

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO FINANCEIRA COMPARATIVA DE PRODUTOS
PARA A ADUBAÇÃO DO PLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

ANDRÉ BARREIRA COGNETTI

JABOTICABAL – SP
2º Semestre/2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO FINANCEIRA COMPARATIVA DE PRODUTOS
PARA A ADUBAÇÃO DO PLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

ANDRÉ BARREIRA COGNETTI

Orientadora: Prof. Dra. Carolina Fernandes
Coorientador: Prof. Dr. David Ferreira Lopes Santos

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal,
como parte das exigências para
graduação em Engenharia
Agrônômica.

JABOTICABAL – SP
2º Semestre/2023

C676a

Cognetti, André Barreira

Avaliação financeira comparativa de produtos para a adubação do plantio da cana-de-açúcar / André Barreira Cognetti. -- Jaboticabal, 2023
50 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Carolina Fernandes

Coorientador: David Ferreira Lopes Santos

1. Remineralizador. 2. Cana-de-açúcar. 3. Cloreto de potássio. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO:

CIÊNCIAS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: AVALIAÇÃO FINANCEIRA COMPARATIVA DE PRODUTOS PARA ADUBAÇÃO
DO PLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR

ACADÊMICO: André Barreira Cognetti

CURSO: Engenharia Agrônoma

ORIENTADOR (ES): Doutora Carolina Fernandes

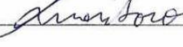
COORIENTADOR (ES): Doutor David Ferreira Lopes Santos

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)
Presidente	Doutora Carolina Fernandes
Membro	Doutor Anderson Prates Coelho
Membro	Doutora Stela Basso Montoro

(Assinaturas)

Jaboticabal 02 / 10 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 26 / 10 / 2023



Chefe do Departamento
Prof. Dr. Daniel Junior de Andrade
Chefe do Depto. de Ciências da Produção Agrícola
FCAV/UNESP

AGRADECIMENTOS

Este momento tão importante em minha vida, onde marca o encerramento de um ciclo, que só foi possível graças ao apoio ilimitado da minha família, do meu pai Mercides, da minha mãe Joseli, da minha namorada Yasmim, dos meus irmãos e dos meus avós.

Agradeço imensamente a NovAmerica agrícola por me ceder os materiais para a realização do trabalho, agradeço meu sogro e engenheiro agrônomo José Antônio Severino, por me ajudar no trabalho e buscar as informações .

Agradeço a Deus por me permitir viver toda essa experiência, agradeço a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, campus de Jaboticabal, pelos árduos anos de aprendizado e crescimento.

Gratidão especial ao professor doutor e coorientador, David Ferreira Lopes Santos, e a minha orientadora, professora e doutora, Carolina Fernandes por todo auxílio, apoio, e compartilhamento de conhecimentos que agregaram não só em minha vida profissional, mas também pessoal.

Agradeço a todos meus companheiros de república, pelos inúmeros momentos e experiências que nos permitiram crescer juntamente com nossas amizades.

E por fim, Com muito carinho, agradeço a República Toca Do Mé, que me acolheu e viabilizou de forma muito mais leve e construtiva minha vida universitária e me ajudou a me tornar a pessoa que sou hoje. Momentos inesquecíveis que levarei para sempre em meu coração.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	V
LISTA DE FIGURAS	VI
RESUMO.....	VII
SUMARY	VIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 A cultura da cana-de-açúcar.....	5
2.2 Os subprodutos da cana-de-açúcar	6
2.3 Potássio	9
2.4 Remineralizadores.....	11
2.5 Macro e micronutrientes na cana-de-açúcar	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÕES	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

LISTA DE TABELAS

PÁGINA

Tabela 1. Valores médios obtidos nos tratamentos de Pol, Pureza, Fibra e ATR.....	22
Tabela 2. Análise comparativa de médias de ATR e os resultados estatísticos.	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3. Gastos relacionados aos investimentos na estrutura da área de compostagem, incluindo máquinas, equipamentos e demais ativos fixos necessários para a atividade.....	24
Tabela 4. Custos operacionais envolvidos na operação da compostagem, considerando as diferenças nos insumos utilizados em cada um dos tratamentos.....	25
Tabela 5. Valores médios de receita, custo variável (CV), margem de contribuição (MC), imposto de renda (IR), NOPAT e ROI dos tratamentos.	26

