LOVATO SILVA

**EFEITO RESIDUAL DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO NA
PRODUÇÃO, FISIOLOGIA E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA- DE-
AÇÚCAR**

Uberaba- MG

2025

ANA LAURA LOVATO SILVA

**EFEITO RESIDUAL DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO NA
PRODUÇÃO, FISIOLOGIA E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Triângulo Mineiro, *Campus* Uberaba,
como requisito parcial para conclusão
do Curso de Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Valdeci Orioli
Júnior

Uberaba- MG

2025

Ficha Catalográfica elaborada pelo Setor de Referência do IFTM –
Campus Uberaba-MG

S38e Silva, Ana Laura Lovato
Efeito residual de fontes alternativas de potássio na produção, fisiologia e
qualidade tecnológica da cana-de-açúcar / Ana Laura Lovato Silva. – 2025.
38 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior.
Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia
Agrônômica) - Instituto Federal do Triângulo Mineiro - *Campus Uberaba*
-MG, 2025.

1. Adubação alternativa. 2. *Saccharum spp.* 3. Elemento essencial.
I. Orioli Júnior, Valdeci. II. Título.

CDD 633.61

ANA LAURA LOVATO SILVA

**EFEITO RESIDUAL DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO NA
PRODUÇÃO, FISIOLOGIA E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA- DE-
AÇÚCAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, *Campus* Uberaba, como exigência parcial para obtenção do diploma de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior.

Aprovado em 02 de dezembro de 2025.

Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior, IFTM (Prof. Orientador)

Prof. Dr. Daniel Rufino Amaral, IFTM (Prof. Convidado)

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres, IFTM (Prof. Convidado)

VALDECI ORIOLI JÚNIOR
PROFESSOR ORIENTADOR

Documento assinado eletronicamente por VALDECI ORIOLI JÚNIOR, PROFESSOR ORIENTADOR, em 10/12/2025, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

DANIEL RUFINO AMARAL
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO

Documento assinado eletronicamente por DANIEL RUFINO AMARAL, PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO, em 10/12/2025, às 15:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

JOSÉ LUIZ RODRIGUES TORRES
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO

Documento assinado eletronicamente por JOSÉ LUIZ RODRIGUES TORRES, PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO, em 10/12/2025, às 16:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://iftm.edu.br/autenticacao/> informando o código verificador 9C43DFC e o código CRC 804DEDEE.

Àqueles que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado em todos os momentos. Aos meus pais, meu irmão, meus familiares e ao meu namorado, que torceram por mim e estiveram presentes em cada conquista, sempre acreditando na minha capacidade. Dedico este trabalho a vocês, minha base, minha força e meu maior incentivo para seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Sergio e Cláudia, por todo apoio, educação e incentivo que me deram não só ao longo desses cinco anos, mas na vida toda. Sem a ajuda deles, nada disso teria sido possível.

Ao meu irmão e meus familiares, por todo apoio e por sempre acreditarem em mim.

Ao meu namorado, Marcos, que sempre me incentivou, acreditou, apoiou e esteve do meu lado em todos os momentos, compartilhando comigo cada desafio e conquista ao longo dessa jornada.

Aos meus amigos de faculdade, que me acompanharam durante esses cinco anos, me ajudaram na avaliação desse trabalho e dividiram todos os momentos, bons e ruins, ao meu lado.

A Deus, por nunca sair do meu lado e me dar forças em momentos difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior, que acreditou no meu potencial e esteve sempre disposto a me ajudar e me aconselhar.

A todos os meus professores, que foram essenciais para a minha formação profissional ao longo desses cinco anos.

Aos membros da banca avaliadora, pela disponibilidade de participar da apresentação e pelas considerações acerca do meu trabalho.

RESUMO

A dependência brasileira de fertilizantes potássicos e a busca por alternativas motivaram o estudo sobre o efeito residual de pós de rocha comparados ao KCl na cana-soca. O experimento foi conduzido no IFTM — Campus Uberaba, em Latossolo Vermelho distrófico, com delineamento em blocos casualizados 3 × 5 (três fontes × cinco doses: 0, 80, 160, 240 e 320 kg ha⁻¹ de K₂O), quatro repetições, totalizando 60 parcelas; as doses foram aplicadas na cana-planta e não reaplicadas na soca para avaliar o efeito residual. Foram avaliados teor de K na folha, morfologia (altura, número de entrenós e comprimento médio dos entrenós), massa e produtividade de colmos, índices fisiológicos (clorofila e QY) e SST (°Brix). Houve incremento linear do teor foliar de K com as doses e efeito significativo de fonte e dose sobre o teor foliar e o diâmetro de colmo; a massa de colmos variou apenas entre fontes. A produtividade apresentou interação significativa fonte × dose: KCl mostrou produtividade estável (114,5 t ha⁻¹), enquanto F1 e F2 aumentaram linearmente com a dose. O Índice de clorofila e QY foram estáveis (Chl de 42; QY variando de 0,68–0,71) e SST permaneceu 22 °Brix, sem respostas aos tratamentos. Esses resultados indicam que o KCl fornece maior disponibilidade imediata, enquanto os pós de rocha liberam K lentamente e apresentam efeito residual benéfico no segundo ciclo, mostrando potencial agrônomo quando inseridos em programas de adubação que considerem sua dinâmica de liberação.

Palavras-chave: adubação alternativa; *Saccharum* spp; elemento essencial.

ABSTRACT

The Brazilian dependence on potassium fertilizers and the search for alternative sources motivated this study on the residual effect of rock powders (phonolite — Ekosil® and hydrothermally altered phonolite — Potasil®) compared with KCl in ratoon sugarcane. The experiment was conducted at IFTM — Uberaba Campus, in a dystrophic Red Latosol, using a randomized block design in a 3 × 5 factorial scheme (three K sources × five doses: 0, 80, 160, 240, and 320 kg ha⁻¹ of K₂O), with four replications, totaling 60 plots. The doses were applied in plant cane and not reapplied in the ratoon, allowing evaluation of the residual effect. The variables assessed were leaf K concentration, morphological traits (plant height, number of internodes, and internode length), stalk mass and yield, physiological indices (chlorophyll and QY), and total soluble solids (°Brix). Leaf K concentration increased linearly with increasing doses, and both source and dose had significant effects on leaf K and stalk diameter. Stalk mass was influenced only by the K sources. Stalk yield showed a significant interaction between source and dose: KCl resulted in stable yields (114.5 t ha⁻¹), whereas F1 and F2 exhibited linear increases with increasing doses. Chlorophyll index and QY remained stable (Chl ≈ 42; QY ranging from 0.68 to 0.71), while °Brix averaged 22, with no treatment effects. These results indicate that KCl provides greater immediate availability, whereas rock powders release K slowly and show beneficial residual effects in the second crop cycle, demonstrating agronomic potential when included in fertilization programs that consider their gradual nutrient-release dynamics.

Keywords: alternative fertilization; *Saccharum* spp; essential element.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a preservação ambiental tem ganhado destaque ao longo dos anos, devido ao uso desenfreado e crescente de combustíveis fósseis e os impactos prejudiciais que causam ao ecossistema (Unit station, 2015). Nesse cenário, os biocombustíveis apresentam-se como uma alternativa sustentável e viável, tendo o etanol como um dos principais destaques (Handler *et al.*, 2016), por ser originado de fontes renováveis e, além disso, por apresentar uma elevada capacidade de redução na emissão de gases poluentes quando comparado aos combustíveis tradicionais. (SEBRAE, 2016).

No Brasil, a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima utilizada para a produção de etanol. A cultura desempenha papel fundamental no desenvolvimento do setor rural, contribui para a redução da dependência da importação de petróleo e fortalece a diversificação da matriz energética brasileira (Coelho *et al.*, 2006). O Brasil se destaca como líder mundial nesse mercado, respondendo por cerca de 21% da produção global, superando nações como Tailândia, Áustria, Índia, União Europeia e outros (Única, 2017; Brinkman *et al.*, 2008).

Com grande relevância para a agricultura brasileira, a cana-de-açúcar figura entre as culturas de maior destaque no país. De acordo com dados da CONAB (2024), na safra 2023/2024 a produção atingiu 713,2 milhões de toneladas, cultivadas em uma área de 8,29 milhões de hectares, consolidando o Brasil como o maior produtor mundial.

Para assegurar altas produtividades e atender à demanda crescente, o preparo do solo constitui uma etapa fundamental, especialmente porque o canavial permanece produtivo no campo por aproximadamente cinco a seis anos. Portanto, a execução adequada de todas as etapas que antecedem o plantio, desde a análise química do solo até as operações de aração e gradagem são essenciais para promover melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Essas práticas favorecem a germinação e a brotação, reduzem a compactação e aumentam a infiltração de água (Freitas, 1987).

Outro fator que influencia no aumento de produtividade é a adubação. Trata-se de uma etapa essencial para o desenvolvimento da cultura, visto que solos adequadamente corrigidos apresentam uma maior fertilidade quando comparados com aqueles de baixa qualidade nutricional (Marín, 2008). Além disso, a disponibilidade hídrica correta durante o ciclo da cultura também é determinante para o rendimento do canavial. De acordo com Gava *et al.* (2011), cada fase da cultura necessita de uma quantidade específica de água,

sendo o estágio vegetativo particularmente sensível à disponibilidade hídrica (Tejera *et al.*, 2007).

Na recomendação da adubação, é preciso considerar tanto a condição do solo quanto as exigências nutricionais da cultura. Para a cana, a adubação de plantio é fundamental para o fornecimento inicial de nutrientes, enquanto a adubação de cobertura supre as demandas em momentos decisivos, como no período de alongamento do colmo (Almeida *et al.*, 2022).

Dentre os nutrientes mais exigidos pela cultura, o potássio ocupa posição de destaque. Esse elemento participa de funções essenciais, como ativação de mais de 60 enzimas, controle dos estômatos, equilíbrio osmótico, entre outras funções (Malavolta, 2006; Cakmak, 2005). Entretanto, desde 1992, o país tornou-se altamente dependente da exportação desse nutriente, fato que representa um risco estratégico e financeiro para o setor agrícola (ANDA, 2022).

Diante disso, a busca por fontes alternativas que reduzam a vulnerabilidade e os impactos econômicos tem aumentado ao longo do tempo (Nascimento; Lapido-Loureiro, 2009). Uma das alternativas mais promissoras têm sido a utilização de rochas de baixa solubilidade, que vêm ganhando destaque nas pesquisas.

As rochas potássicas, representam uma opção com menor custo de produção, devido a sua liberação gradual de nutrientes (Mancuso *et al.*, 2014), além de reduzirem a necessidade de aplicações durante o ciclo da cultura e minimizarem as perdas por lixiviação (Rossa, 2008). Dessa forma, por serem materiais de fácil acesso regional, essas fontes podem reduzir os custos de produção para o agricultor (Correia, 2023; Souza, 2019).

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito residual de fontes alternativas de potássio derivadas de pó de rocha, em comparação ao cloreto de potássio, sobre os atributos de produção, variáveis fisiológicas e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar na primeira soca.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com origem no sudeste africano, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) foi introduzida no Brasil no século XVI, durante o período colonial, estabelecendo-se como uma cultura de grande importância econômica e social, especialmente por sua contribuição na geração de empregos (Szmrecsányi, 1979). Pertencente à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*, é classificada como uma gramínea perene, com metabolismo fotossintético do tipo C4, o que lhe garante elevada eficiência na fixação de carbono e no acúmulo de sacarose nos colmos (Alencar, 2012; Rodrigues, 1995).

O ciclo da cultura apresenta quatro fases principais: brotação e emergência, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação (Lal, 2021). Apesar de possuir reprodução sexuada, sua multiplicação comercial é realizada por meio da propagação vegetativa, utilizando-se toletes — segmentos do colmo contendo gemas ativas, responsáveis pela formação dos perfilhos que darão origem às touceiras (Caieiro *et al.*, 2010).

Após o estabelecimento inicial, a cana pode ser colhida de cinco a seis vezes sem a necessidade de um novo plantio, processo conhecido como cortes ou soqueiras. Para manter elevados níveis de produtividade ao longo desses ciclos, é essencial o fornecimento contínuo de nutrientes. Entretanto, com o passar dos ciclos, é comum a planta apresentar uma menor resposta à adubação, devido ao esgotamento natural do solo. Conseqüentemente, ocorre uma redução no vigor das touceiras, tornando necessária a reforma do canavial para reconstituir seu potencial produtivo (CONAB, 2014).

A cana-de-açúcar representa um dos principais pilares da economia brasileira, colocando o Brasil à frente de outros na produção de açúcar e etanol (Brochier *et al.*, 2016). No país, a cultura é amplamente direcionada para a produção desses dois produtos, mas também possibilita a obtenção de diversos subprodutos, como torta de filtro, vinhaça, aguardente, rapadura, melado e até mesmo alimentos para animais (Lui *et al.*, 2011).

Por possuir elevada importância econômica, o setor sucroenergético emprega diretamente mais de 261 mil pessoas, além de aproximadamente 175 mil trabalhadores na cadeia agroindustrial (CEPEA, 2021). Nos últimos anos, em razão do crescimento da demanda por fontes de energia renovável, o setor tem ganhado maior visibilidade, impulsionando o aumento do cultivo de cana em diversas regiões do país (Pereira, 2014). Diante desse cenário e considerando a relevância estratégica da cana-de-açúcar, torna-

se fundamental a adoção de práticas que assegurem a produtividade e qualidade. Entre elas, o preparo de solo tem papel decisivo, pois cria um ambiente adequado para o desenvolvimento da planta (Chinelato, 2019).

Além disso, a adubação é indispensável nesse contexto, uma vez que o fornecimento correto dos fertilizantes contribui apresenta influencia positiva no desenvolvimento da cultura (Lacerda *et al.*, 2019). De acordo com Weber *et al.* (2001), a adubação correta pode promover um aumento de produtividade de até 53,9% em canaviais de terceiro corte e até 76,2% no quarto corte. Contudo, a recomendação deve ser baseada em critérios técnicos, a fim de evitar deficiências e excessos, ambos capazes de comprometer o desempenho da cultura.

Com elevada demanda nutricional, a cultura possui o potássio (K) como o nutriente mais absorvido ao longo do ciclo (Salviano *et al.*, 2017). No solo encontra-se predominantemente na forma de cátion (K⁺), que é absorvida pelas raízes. Essa forma resulta primariamente da decomposição de minerais silicatados, que podem ser agrupados em dois grandes grupos: os formados sob altas temperaturas, originados de rochas ígneas e metamórficas, como os feldspatos; e aqueles resultantes de processos de intemperismo, responsáveis pela liberação progressiva do nutriente (Manning, 2010)

A disponibilidade do potássio para as plantas é influenciada por inúmeros fatores, entre eles a forma química em que o nutriente se encontra no solo, sua quantidade disponível e as características físicas que afetam sua mobilidade (Sousa; Lobato, 2004). Dessa forma, o manejo da adubação deve ser realizado de maneira criteriosa e respeitando as recomendações da literatura. Responsável por diversas funções, o potássio auxilia a ativação de enzimas essenciais para o metabolismo da planta, regula a translocação de nutriente, contribui para a manutenção do turgor celular e aumenta a absorção de nitrogênio (Taiz; Zeiger, 2004).

Além disso, quando presente em condições adequadas, favorece o transporte de açúcares através das membranas celulares e o descarregamento da sacarose no floema, processos fundamentais para o crescimento e acúmulo de reservas na planta (Taiz; Zeiger, 2013; Taiz *et al.*, 2015).

Para garantir uma boa eficiência, ao se utilizar fontes tradicionais de alta solubilidade, na cultura da cana-de-açúcar, a aplicação de potássio deve ser feita de forma parcelada, parte aplicada no sulco de plantio e o restante durante a adubação de cobertura. Esse parcelamento é especialmente indicado quando as doses ultrapassam 60 kg ha⁻¹ (Vitti *et al.*, 2015), em razão ao alto índice salino do cloreto de potássio (KCL)

e ao risco de lixiviação, que é mais pronunciado em solos arenosos, onde a capacidade de troca catiônica (CTC) é reduzida (Otto; Vittj; Luz, 2010).

No mercado, há inúmeros fertilizantes potássicos, contudo, o KCL é o mais utilizado, principalmente devido ao seu custo-benefício, à alta concentração de potássio e à elevada solubilidade no solo (Reetz, 2017). No entanto, parte do fertilizante aplicado pode ser perdido por lixiviação (Wu; Liu, 2008).

Dentre os maiores consumidores desse fertilizante, o Brasil se encontra na quarta posição no ranking global, atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos. Porém, mesmo sendo um grande consumidor, é fortemente dependente de importações, adquirindo cerca de 96% do potássio utilizado na agricultura de nações como Canadá, Rússia, Alemanha e Israel (Stralio et al., 2022).

Durante os anos de 2020 e 2021, período marcado pela pandemia, o Brasil enfrentou dificuldades relacionadas à sua dependência externa de fertilizantes. A desaceleração do comércio internacional comprometeu o fluxo regular desses insumos, afetando diretamente o abastecimento nacional (Globalfert, 2020). Posteriormente, o conflito entre Rússia e Ucrânia evidenciou ainda mais essa fragilidade, considerando que cerca de 23% dos fertilizantes utilizados no país têm origem russa (Abol, 2022).

A possível escassez de fertilizantes convencionais pode trazer fortes prejuízos para a economia brasileira, a qual é altamente dependente do setor agrícola, que em 2021 representou 27,4% do Produto Interno Bruto nacional (CEPEA, 2022). Diante dessa preocupação, têm crescido no país as pesquisas voltadas à busca por fontes alternativas de fertilizantes.

Diante da forte dependência brasileira em relação à importação de fertilizantes, tem crescido o interesse por alternativas nacionais, especialmente aquelas capazes de substituir o KCl importado. Dentre elas, os pós de rocha têm ganhado destaque como uma solução viável. A prática, conhecida como rochagem, começou a ser utilizada no Brasil por volta da década de 1950, com maior presença no estado de Minas Gerais. No entanto, foi apenas a partir dos anos 1970 que os estudos sobre o tema passaram a ganhar maior evidência. Um marco importante nesse processo foi a realização do I Congresso de Rochagem, em 2009, que contribuiu significativamente para o avanço das pesquisas e para a divulgação das diferentes formas de aplicação desse insumo (De Brito et al., 2019).

Também conhecida como remineralização, a técnica de aplicação de pós de rocha, já vem sendo utilizada há décadas. Exemplos clássicos incluem a calagem e a

fosfatagem, práticas destinadas à correção e ao enriquecimento do solo com elementos essenciais (Van straat, 2007; Meert *et al.*, 2009).

Segundo o Decreto dos Fertilizantes (Lei nº 8.382 de 2014) (Brasil, 2014), estes são definidos como produtos de origem mineral submetidos a processos mecânicos, como a redução e a classificação granulométrica. Tais materiais têm a capacidade de alterar a fertilidade do solo por meio da liberação progressiva de macro e micronutrientes, contribuindo para a melhoria das propriedades físicas e químicas, além de estimular a atividade biológica (Brasil, 2014, Art. 2º, inciso XXXV).

Quando submetidas ao intemperismo, as rochas liberam os nutrientes gradualmente e formam argilas que aumentam a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (Brito *et al.*, 2019). Essa característica torna os remineralizadores uma alternativa promissora para solos de regiões tropicais, geralmente pobres em nutrientes e com baixa CTC (Alovisi *et al.*, 2021).

Com composição mineralógica diversificada, as rochas apresentam diferentes velocidades de liberação de nutrientes, processo que ocorre tanto por intemperismo físico quanto químico. O físico refere-se à desagregação mecânica da rocha, sem alteração química, enquanto o intemperismo químico envolve a quebra da estrutura dos minerais, promovendo transformações químicas (Luchese *et al.*, 2002)

De acordo com Theodoro e Leonardos (2006), o uso de pó de rocha traz benefícios econômicos e ambientais, apresentando resultados positivos não apenas para a cana-de-açúcar, mas também para diversas outras culturas. Esses materiais podem atuar como uma fonte de nutrientes por longos períodos, com baixa perda por lixiviação, dependendo de fatores como a composição mineralógica e química, a granulometria da rocha, o pH do solo e a atividade microbiana (Cola; Simão, 2012).