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. A - Leiras de compostagem formuladas a partir de torta de filtro, cinzas de cana-de-açúcar e rocha fosfatada. B – Enriquecimento da compostagem com KCl. C – Aplicação do composto pronto na cultura. 19

Figura 2. Valores de intervalo de NOPAT no tratamento utilizando Remineralizador..... 27

Figura 3. Valores de intervalo de NOPAT no tratamento utilizando o composto com cloreto. 27

RESUMO

AVALIAÇÃO FINANCEIRA COMPARATIVA DE PRODUTOS PARA A ADUBAÇÃO DO PLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR

A necessidade de avançar em pesquisas e práticas de manejo na cana-de-açúcar para aumentar a produtividade de forma sustentável, usando estratégias alinhadas à gestão econômica se mostra cada vez mais importante. O presente estudo teve com objetivo comparar o desempenho econômico entre o enriquecimento da compostagem com cloreto de potássio (KCl) e o uso de um remineralizador na adubação da cana-de-açúcar. O experimento foi instalado em área agrícola localizado em uma usina sucroenergética e as leiras de compostagem foram formuladas com torta de filtro, cinzas de cana-de-açúcar e rocha fosfatada conforme método padrão da usina e enriquecidas com o remineralizador ou KCl. Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado de dois tratamentos com doze repetições cada, no Tratamento 1 foi utilizado o composto enriquecido com remineralizador na proporção de (738kg/10t) Remineralizador/Composto, enquanto no Tratamento 2 (114kg/10t) KCl/Composto e para a aplicação na cultura foram utilizadas as proporções de 10 t/ha. Foram avaliados os parâmetros de produtividade, características tecnológicas do caldo, além de uma avaliação financeira. Como resultado pode-se observar que a utilização do remineralizador mesmo apresentando custo inferior, não se mostrou viável economicamente na usina do presente estudo.

Palavras-chave: Cloreto de potássio. Compostagem. Micronutrientes. Remineralizador.

SUMARY

COMPARATIVE ECONOMIC EVALUATION OF PRODUCTS FOR SUGARCANE PLANTING FERTILIZATION

It is necessary to advance in research and management practices in sugarcane to increase productivity in a sustainable way, using planned economic strategies are becoming increasingly important. This study aimed to compare the economic performance between the enrichment of compost with potassium chloride (KCl) and the use of the remineralizer product in sugarcane fertilization. The experiment was installed in an agricultural area belonging to a sugar-energy plant and the composting windrows were formulated with filter cake, sugarcane ash and phosphate rock according to the plant's standard method and enriched with remineralizer or KCl. A randomized design of two treatments with twelve replications each was carried out, in Treatment 1 the compound enriched with remineralizer was used in the proportion of (738kg/10t) remineralizer /Compound, while in Treatment 2 (114kg/10t) KCl /Compound and for the application in the crop were used in proportions of 10 t/ha. Productivity parameters, technological characteristics of the broth, in addition to a financial evaluation were evaluated. As a result, you can observe that the use of remineralizer, even with a lower cost, was not economically viable in the plant of the present study.

Key words: Potassium chloride. Composting. Micronutrients. Remineralizer.

1. INTRODUÇÃO

O setor agrícola está cada vez mais em destaque no que diz respeito à sustentabilidade, sendo um tema de grande preocupação da sociedade (SILVA et al., 2021). Uma das formas de tornar a agricultura mais sustentável é através do desenvolvimento de estratégias que visem aumentar a eficiência na utilização de recursos não renováveis, como os fertilizantes minerais (ELSER; BENNET, 2011; RUSINAMHODZI et al., 2016).

A cana-de-açúcar é uma cultura de crescente importância econômica, considerada uma das principais commodities agrícolas em termos de produtividade e é uma das principais contribuintes para a produção mundial de açúcar colaborando com cerca de 70% da produção global (SINGH et al., 2015).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar de forma que na última safra 2022/23 a produção nacional foi de 610,1 milhões de toneladas, apresentando um aumento de 5,4% em relação a safra anterior (CONAB, 2023). Apesar da relevância econômica e social desta cultura agrícola para o país, os sistemas de produção da cana-de-açúcar têm recebido maior atenção com vistas a aumentar a produtividade e ampliar a sustentabilidade nas práticas de manejo agrícola (SILVA et al., 2021).