Além do mais, quando comparados aos fertilizantes tradicionais, apresentam um custo de produção menor, uma vez que a etapa principal é a moagem da rocha (Melamed *et al.*, 2009). Segundo Cola e Simão (2012), a aplicação do pó de rocha diversifica as fontes de nutrientes, favorecendo o equilíbrio da fertilidade, enriquecendo os solos empobrecidos e garantindo a conservação dos recursos naturais. Sendo assim, essa alternativa promove diversos benefícios químicos, biológicos e físicos ao solo (Loureiro *et al.*, 2009).

Outro aspecto relevante no uso desses materiais é o aumento da resistência da planta a pragas e doenças decorrente do aumento do teor de silício nas folhas. O silício forma uma camada abaixo da epiderme foliar, dificultando a penetração do aparelho

bucal de pragas e reduz a infecção por fungos (Cai *et al.*, 2008; Neri, 2006; Nolla *et al.*, 2006).

Quando aplicado em ambientes naturais, os resultados tendem a se manifestar de maneira mais lenta. Entretanto, em regiões com temperaturas mais elevadas, a resposta costuma ser mais rápida, devido ao estímulo da atividade microbiana do solo, que favorece a absorção dos nutrientes (Machado, 2010).

O maciço de Poços de Caldas destaca-se como importante reserva natural de potássio no Brasil, sendo reconhecido pela presença de rochas como o fonolito e o fonolito hidrotermalizado. O fonolito é uma rocha de origem vulcânica, rica em feldspatos potássicos, e contém também outros elementos nutritivos, como ferro, cálcio e manganês (Teixeira *et al.*, 2012). Pesquisas voltadas para esses materiais têm apontado um aumento no uso, além da substituição das indústrias voltadas para a produção de fertilizantes convencionais para as biofábricas do solo, com sustentabilidade e economia (Borges *et al.*, 2023).

O fonolito é caracterizado por ser um material insolúvel em ácidos fracos, visto que o potássio está firmemente incorporado à sua estrutura cristalina, por isso, pode ser uma fonte interessante de liberação lenta de potássio. Ademais, estudos mostram que essa rocha pode auxiliar na resistência da planta a estresses abióticos (Camargo, 2016.).

O fonolito hidrotermalizado, por sua vez, é um material que passou por alterações hidrotermais, as quais modificam os minerais presentes na rocha e sua composição química (CPRM, 1978). Pesquisadores vêm acreditando no potencial dessas rochas, não só para melhorar a produtividade, mas também como uma maneira de diminuir a necessidade de importação de fertilizantes potássicos (Kinpara, 2003).

Apesar das vantagens apontadas na literatura, essa técnica ainda enfrenta questionamentos, principalmente devido à baixa solubilidade dos pós de rocha e à necessidade de aplicação em grandes volumes para se obter respostas produtivas significativas (Bolland; Baker, 2000).

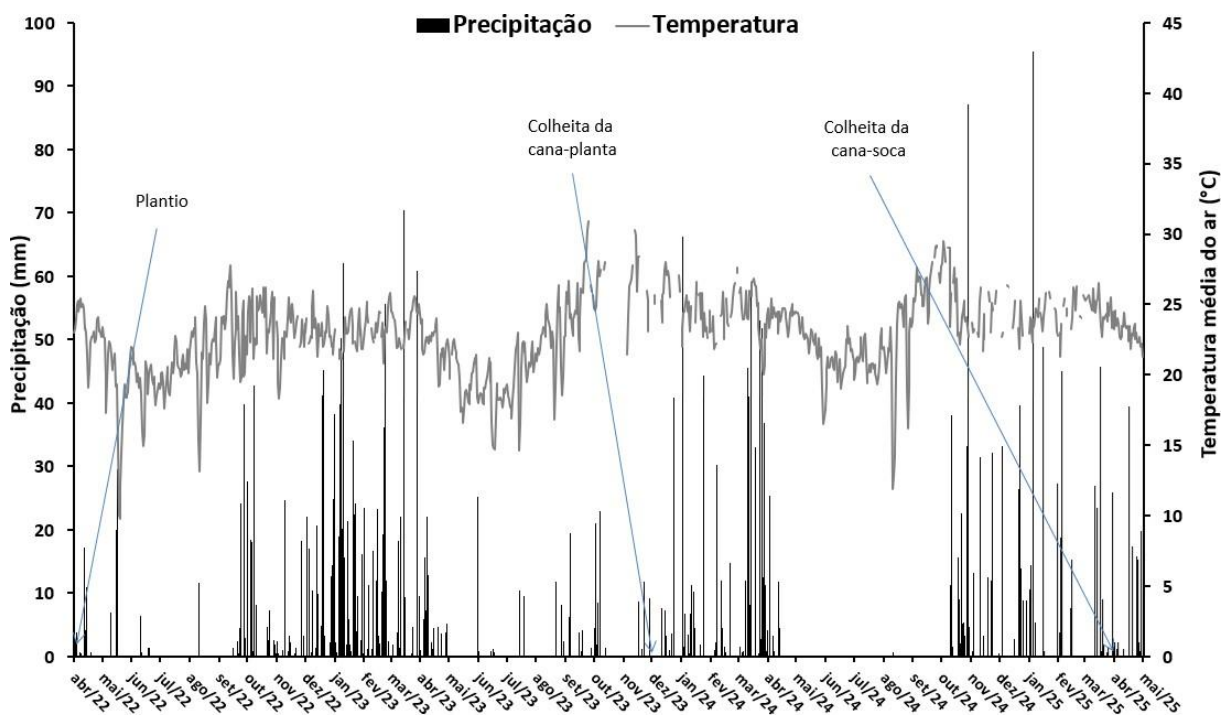
Assim, observa-se que ainda há divergências em relação ao uso de pós de rocha. Considerando a importância da adubação para as culturas, a busca por alternativas que minimizem a necessidade de importação de fertilizantes químicos, é indispensável para a agricultura brasileira, em especial para cana-de-açúcar, uma cultura responsável por movimentar setores fundamentais para a economia brasileira, estudos bem delineados que possam confirmar as vantagens e viabilidade de aplicação desses materiais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em campo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus Uberaba*, localizado nas coordenadas 19°38'20" S e 47°56'31" W, a uma altitude média de 795 metros. Trata-se do segundo ciclo de cultivo da cana-de-açúcar (cana-soca), compreendido no período de dezembro de 2023 a maio de 2025.

O clima da região é classificado como Aw, de acordo com classificação atualizada de Köppen (BECK *et al.*, 2018). A temperatura média anual no município de Uberaba - MG é de 22,3°C e a precipitação média é de 1571 mm. Os dados diários de precipitação e temperatura média do ar registrados durante todo o período experimental encontram-se na Figura 1

Figura 1 - Precipitação, temperatura média do ar e algumas atividades realizadas durante todo o período experimental.



Fonte: Valdeci Orioli Júnior, 2025.

A área experimental apresentava, antes do cultivo de cana-de-açúcar, histórico de quatro anos com pastagens e o solo foi classificado, de acordo com Santos *et al.* (2018), como Latossolo Vermelho distrófico de textura média e, antecedendo a implantação do experimento, apresentava os seguintes atributos químicos na camada de 0 a 0,20 m de profundidade: pH (H₂O) 5,7; MO = 1,34 dag kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 8,8 mg dm⁻³; P-rem = 33,0 mg L⁻¹; S-SO₄²⁻ = 5,7 mg dm⁻³; K = 34 mg dm⁻³; Ca = 1,10 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,61

$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H+Al} = 2,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{CTC} = 4,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $V = 47\%$; $B = 0,04 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Cu} = 0,8 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Fe} = 97,8 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Mn} = 11,1 \text{ mg dm}^{-3}$ e $\text{Zn} = 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$. As análises químicas foram realizadas de acordo com Teixeira *et al.* (2017).

As unidades experimentais foram arranjadas de modo que caracterizassem um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3×5 , sendo três fontes de potássio: F1 - fonolito (Ekosil®), F2 - fonolito hidrotermalizado (Potasil®) e cloreto de potássio (KCl) e; cinco doses do nutriente: 0, 80, 160, 240 e 320 kg ha^{-1} de K_2O , calculadas com base no teor total de potássio em cada fonte. As doses não foram reaplicadas na cana-soca para avaliação do efeito residual, todos com quatro repetições.

As parcelas experimentais continham cinco linhas de 7 m de comprimento, espaçadas em 1,5 m, e com área total de $52,5 \text{ m}^2$ cada, totalizando 60 unidades. Consideraram-se $22,5 \text{ m}^2$ de área útil em cada parcela, pois as duas linhas laterais e, ainda, 1 m no início e no final de cada parcela foram considerados bordadura.

A F1 possui como características químicas 8% de K_2O total, 1% de K_2O solúvel em ácido cítrico a 20 g L^{-1} na relação 1:100 e 25% de Si total. Já F2 contém 12% de K_2O total e 25% de Si total. O KCl, fonte de referência, possui 60% de K_2O total. Tanto o Ekosil como o Potasil apresentavam granulometria 80% passante em peneira ABNT n° 200 (abertura de malha = 0,075 mm).

Seis meses antes do plantio foi realizada a calagem com intuito de elevar a saturação por bases do solo a 70%. O calcário (PRNT = 80% e $\text{MgO} = 12\%$) foi aplicado a lanço em área total e, na sequência, foram realizadas duas gradagens pesadas para incorporação do corretivo e preparo inicial do solo.

Posteriormente, pouco antes do plantio, realizou-se uma gradagem leve e a abertura dos sulcos, utilizando-se sulcador único acoplado ao trator. Os sulcos possuíam 0,40 m de profundidade e cerca de 0,80 m de largura. Os fertilizantes (todos na forma de pó) foram, então, distribuídos manualmente no fundo e nas laterais dos sulcos.

As adubações básicas foram realizadas conforme sugestões de Quaggio *et al.* (2022) considerando os resultados da análise química do solo e expectativa de produtividade de 130 a 150 t ha^{-1} de colmos. No plantio aplicaram-se 30 kg ha^{-1} de N e 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 no sulco, utilizando-se ureia e superfosfato simples em pó, respectivamente, como fontes dos nutrientes.

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado em abril de 2022, utilizando-se a variedade CTC 9004, utilizando-se mudas pré-brotadas. Após a distribuição dos fertilizantes e fechamento dos sulcos, procedeu-se a abertura das covas e distribuição de uma muda por cova, manualmente. O replantio das mudas que não se desenvolveram

foi feito 20 dias após o plantio para uniformizar as parcelas. Ainda na cana-planta, aos 288 dias após o plantio, aplicou-se uma adubação de cobertura aplicando-se 30 kg ha⁻¹ de N.

Na cana-soca, aos 60 dias após o corte da cana-planta, considerando produtividade esperada de 100 a 120 t ha⁻¹, aplicaram-se 120 kg ha⁻¹ de N, utilizando ureia, distribuída em faixa aproximadamente 0,20 m das soqueiras.

Para controle de plantas daninhas, tanto em cana-planta quanto em cana-soca, realizou-se capina manual e aplicações com pulverizador costal em jato dirigido de MSMA (Ancosar 720[®]) e 2,4-D-Dimetilamina (DMA[®] 806 BR) ao longo do ciclo da cultura.

A amostragem para determinação do teor de potássio na folha diagnóstica da cana-soca foi realizada em abril de 2024, mediante coleta da parte central folha mais alta com colar visível (folha +1), sem a nervura, de 20 plantas por parcela (Quaggio *et al.*, 2022). Posteriormente, as amostras foram lavadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa à temperatura de 65°C por 72 horas. O material seco foi moído (moinho tipo Willey) e passado em peneira de 1 mm para posterior determinação do teor de potássio (Silva, 2009).

As avaliações de altura, comprimento do colmo, número de entrenós e diâmetro do colmo das plantas foram realizadas por ocasião da colheita. A altura foi obtida a partir de cinco plantas por parcela, realizando-se a medida da base até o ápice do colmo. Nessas mesmas plantas realizaram-se as avaliações do número de entrenós e diâmetro de colmo. Após a contagem dos entrenós, utilizando-se régua graduada, mediu-se o comprimento de todos os entrenós de cada colmo em três plantas. Já o diâmetro dos colmos foi determinado utilizando paquímetro digital, medindo-se o terço médio do segundo entrenó que ficava acima da superfície do solo.

A produção de colmos foi determinada no dia 14 de maio de 2025 por meio da pesagem, após a retirada manual de entrenós imaturos e de folhas verdes e secas. Foram coletados 20 colmos industrializáveis por parcela, de acordo com Acunha *et al.* (2014). Desses colmos, três foram levados para laboratório para a determinação do teor de sólidos solúveis totais (°Brix). Para tanto, o caldo do ápice, meio e base de cada colmo foi retirado manualmente e, então, o Brix foi medido com refratômetro de bancada ABBE (Megabrix, AR7000D). Posteriormente, o Brix médio foi calculado.

O rendimento quântico efetivo do fotossistema II (QY) foi avaliado em abril de 2024, por meio de 20 leituras realizadas no terço médio das folhas +1. As medias foram feitas *in vivo* com as plantas adaptadas à luz. Para realização das medições utilizou-se o fluorômetro Fluorpen FP-100[®].

Na mesma oportunidade avaliou-se o índice de clorofila, utilizando-se o clorofilômetro ClorofiLOG 1030®, realizando-se leituras no terço médio da folha +1, exceto na nervura central, em cinco plantas na área útil de cada parcela.

Os dados foram submetidos inicialmente aos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, a fim de verificar os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância. Na sequência, realizou-se a análise de variância pelo teste F e, quando constatadas diferenças significativas entre tratamentos, as médias referentes às fontes de potássio foram comparadas pelo teste de Tukey. Já os dados relacionados às doses de potássio foram submetidos à análise de regressão polinomial. Foi utilizado o programa estatístico AgroEstat 1.1 (Barbosa; Maldonado Júnior, 2015) e em todas as análises considerou-se o nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo e isolado das fontes e doses de K nas variáveis teor de K na folha e diâmetro de colmo. A massa de colmos por planta foi influenciada apenas pelas fontes de K. Para produtividade de colmos, houve interação significativa entre as causas de variação. As demais variáveis não foram influenciadas pelos tratamentos (Tabela 1).

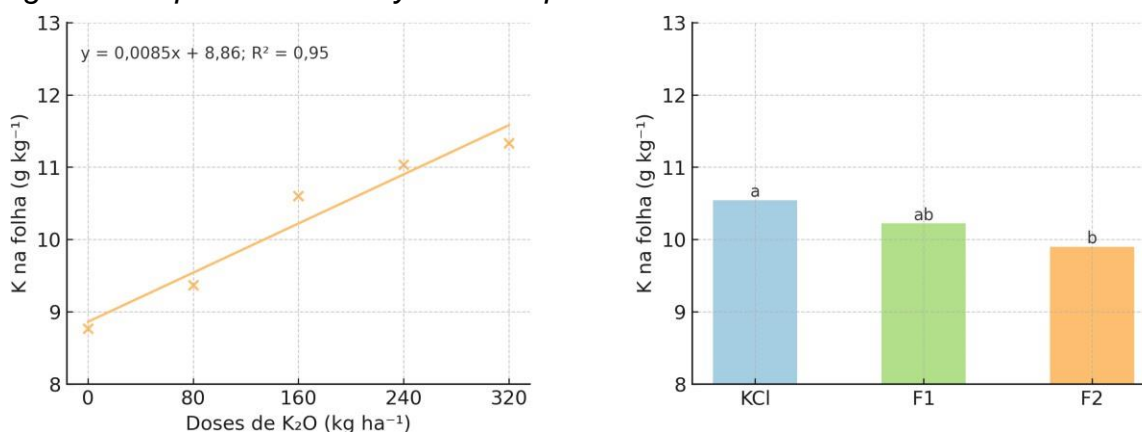
Tabela 1 - Resumo da análise de variância para teor de K na folha diagnóstica, altura de planta, comprimento de colmo, número de entrenós por colmo, diâmetro de colmo, massa de colmo por planta, produtividade de colmos, índice de clorofila (Chl), rendimento quântico efetivo do fotossistema II (QY) e teor de sólidos solúveis totais (SST).

Causas de variação	K na folha g kg ⁻¹	Altura de planta m	Comprimento de entrenó cm	Entrenós por colmo	Diâmetro de colmo mm	Massa de colmo kg	Produtivi- dade t ha ⁻¹	Chl	QY	SST °Brix
Fonte de K (F)										
KCl	10,5 a	2,20	9,79	25,03	25,38 a	0,92 a	114,48 a	43,19	0,71	22,14
Fonolito - F1	10,2 ab	2,14	8,95	27,32	23,96 ab	0,80 ab	101,19 b	41,94	0,69	22,34
Fonolito hidrotermalizado - F2	9,9 b	2,22	7,93	28,95	24,68 b	0,85 b	98,63 b	42,41	0,69	22,44
Teste F	12,40**	0,51	1,90	1,60	5,04*	7,94**	11,70**	0,21	2,57	0,20
DMS	0,42	0,20	2,26	5,34	1,09	0,069	8,55	4,76	0,02	0,39
Dose de K (D) - kg ha ⁻¹ K ₂ O										
0	8,8	2,23	7,83	29,92	24,36	0,87	102,28	21,34	0,68	22,66
80	9,4	2,13	9,25	26,03	24,29	0,78	93,89	21,49	0,69	22,20
160	10,6	2,22	8,57	26,37	24,28	0,89	114,99	21,51	0,70	22,44
240	11,0	2,16	9,55	27,08	24,56	0,83	99,31	20,88	0,69	21,98
320	11,3	2,18	9,32	26,12	25,88	0,90	113,37	20,54	0,70	22,25
Teste F	9,15**	0,31	0,68	0,66	2,80*	2,44 ^{NS}	8,06**	0,69	0,81	0,66
Regressão	L** Q ^{NS}	L ^{NS} Q ^{NS}	L ^{NS} Q ^{NS}	L ^{NS} Q ^{NS}	L** Q ^{NS}	L ^{NS} Q ^{NS}	L** Q ^{NS}	L ^{NS} Q ^{NS}	L ^{NS} Q ^{NS}	L ^{NS} Q ^{NS}
Interação F x D	0,73 ^{NS}	0,90 ^{NS}	1,13 ^{NS}	1,60 ^{NS}	1,24 ^{NS}	1,47 ^{NS}	9,83**	1,42 ^{NS}	0,78 ^{NS}	1,47 ^{NS}
Média Geral	10,22	2,19	8,90	27,10	24,67	0,86	104,77	42,52	0,69	22,31
C.V.%	15,08	11,92	33,12	25,65	5,74	10,52	10,62	14,56	4,46	4,89

^{NS}, *, ** - não significativo, significativo à $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. L e Q – regressão linear e quadrática, respectivamente.

Verificou-se incremento linear no teor de potássio nas folhas em função do aumento das doses do nutriente, independentemente da fonte de K (Figura 2). O teor de potássio foi $8,9 \text{ g kg}^{-1}$ na testemunha (sem K) e $11,6 \text{ g kg}^{-1}$ com a aplicação de 320 kg ha^{-1} de K_2O . A partir da dose de $134,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O o teor de K foi igual ou superior a 10 g kg^{-1} , ou seja, esteve dentro da faixa considerada adequada por Quaggio *et al.* (2022). Na comparação entre as fontes, verificou-se maior teor do nutriente nas plantas adubadas com KCl, que foi significativamente superior ao obtido nas plantas que receberam F2. Para F1, o teor de K na folha foi intermediário e não diferiu significativamente das demais fontes (Gráfico 1). Apenas a F2 proporcionou teor de K abaixo do considerado adequado por Quaggio *et al.* (2022).