A alta produtividade de um canavial depende de diversas variáveis, mas uma delas pode ser gerenciada com maior eficiência, graças aos estudos e ao avanço do conhecimento atual sobre a fisiologia das plantas, que é o fornecimento adequado de nutrientes essenciais para o melhor desempenho agrônômico. O uso de nutrientes trás grandes benefícios para uma boa

produtividade, seja em toneladas de cana por hectare (TCH) ou na quantidade de açúcar total recuperável (ATR) (VIDOTTI, 2021).

O K desempenha um papel crucial no desenvolvimento da cana-de-açúcar e é considerado um dos principais ativadores enzimáticos nos processos de fotossíntese, assimilação de carbono, síntese de clorofila, translocação de sacarose e turgescência celular, e é o elemento essencial absorvido em maior quantidade pela cana-de-açúcar (RODRIGUES, 2019).

A nutrição com macro e micronutrientes na cana-de-açúcar é pouco explorada pelo fato de que por muitos anos grande parte dos ensaios de adubação utilizando micronutrientes não evidenciaram respostas produtivas à espécie, contudo, esses resultados são associados a cultivos em solos férteis e com aplicação de resíduos de usinas e destilaria (CANTARELLA; ROSSETO, 2010; MISHRA et al., 2014; SILVA et al., 2017). Dentre esses macro e micronutrientes de importância para a cana-de-açúcar podemos destacar magnésio (Mg) o silício (Si), o manganês (Mn), o zinco (Zn) e o cobalto (Co).

O uso de resíduos da indústria sucroenergética como fonte de nutrientes para a própria lavoura está se tornando cada vez mais relevante na cadeia produtiva da cana-de-açúcar e isso se deve ao aumento frequente dos preços dos fertilizantes minerais, o que leva as usinas a aproveitar seus subprodutos (LOPES, 2014). O reaproveitamento desses resíduos antes descartados tem levado ao desenvolvimento de novos produtos de alta qualidade e valor nutricional, além de gerar valor agregado para as indústrias (BARBOSA, 2011).

Dentre esses resíduos tem-se o bagaço de cana-de-açúcar e torta de filtro, que além de serem utilizados para a geração de energia, podem ser

aproveitados na produção de fertilizantes, melhorando a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta, apresentando eficácia e se mostram adequados para o uso agrícola (GOMES et al., 2018; GOMES, 2012). Outro resíduo com potencial, são as cinzas do bagaço de cana (CBC) que é oriundo da queima do bagaço da cana e utilizado como biomassa para geração de energia para a usina, no entanto, seu uso como fertilizante é limitado (BEGA, 2014), e sua destinação acaba sendo a disposição em algum terreno da usina por tempo indeterminado ou em aterro sanitário (ARIF; CLARK; LAKE, 2017).

O uso de "pó de rocha" como remineralizador de solo é uma técnica antiga, mas sua viabilidade na agricultura moderna requer mais estudos técnicos, econômicos e ambientais (LAPIDOLOUREIRO et al., 2008). Os remineralizadores de solo são usados para reduzir o uso excessivo de fertilizantes solúveis, como N-P-K, na agricultura tropical. Eles visam rejuvenescer e remineralizar o solo, trazendo novos nutrientes e melhorando a estrutura do solo sem afetar o ambiente (ALMEIDA JÚNIOR, 2020).

Pesquisas indicam benefícios como aumento do pH, melhorias na estrutura do solo e suprimento de nutrientes, especialmente em agricultura familiar e sistemas agroecológicos (THEODORO et al., 2006; RIBEIRO et al., 2010; BRANDÃO, 2012; THEODORO et al., 2012; SOUZA, 2014).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho econômico, de forma comparativa, entre o enriquecimento da compostagem com KCL na adubação para o plantio da cana-de-açúcar frente o uso de um remineralizador.

A hipótese é que a utilização da compostagem enriquecida com o remineralizador apresente um melhor desempenho econômico quando comparado ao uso do cloreto de potássio utilizado isoladamente. Essa hipótese tem como embasamento o fato do remineralizador ser um fertilizante que combina além do K, o Si, Mg, Mn, Zn e Co com uma formulação que permite a liberação progressiva destes nutrientes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura bastante versátil, rentável e de grande importância econômica (PRICE et al., 2014). Além da produção de açúcar e etanol, a cana-de-açúcar também pode ser utilizada na produção de etanol de segunda geração, na geração de energia, na alimentação animal e na produção de subprodutos como compostagem e vinhaça (TRIVELIN et al., 2013; FUESS; GARCIA, 2014).