Gráfico 1 - Teor de K na folha diagnóstica de cana-soca (2º ciclo) em função de fontes e doses residuais de K. Letras distintas dentro de cada dose indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



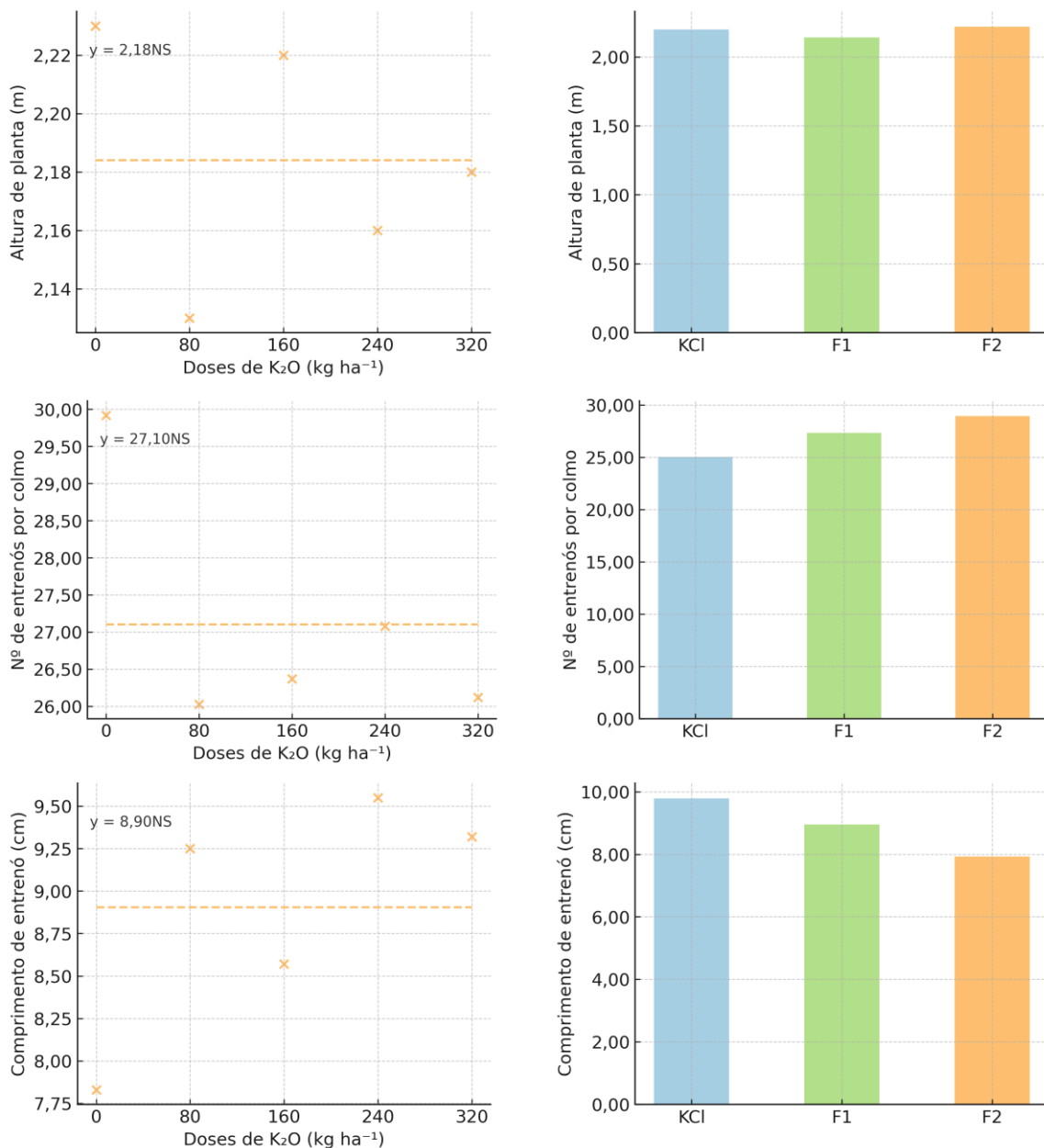
Fonte: Valdeci Orioli Júnior, 2025

Na comparação entre as fontes, verificou-se maior teor do nutriente nas plantas adubadas com KCl, que foi significativamente superior ao obtido nas plantas que receberam F2. Para F1, o teor de K na folha foi intermediário e não se diferiu significativamente das demais fontes (Gráfico 1). Apenas a F2 proporcionou teor de K abaixo do considerado adequado por Quaggio *et al.* (2022). Esses resultados demonstram que há efeito residual das fontes de K, o que corrobora os resultados obtidos por Cruz *et al.* (2021). Resultados semelhantes relacionados ao fornecimento lento e contínuo de K a partir de rochas potássicas também foram relatados em experimentos de campo envolvendo fonolito e outros remineralizadores em sistemas tropicais (Montes, 2022; Tranches *et al.*, 2022; Bamberg *et al.*, 2023).

Em relação aos componentes morfológicos, altura de plantas, número de entrenós e comprimento médio dos entrenós não houve diferença significativa em função dos

tratamentos (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Altura de planta, número de entrenós e comprimento de entrenó de cana-soca (2º ciclo) em função de fontes e doses residuais de K. **NS: não significativo.**

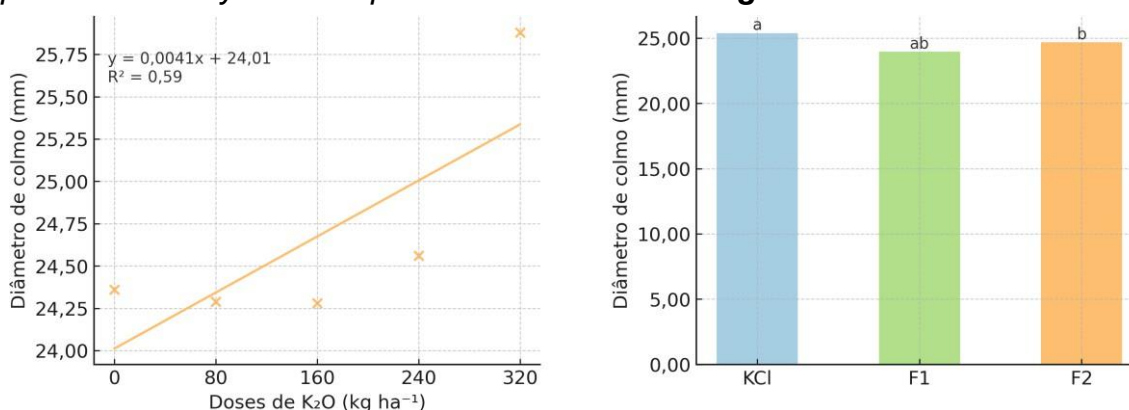


Fonte: Valdeci Orioli Júnior, 2025

A estabilidade desses atributos sugere que, nas condições do presente estudo, os estoques prévios de K no solo, associados à capacidade de reciclagem via palhada, foram suficientes para sustentar crescimento vegetativo, mesmo na ausência de reaplicação do nutriente. Resultados semelhantes foram obtidos em outros estudos com soqueiras de cana-de-açúcar, nos quais a adubação potássica influenciou o estado nutricional e o acúmulo de K, mas exerceu efeito limitado sobre a morfologia da planta (Otto; Vitti; Luz, 2010).

Entre os componentes de crescimento, o diâmetro de colmo foi a variável morfológica que melhor refletiu o efeito residual das doses de K, apresentando resposta linear positiva ao incremento das doses aplicadas no ano anterior. Houve também diferença entre as fontes e o uso de KCl proporcionou colmos com maior diâmetro em relação a F2. O fonolito (F1) proporcionou diâmetro intermediário e não se diferenciou das demais fontes (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Diâmetro de colmo de cana-soca (2º ciclo) em função de fontes e doses residuais de K. *Letras distintas dentro de cada dose indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. NS: não significativo.*



Fonte: Valdeci Orioli Júnior, 2025.

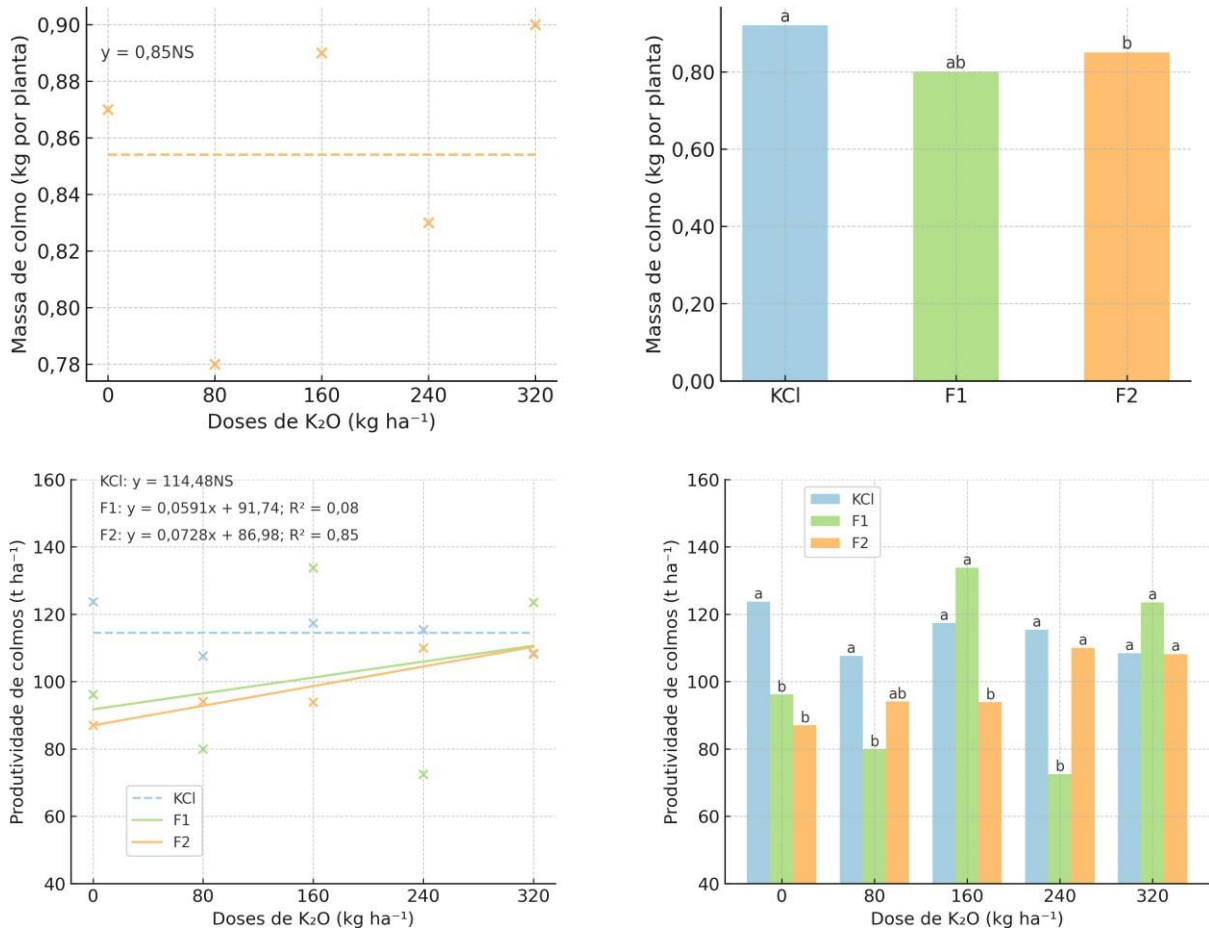
O aumento do diâmetro de colmos está associado ao papel do K na expansão celular e na manutenção da turgência, resultando em colmos mais espessos quando o nutriente se encontra em teores adequados (Hawkesford *et al.*, 2022). Resultado semelhante foi obtido em outros estudos, no qual o efeito do potássio apresentou uma maior importância na produção de colmos quando comparado com qualidade tecnológica (Feltin *et al.*, 2010).