O setor sucroalcooleiro possui grande importância para a economia brasileira, pois apresenta um número expressivo de agroindústrias espalhadas pelo país, sendo responsável pela geração de empregos além de ser uma alternativa promissora para o setor de biocombustíveis, devido ao seu potencial para produzir etanol e gerar energia elétrica a partir dos subprodutos da cana-de-açúcar (SILVA et al., 2021). O Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar, com uma safra de 610,1 milhões de toneladas na última temporada 2022/23, representando um aumento de 5,4% em relação à safra anterior (CONAB, 2023).

Nas últimas décadas, o aumento da preocupação com o impacto ambiental causado pelos combustíveis fósseis tem impulsionado a demanda por fontes de energia renováveis, promovendo o setor sucroenergético e a expansão do cultivo de cana-de-açúcar em diferentes regiões do Brasil (PEREIRA, 2014).

O aproveitamento integral da cana-de-açúcar é de suma importância para a sustentabilidade do setor sucroalcooleiro, e com uma grande

diversidade de produtos e subprodutos, a cana-de-açúcar se destaca como uma das matérias-primas mais relevantes na atualidade (SILVA, 2021).

2.2 Os subprodutos da cana-de-açúcar

Na indústria sucroalcooleira, os subprodutos são vistos como potenciais poluentes ambientais, porém também são aproveitados como matéria-prima em diversos setores (GOMES et al., 2016). Essa dualidade tem impulsionado estudos acadêmicos com o objetivo de otimizar os processos por meio de uma integração entre os setores industrial, ambiental e agrícola, visando a utilização sustentável dos recursos naturais (PRIMO et al., 2015).

Com a inovação no setor sucroenergético surgiu também à possibilidade da utilização sustentável dos subprodutos da cana-de-açúcar, reduzindo os impactos ambientais ao proporcionar uma destinação adequada dos resíduos (SANTOS NETO et al., 2014). Nessa direção, a utilização de estratégias que contribuam na economia circular do processo de produção, especialmente, na utilização de resíduos ou subprodutos para reciclagem de nutrientes e redução no uso e dependência de recursos naturais tornam-se desafios às áreas de pesquisa e desenvolvimento de empresas e instituições de pesquisa (SANTOS NETO et al., 2014; SILVA et al., 2021).

Dentre esses subprodutos temos a vinhaça, por exemplo, um subproduto da produção de etanol, que é frequentemente empregada como fertilizante, enquanto a torta de filtro, resíduo resultante da filtragem do caldo de cana, é utilizada como adubo nos canaviais, o bagaço que é aproveitado na cogeração de energia elétrica (GOMES et al., 2016) e as cinzas do bagaço

utilizada como biomassa para geração de energia para a usina, e fertilizante (BEGA, 2014).

A torta de filtro é um importante subproduto gerado pela atividade agroindustrial sucroenergética, obtida nos filtros rotativos após a extração da sacarose residual da borra e é composta por uma mistura de bagaço moído e lodo de decantação (CARNEIRO, 2004). Sua utilização nas usinas é mais expressiva quando a extração do caldo é feita por moendas, com uma eficiência média de 18 a 35 kg de torta de filtro por tonelada de cana-de-açúcar processada (LUZ; VITTI, 2008).

A principal utilização da torta de filtro é como fonte de nitrogênio (N) e fósforo (P), bem como condicionador físico do solo no próprio sistema de cultivo de cana-de-açúcar (ROSSETTO et al., 2010). Sua composição química apresenta altos teores de matéria orgânica compostável, e a relação C:N é próxima de 20 (ROSSETTO et al., 2010). A torta de filtro possui concentrações consideráveis de fósforo, nitrogênio e cálcio, com liberação gradual desses elementos no solo, proporcionando efeito residual médio de 2 a 3 cortes do canavial (ROSSETTO et al., 2010).