Para a massa de colmos por planta não houve efeito significativo das doses de K, mas houve diferença entre as fontes do nutriente e os resultados apresentaram o mesmo padrão notado para diâmetro de colmo. Já para a produtividade de colmos, verificou-se interação significativa entre as causas de variação (Gráfico 4). Quanto às doses de K, não houve diferença ao se utilizar o KCl e produtividade média foi de 114,5 t ha⁻¹. Para F1 e F2, no entanto, notou-se incremento linear à medida que se aumentou a dose de K e, em média, a produtividade foi de 89,4 t ha⁻¹ na testemunha (sem K) e 110,5 t ha⁻¹ ao se aplicar a maior dose do nutriente (320 kg ha⁻¹ de K₂O), o que corresponde a um aumento de, aproximadamente, 24% na produção de colmos.

Na comparação das fontes dentro de cada dose de K, de maneira geral, verificou-se que o KCl proporcionou com mais frequência as maiores produtividades. No entanto,

ao se aplicar 320 kg ha⁻¹ de K₂O (maior dose), não houve mais diferenças significativas entre as fontes (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Massa de colmo por planta e produtividade de colmos de cana-soca (2º ciclo) em função de fontes e doses residuais de K. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **NS: não significativo.**



Fonte: Valdeci Orioli Júnior, 2025.

Estes resultados indicam que o K aplicado como sal solúvel (KCl) foi majoritariamente absorvido no primeiro ciclo (cana-planta), restando menor quantidade para a cana-soca. Em contraste, o K presente em F1 e F2 foi disponibilizado ao longo do tempo, incrementando a produtividade no segundo ano. Achados semelhantes foram relatados em pesquisas envolvendo fonolito e outras fontes potássicas de liberação lenta, nas quais efeitos residuais mais pronunciados são observados quando as doses iniciais são elevadas ou quando há condições favoráveis ao intemperismo das rochas (Montes, 2022; Tranches *et al.*, 2022; Bamberg *et al.*, 2023; Swoboda *et al.*, 2022).

O efeito benéfico do fornecimento de K na produtividade da cana-de-açúcar observado neste experimento, está relacionado à importância deste elemento no processo fotossintético, ou seja, na transformação da energia luminosa em energia química (ATP e NADPH). Todas as funções vitais da planta dependem, direta ou

indiretamente, de ATP e NADPH, assim, a adequada disponibilidade de K às plantas pode proporcionar maior eficiência enzimática, melhor controle de abertura e fechamento estomático, maior assimilação de CO₂ e maior translocação de carboidratos (Hawkesford *et al.*, 2022).

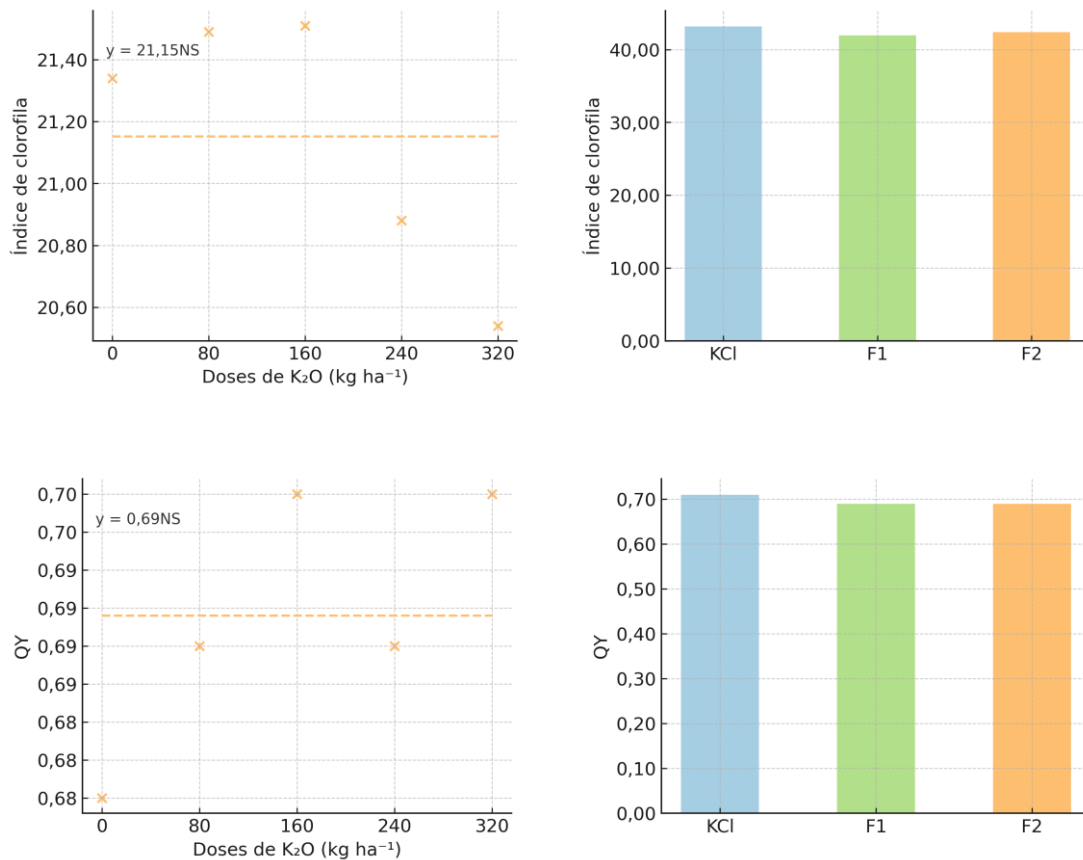
O conjunto de evidências do presente estudo demonstra que as fontes alternativas apresentam potencial agrônômico quando utilizadas em programas de adubação que consideram sua dinâmica de liberação gradual. Essa possibilidade também tem sido observada em outras culturas tropicais, nas quais remineralizadores contribuem para a fertilidade do solo e para o fornecimento de nutrientes ao longo de vários ciclos, ainda que nem sempre se igualem, no curto prazo, ao desempenho de fertilizantes solúveis (Ratke *et al.*, 2020; Bamberg *et al.*, 2023; Swoboda *et al.*, 2022).

As variáveis fisiológicas (índice de clorofila e rendimento quântico - QY) apresentaram elevada estabilidade e não foram influenciadas pelas fontes e doses residuais de K (Figura 6). O valor médio do índice de clorofila foi de 42 unidades. Essa estabilidade fisiológica pode ocorrer em soqueiras, nas quais a menor taxa de crescimento e a maior eficiência na remobilização interna de nutrientes reduzem a sensibilidade do teor de clorofila às variações de K disponível. O potássio exerce papel na manutenção da turgescência foliar e no aparato fotossintético, podendo influenciar indiretamente a síntese e a estabilidade da clorofila (Hawkesford *et al.*, 2022).

Porém, em níveis moderados de disponibilidade, a cultura tende a manter concentrações relativamente constantes, especialmente em tecidos mais velhos. Estudos com cana sob diferentes condições nutricionais e hídricas têm demonstrado comportamento semelhante, com índices de clorofila pouco responsivos às adubações potássicas quando não há deficiência acentuada, sugerindo que a planta prioriza a manutenção da integridade fotossintética mesmo diante de variações moderadas na oferta de K (Gomes *et al.*, 2015; Silva; Pincelli; Barbosa, 2018).

Os valores de QY observados, variando de 0,68 a 0,71, ficaram abaixo da faixa considerada adequada para plantas saudias, geralmente situada entre 0,75 e 0,83 (Gráfico 5). Esse intervalo é normalmente encontrado em condições de cultivo sem estresse hídrico, térmico ou nutricional. Reduções moderadas no QY, como as encontradas neste estudo, podem ocorrer em sistemas de segundo corte e não indicam, isoladamente, estresse fotoquímico severo, podendo refletir apenas em menor vigor fisiológico natural da soca ou diminuição da disponibilidade de K ao longo do ciclo. Valores semelhantes, abaixo da faixa ótima, foram registrados em estudos envolvendo diferentes genótipos e condições de manejo, nos quais a diminuição do QY foi interpretada como indicativo de estresse leve, porém insuficiente para comprometer a funcionalidade do fotossistema II (Gomes *et al.*, 2015; Silva; Pincelli; Barbosa, 2018).