A torta de filtro é rica em fósforo, sendo que o teor de fosfato (P_2O_5) pode variar dependendo da sua origem e geralmente possui aproximadamente o dobro de P em comparação com aquela gerada por destilarias, com uma média de cerca de 2% de P_2O_5 na base da matéria seca (KORNDORFER, 2004).

De acordo com Almeida Júnior et al. (2011), a cana-de-açúcar responde positivamente ao uso da torta de filtro como adubo, pois este subproduto

melhora a fertilidade do solo, aumentando os teores de macro e micronutrientes, além de reduzir os teores de alumínio, o que corrige a acidez do solo.

Apesar das concentrações consideráveis de nutrientes na torta de filtro, é necessário equilibrá-la adicionando outros nutrientes, especialmente potássio, quando utilizada na adubação da cana-de-açúcar (ROSSETTO et al., 2010).

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar é um resíduo da indústria sucroalcooleira oriunda da queima do bagaço da cana, utilizada como biomassa para geração de energia para a usina (CORDEIRO; FILHO; ALMEIDA, 2011). Neste processo, o bagaço da cana é queimado sem o controle da temperatura, que pode variar entre 300 e 900 °C; (CORDEIRO; TAVARES; TOLEDO FILHO, 2016).

As cinzas são compostas por material com menor teor de nutrientes e baixa quantidade de matéria orgânica, porém, possuem maiores concentrações de Ca e K. A mistura da torta de filtro com cinzas de caldeiras reduz a umidade do composto de 75% para 40%, o que diminui os custos de transporte e permite a aplicação de maiores quantidades de nutrientes por área. Além disso, essa mistura também reduz a relação C:N devido à mineralização e subsequente liberação de nutrientes durante o processo de compostagem (LOPES, 2014).

De acordo com Brunelli e Pisanni Júnior (2006), a cinza de bagaço de cana-de-açúcar é uma fonte de macro e micronutrientes essenciais para a produção agrícola, destacando-se o potássio como o principal elemento. Além

disso, os autores afirmam que a utilização da CBC é ambientalmente segura, uma vez que as dosagens normalmente recomendadas não contêm quantidades suficientes de metais pesados, dioxinas e furanos que possam causar danos ao solo e ao lençol freático.

2.3 Potássio

A cana-de-açúcar é conhecida por ser uma cultura agrícola de alta produtividade de biomassa por área cultivada e por apresentar uma grande demanda por nutrientes (TRIVELIN et al., 2013). Portanto, para alcançar seu máximo potencial produtivo, é fundamental garantir o suprimento adequado de nutrientes e água no solo (MEENA et al., 2015).

Dentre os elementos minerais adicionados através da adubação, temos o potássio K, que é o nutriente mais exportado pela cultura da cana-de-açúcar em termos de adubação mineral. No Brasil, o principal fertilizante de potássio utilizado é o Cloreto de Potássio (KCl), que possui cerca de 60% de Óxido de Potássio (K₂O) em sua composição (VIDOTTI, 2021).

O K é um dos nutrientes mais importantes para as plantas, sendo absorvido em grande quantidade, principalmente pela raiz por interceptação radicular, fluxo de massa e difusão (MALAVOLTA, 2005). O K desempenha várias funções vitais nas células vegetais, como regulação do potencial osmótico, ativação de enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, além de participar do processo de abertura e fechamento dos estômatos (RAIJ, 2011).

Embora o K não tenha função estrutural, ele participa de diversas reações enzimáticas no metabolismo de carboidratos e proteínas, bem como na translocação de açúcares, e é especialmente exigido por plantas produtoras de amido, açúcar e fibras (FAQUIN, 2005). A quantidade ideal de K para o crescimento das plantas varia de 10 a 50 g por kg de matéria seca, dependendo da espécie e do órgão avaliado (MEURER et al., 2018)

Um estudo realizado por Oliveira et al. (2010), mostrou que a cana-de-açúcar apresenta uma alta absorção de K ao longo de seu desenvolvimento, e para alcançar uma produção de 120 toneladas de colmo por hectare, aproximadamente 370 kg de óxido de potássio (K_2O) são absorvidos por hectare. Os autores ainda apontam que a maior parte do K absorvido é alocada nos colmos da planta, e o pico de demanda ocorre durante a fase de máximo crescimento, que corresponde ao alongamento dos colmos.