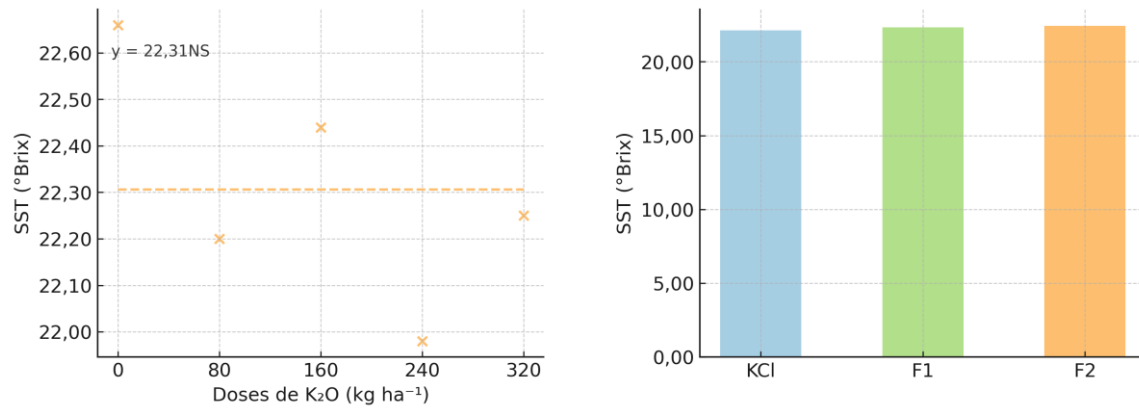
Gráfico 5 - Índice de clorofila e rendimento quântico efetivo do fotossistema II (QY) em folhas de cana-soca (2º ciclo) em função de fontes e doses residuais de K. *NS: não significativo.*



Fonte: Valdeci Orioli Júnior, 2025.

Os sólidos solúveis totais (SST) permaneceram próximos de 22 °Brix, sem influência das fontes e doses de K. Apesar de o potássio ser importante para o acúmulo de sacarose no colmo, de acordo com o presente estudo, os atributos tecnológicos da cana, como Brix, Pol e ATR, mostraram-se menos sensíveis à disponibilidade de K do que a produtividade de colmos. A ausência de efeito significativo para SST é coerente com resultados obtidos em diferentes regiões e sistemas de manejo, incluindo estudos nos quais o fonolito e outras fontes alternativas mostraram equivalência ao KCl em termos de qualidade tecnológica (Tranches. *et al*, 2022). (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Teor de sólidos solúveis totais (SST) na cana-soca (2º ciclo) em função de fontes e doses residuais de K. *NS*: *não significativo*.



Fonte: Valdeci Orioli Júnior, 2025.

5 CONCLUSÕES

As fontes F1 (fonolito) e F2 (fonolito hidrotermalizado) aplicadas na cana-planta apresentaram efeito residual na cana-soca (2º ciclo).

A morfologia da soqueira (2º ciclo) é pouco influenciada pelas fontes e doses residuais de K.

A funcionalidade fisiológica e o teor de sólidos solúveis da cana-de-açúcar (2º ciclo) não foram afetados pelos tratamentos.

As fontes de K estudadas diferem no padrão de liberação e aproveitamento do nutriente no segundo ciclo.

Com aplicação de 320 kg ha⁻¹ de K₂O não há diferença entre as fontes de K na produtividade da cana-soca (2º ciclo).

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE OPERADORES LOGÍSTICOS. **Como a guerra entre Rússia e Ucrânia afeta a produção de amendoim no Brasil**. 2022. [S. l.]: ABOL, 2022. Disponível em: <https://abolbrasil.org.br/noticias/noticias/como-a-guerra-entre-russia-e-ucrania-afeta-aproducao-de-amendoim-no-brasil>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- ACUNHA, J. G. *et al.* Suficiência amostral para a estimação da produção de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 10, p. 1747-1754, 2014. ISSN 0103-8478. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/tbLwMvt6vMC7dXfHCV4G6df/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- ALENCAR, K. **Análise do balanço entre demanda por etanol e oferta de cana-de-açúcar no Brasil**. 2012. 49 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/e4eeced4-014f-425e-bdc7-75e75325e8a1>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- ALMEIDA, D. A. *et al.* Efficient fertilization practices for sugarcane: A review of recent studies. **Agricultural Sciences**, v. 13, n. 2, p. 137-145, 2022. DOI: 10.4236/as.2022.132011. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/32421/1/RGCS13112024%20-%20MA1301.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- ALOVISI, A. M. T. *et al.* Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, e33710615599, 2021. ISSN 2525-3409. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/352051592_Uso_do_po_de_rocha_basaltica_como_fertilizante_alternativo_na_cultura_da_soja. Acesso em: 8 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Dados 2019 – Principais indicadores do setor de fertilizantes**. Disponível em: https://anda.org.br/wpcontent/uploads/2020/05/Principais_Indicadores_2019-1.pdf. Acesso em: 8 jun. 2025.
- BAMBERG, A. L. *et al.* Selected rock powders as sources of nutrients for soil fertilization and maize-wheat grain production in southern Brazil. **The Journal of Agricultural Science**, v. 161, p. 654-668, 2023. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/server/api/core/bitstreams/4dbcb95-16c7-4d99-9a6d-10989341f1a5/content>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015.
- BECK, H. E. *et al.* Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, 180214, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>. Acesso em: 8 jun. 2025;
- BOLLAND, M. D. A.; BAKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 59-68, 2000. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009757525421>. Acesso em: 8 jun. 2025.

BORGES, E. N.; BATISTA, A. H.; ALMEIDA, C. X.; DIAS, M. A. R.; JORGE, R. F. 32 Viabilidade e uso dos remineralizadores ou pós de rochas na atividade agropecuária. In. COSTA, L. M. da (org) **Intensidade de uso e ocupação dos solos das bacias hidrográficas dos rios Araguari e Paranaíba: diretrizes sustentáveis para o desenvolvimento do agronegócio**. Ed. Pod. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/380662549_Intensidade_de_uso_e_ocupacao_dos_solos_das_Bacias_Hidrograficas_dos_rios_Araguari_e_Paranaiba_Diretrizes_sustentaveis_para_o_desenvolvimento_do_agronegocio. Acesso em: 8 jun. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União de 30 de dezembro de 2014. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/decreto/d8384.htm. Acesso em: 8 jun. 2025.

BRASIL. Instrução Normativa n.º 5, de 10 de março de 2016. Define regras sobre remineralizadores e substratos para plantas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

BRINKMAN, M. L. J. *et al.* Interregional assessment of socio-economic effects of sugarcane ethanol production in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, p. 347-362, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324517433_Interregional_assessment_of_socio-economic_effects_of_sugarcane_ethanol_production_in_Brazil. Acesso em: 8 jun. 2025.

BRITO, R. S de B. *et al.* Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 6, n. 1, p. 528-540, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/2331/1585>. Acesso em: 8 jun. 2025.

BROCHIER, B.; MERCALI, G. D.; MARCZAK, L. D. F. Influence of moderate electric field on inactivation kinetics of peroxidase and polyphenol oxidase and on phenolic compounds of sugarcane juice treated by ohmic heating. **LWT – Food Science and Technology**, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002364381630487X>. Acesso em: 8 jun. 2025.

CAI, K. *et al.* Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. **Physiologia Plantarum**, v. 134, p. 324-333, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.2008.01140.x>. Acesso em: 8 jun. 2025.

CAIEIRO, J. T. *et al.* Pureza física e germinação de sementes (cariopses) de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 140-145, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/593wbMryZgvpvS3hjMHLDLmw/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 8 jun. 2025.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses

in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, p. 521-530, 2005. 33
Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.200420485>. Acesso em: 8 jun. 2025.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA.. **Mercado de Trabalho do Agronegócio Brasileiro**. Relatório 1º trim. 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_Mercado%20de%20Trabalho_1T2021.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

CHINELATO, G. **O guia da interpretação de análise de solo**. 2019b. Disponível em: <https://aegro.com.br/blog/como-plantar-cana-de-acucar/> . Acesso em: 8 jun. 2025.

COELHO, S. T. *et al.* Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned. **Energy for Sustainable Development**, v. 10, n. 2, p. 26–39, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/245480928_Brazilian_sugarcane_ethanol_Lessons_learned. Acesso em: 8 jun. 2025.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde**, v. 7, n. 4, p. 15-27, 2012. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1114>. Acesso em: 8 jun. 2025.

CAMARGO, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba, n. 155. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rafael-Battisti-2/publication/309292367_-_YIELD_GAP_-_CONCEITOS_DEFINICOES_E_EXEMPLOS/links/63ce8fa2d9fb5967c2fd4bc2/YIELD-GAP-CONCEITOS-DEFINICOES-E-EXEMPLOS.pdf. Acesso em: 8 jun. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar. Brasília, DF: CONAB, 2014

CORREIA, R. T. **Rochagem: a aplicação de pó de rocha como alternativa sustentável aos fertilizantes agrícolas no Brasil: uma revisão**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/items/31ec39b7-b61a-437d-94d4-c9e301f5e56d>. Acesso em: 8 jun. 2025.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Relatório anual 1977**. Salvador: 1978. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/items/9661f688-a0a3-4f3f-8b0b-cf35515450dc>. Acesso em: 8 jun. 2025.

FELTRIN, M. S. *et al.* Adubação potássica na produtividade da soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Nucleus**, v. 7, n. 1, 2010. Disponível em: <https://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/334/410>. Acesso em: 8 jun. 2025.

FREITAS, G. R. Preparo do solo. *In*: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 271-332. Disponível em: <https://fundacaocargill.org.br/wp-content/uploads/2025/06/Cana-de-Acucar-Cultivo-e-Utilizacao-Vol-1.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

GAVA, G. J. C. *et al.* Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 250–255, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/NM6BZH4mpTHJTswK9X6WMYp/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 8 jun. 2025.

GLOBALFERT. **China, Índia, Estados Unidos e Brasil concentram 58% da demanda global de fertilizantes**. 2020. Disponível em:

<https://globalfert.com.br/boletins/china--india-estados-unidos-e-brasil-concentram-58-da-demanda-global-de-fertilizantes/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

GONÇALVES, E. R. *et al.* Gas exchange and chlorophyll a fluorescence of sugarcane varieties submitted to water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 378-386, 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/s3K3t3SMz6ymBZQdfWTgSPB/?lang=pt>. Acesso em: 8 jun. 2025.

HANDLER, R. M. *et al.* Life Cycle Assessments of Ethanol Production via Gas Fermentation: Anticipated Greenhouse Gas Emissions for Cellulosic and Waste Gas Feedstocks. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 55, n. 12, p. 3253–3261, 2016. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.iecr.5b03215>. Acesso em: 8 jun. 2025.

HAWKESFORD, M. J. *et al.* Functions of macronutrients. *In*: RENGEL, Z.; CAKMAK, I.; WHITE, P. J. (eds.). **Marschner's mineral nutrition of plants**. Academic Press, 2022. p. 201-282. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780128197738000198>. Acesso em: 8 jun. 2025.

JOHNSON, R. M.; RICHARD, K. A.; READ, Q. D. Effects of potassium fertilizer on sugarcane yields and plant and soil potassium levels in Louisiana. **Agronomy**, v. 14, n. 12, p. 2761, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2761>. Acesso em: 8 jun. 2025.

KINPARA, D. I. A importância estratégica do potássio para o Brasil. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Embrapa, Planaltina, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568191/1/doc100.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

LACERDA, A. R. S. *et al.* Produtividade da cana-de-açúcar em resposta a adubação NPK em diferentes épocas. *Humanidade e Tecnologia em Revista (FINOM)* – ISSN: 1809-1628. Ano XIII, vol. 18, 2019.

LAL, N. Micropropagated plants as alternative planting material to sugarcane setts. **Indian Journal of Biology**, v. 8, n. 1, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Nand-Lal-2/publication/353751163_Micropropagated_Plants_as_Alternative_Planting_Material_to_Sugarcane_Setts/links/611742271e95fe241acd7498/Micropropagated-Plants-as-Alternative-Planting-Material-to-Sugarcane-Setts.pdf. Acesso em: 8 jun. 2025.

LOUREIRO, F. E. L.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (eds.). **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. Disponível em: <https://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/497>. Acesso em: 8 jun. 2025. Acesso em: 8 jun. 2025.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. 182 p.

LUI, J. J. *et al.* Produtividade de rapadura de genótipos de cana-de-açúcar na Região de Dueré, TO. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 32, núm. 3, 2011, pp. 1059-1067. Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744109023.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

MACHADO, R. V. *et al.* Utilização de resíduos da indústria de rochas ornamentais na correção da acidez. **Série Tecnologia Ambiental**, CETEM/MCT, 2010. Disponível em: <https://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/315/1/sta-55.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MANCUSO, M. A. C. *et al.* Effect of potassium sources and rates on Arabica coffee yield, nutrition, and micronutrient export. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1448-1456, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/9bzHJfNCD5P5gjvwwmHrcQP/?lang=en>. Acesso em: 8 jun. 2025.

MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, p. 281–294, 2010. Disponível em: <https://hal.science/hal-00886529v1/document>. Acesso em: 8 jun. 2025.

MARÍN, F. R. **Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar**. Embrapa. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_20_3112006152934.html. Acesso em: 8 jun. 2025.

MEERT, L. *et al.* Produtividade e rentabilidade da soja cultivada com fontes alternativas de nutrientes. **Rev. Bras. De. Agroecologia/nov.** 2009, v. 4, n. 2. Disponível em: <https://revista.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/4681/3475>. Acesso em: 8 jun. 2025.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo. *In*: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V. *et al.* (eds.). **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 385-395. Disponível em: <https://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/497>. Acesso em: 8 jun. 2025.

MONTES, R. M. **Fonolito como fonte alternativa de potássio na cana-de-açúcar**. 2022. 106 f. Tese (Doutorado em Área de concentração em Fitotecnia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/43181/1/FonolitoFonteAlternativa.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

NERI, D. K. P. **Efeito do silício na resistência de plantas de milho a *Rhopalosiphum maidis* (Fitch., 1856) (Hemiptera: Aphididae) e sua interação com inseticida no controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 2006. 78 f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) — Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/server/api/core/bitstreams/d8c568e9-b63c-47a0-83e4-2a6cde649803/content>. Acesso em: 8 jun. 2025.

NETO, S. P.; MARTINS, E. S. Comparação entre KCl e rochas potássicas no crescimento de *Eucalyptus urophylla*. **Agropecuária Técnica**, v. 41, n. 3-4, p. 83–91, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1129440/1/Sebastiao-Moraes-PoRochaPotassicaEucalipto2020.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, L. Efficiency of calcium silicate and carbonate in soybean disease control. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, p. 2049-2061, 2006. Disponível em:

<https://www.canadianwollastonite.com/wp-content/uploads/2018/02/Efficiency-of-Calcium-Silicate-and-Carbonate-in-Soybean-Disease-Control.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025. 36

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:1137-1145, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/qNK657xcCBsVQLZSFwTyfdR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 8 jun. 2025.

PEREIRA, T. C. G. (org.). **Energias renováveis: políticas públicas e planejamento energético**. Curitiba: COPEL/UTFPR, 2014. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/942>. Acesso em: 8 jun. 2025.

WANG, L. *et al.* Economic and GHG emission analyses for sugarcane ethanol. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 571-582, 2014. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114006728>. Acesso em: 8 jun. 2025.

QUAGGIO, J. A. *et al.* Cana-de-açúcar. In: CANTARELLA, H. *et al.* (eds.). **Boletim 100 – Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2022. p. 177-186. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/599705478/Boletim-100-Recomendac-o-es-de-Aduc-a-o-e-Calagem-para-o-Estado>. Acesso em: 8 jun. 2025.

RATKE, R. F. *et al.* Pós de rochas regionais como fonte de fósforo e potássio para as plantas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e497974257, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/4257/3690>. Acesso: 8 jun. 2025.

REETZ, H. F. Jr. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. Disponível em: <https://www.semadesc.ms.gov.br/wp-content/uploads/2023/11/Fisiologia-da-Cana-de-Acucar.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

ROSSA, U. B. *et al.* Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de Paricá em viveiro. **Pesq. Flor. bras.**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 227-234, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/969172/1/PFB237234.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SALVIANO, A. M. *et al.* Acúmulo e exportação de macronutrientes pela cana irrigada no semiárido. **Revista Científica Intelletto**, v. 2, n. 2, p. 16-27, 2017. Disponível em: <https://revista.grupofaveni.com.br/index.php/revista-intelletto/article/view/51/42>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SEBRAE. **O que é etanol?** 2016. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/oqueeetanol>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SILVA, F. C. (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2009. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00083136.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SILVA, M. A.; PINCELLI, R. P.; BARBOSA, A. M. Water stress effects on chlorophyll

tolerance. **Biosci. J.**, Uberlandia, v. 34, n. 1, 2018. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/36570>. Acesso em: 8 jun. 2025

SORATTO, R. P. *et al.* Efficiency and residual effect of alternative potassium sources in grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e02686, 2021b. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/SSMbJTjcdkqPDdbGj6CsPyn/?format=html&lang=en>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SORATTO, R. P. *et al.* Silicate rocks as an alternative potassium fertilizer for upland rice and common bean crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e01411, 2021a. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/PGjJQNXHvckVqTcGKBSVCzy/abstract/?lang=pt>. Acesso em 8 jun. 2025.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/555355>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SOUZA, W. S. **Uso da rochagem para remineralização de solos de baixa fertilidade**. Dissertação (Mestrado em Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/42042/3/2019_dis_wssouza.pdf. Acesso em: 8 jun. 2025.

STRALIOTTO, R. *et al.* Crescente importância de novas fontes de nutrientes. *In*: TORRES, L. A.; CAMPOS, S. K. (eds.). **Megatendências da ciência do solo 2030**. Brasília: Embrapa, 2022. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1143326/1/Megatendencias-da-Ciencia-do-Solo-2030.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SWOBODA, P.; DÖRING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. **Science of the Total Environment**, v. 807, art. 150976, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972106054X?via%3Dihub>. Acesso em: 8 jun. 2025.

TAIZ, L. *et al.* **Plant physiology and development**. 6. ed. Sunderland: Sinauer, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TEIXEIRA, A. M.; GARRIDO, F. M. S. Estudo da disponibilidade de K no fonolito. *In*: VII ENCONTRO TÉCNICO DE MATERIAIS E QUÍMICA, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Garrido-3/publication/280729076_ESTUDO_DA_DISPONIBILIDADE_DE_POTASSIO_NA_ROCHA_FONOLITO/links/55c3562608aeca747d5e0b9f/ESTUDO-DA-DISPONIBILIDADE-DE-POTASSIO-NA-ROCHA-FONOLITO.pdf. Acesso em: 8 jun. 2025.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 8 jun. 2025.

TEJERA, N. A. *et al.* Comparative analysis of sugarcane cultivars. **Field Crops Research**, v. 102, p. 64-72, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429007000287>. Acesso em: 8 jun. 2025.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p. 721- 730, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/NzpRHbGTrG7hLJrKJ8tYBDQ/?format=html&lang=en>. Acesso em: 8 jun. 2025

TOLEDO, F. H. S. F. *et al.* Biomassa aérea, transpiração e eficiência do uso da água em plantação de eucalipto fertilizada com KCl, NaCl e pó de rocha fonolítica. **New Forests**, v. 51, p. 469–488, 2020. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-019-09743-8>. Acesso em: 8 jun. 2025.

TRANCHES, E. R. *et al.* Use of phonolite associated with vinasse in sugarcane. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, e3311426996, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/26996>. Acesso: 8 jun. 2025.

TRIVELIN, P. C. O. *et al.* Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 345-352, 2013. ÚNICA. Estimativa de safra 2017/18. Disponível em: www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=81. Acesso em: 8 jun. 2025.

UNIT STATION. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. World Health, v. 16301, n. October, p. 1–15, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Romario-Antero/publication/338114191_Balanco_energetico_da_producao_de_etanol_a_partir_da_canade_acucar_e_aspectos_da_producao_brasileira_atual/links/5e0124a1299bf10bc3741b1f/Balanco-energetico-da-producao-de-etanol-a-partir-da-cana-de-acucar-e-as-pectos-da-producao-brasileira-atual.pdf. Acesso em: 8 jun. 2025.

van STRAATEN, P. Potassium. *In*: van STRAATEN, P. **Agrogeology: the use of rocks for crops**. Canadá: Enviroquest, 2007. p. 165-200. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328392285_AGROGEOLOGY_The_use_of_rocks_for_crops. Acesso em: 8 jun. 2025.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; FERREIRA, L. R. P. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. *In*: **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 1. ed., p. 177.

WEBER, H. *et al.* Recuperação da produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar com adubação NPK. **Scientia Agraria**, v. 2, p. 73-77, 2001. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/980/806>. Acesso em: 8 jun. 2025.

WU, L.; LIU, M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, p. 240-247, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861707004110>. Acesso em: 8 jun. 2025.