Segundo Otto et al. (2010), a aplicação de fertilizantes potássicos na cultura da cana-de-açúcar resulta em melhorias significativas na altura das plantas, no perfilhamento e na produtividade de colmos e açúcar.

O K desempenha um papel essencial no transporte de sacarose e fotoassimilados das folhas para os órgãos de armazenamento na planta, e contribui para o aumento do potencial osmótico das células, o que favorece o carregamento dos fotoassimilados. Além disso, a presença deste nutriente facilita o transporte de açúcares através da membrana e o descarregamento da sacarose no floema. O suprimento adequado de potássio promove uma maior síntese de carboidratos e melhora a eficiência na translocação desses

compostos, otimizando assim o metabolismo da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013; TAIZ et al., 2015).

A deficiência de potássio na cultura da cana-de-açúcar pode ser evidenciada inicialmente por folhas velhas que apresentam clorose (amarelamento) da margem para o centro da folha e em alguns casos evoluem para necrose, os colmos ficam mais finos e no fim do ciclo os ponteiros da planta ficam em forma de leque, efeito conhecido como “topo de penca” (ROSSETO; SANTIAGO, 2008).

Por outro lado, a deficiência de potássio pode resultar em diminuição na assimilação do CO₂ pelos cloroplastos, redução na taxa de fotossíntese e diminuição nas reservas de carboidratos das plantas (ROSSETTO et al., 2010). Plantas com deficiência deste nutriente tendem a acumular açúcares hexoses e apresentar redução de carboidratos de cadeia mais longa, como amido e sacarose, nas folhas (MARSCHNER, 2012).

2.4 Remineralizadores

Os produtores têm dado preferência ao uso de pó de rocha como remineralizador, pois este pode ser aplicado diretamente no solo ou combinado com fertilizantes solúveis convencionais. Essa combinação aumenta seu potencial, tornando-a uma técnica viável conhecida como rochagem (SILVA, et al., 2012; BRASIL, 2019).

Conforme a legislação brasileira, especificamente a Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, os remineralizadores foram incluídos como uma categoria de insumo destinado à agricultura. Isso foi regulamentado pela

Instrução Normativa Lei nº 12.890/2013, datada de 10 de dezembro de 2013. Essa regulamentação autoriza a inspeção e fiscalização da produção e comercialização de produtos resultantes da decomposição de rochas, conhecidos como remineralizadores (BRASIL, 2013).

A utilização de pó de rochas que contenham níveis substanciais de macronutrientes, como cálcio, potássio, fósforo e magnésio, juntamente com micronutrientes como cobalto, molibdênio, vanádio e boro, desempenham um papel fundamental na nutrição das plantas. sendo essencial para equilibrar os diferentes elementos que compõem os agroecossistemas. (THEODORO et al., 2006).

Theodoro e Leonardos (2006) concluíram que o uso de remineralizadores na produções de milho, arroz, mandioca e cana-de-açúcar foram comparáveis àquelas alcançadas com adubação convencional e além disso, o emprego desses remineralizadores conduziu a melhorias significativas na fertilidade do solo. Em um estudo realizado por Ribeiro et al. (2010), que avaliou o impacto da aplicação de diferentes tipos de pó de rochas em um solo pobre em potássio, observou-se que algumas dessas rochas mostraram-se promissoras como fontes alternativas de potássio, liberaram fósforo para o sistema e aumentaram o pH do solo em determinadas condições.

Almeida Júnior et al. (2022)¹ e Almeida Júnior et al. (2022)² avaliaram o uso de remineralizadores na cultura da soja e do fosfato natural reativo + remineralizador, respectivamente. Em ambos os estudos, o remineralizador mostrou eficiência, mantendo as características agronômicas esperadas e melhorando a produtividade em comparação com a média nacional.

2.5 Macro e micronutrientes na cana-de-açúcar

A adubação com macro e micronutrientes nos últimos anos tem ganhado mais espaço no manejo nutricional da cultura da cana-de-açúcar, apresentando respostas positivas devido ao aumento do cultivo em áreas de baixa fertilidade (MELLIS et al., 2016).

O Mg é um dos principais macronutrientes e ativadores enzimáticos, desempenhando um papel fundamental em inúmeros processos fisiológicos e bioquímicos nas células vegetais (BOSE et al., 2011). O Mg participa de várias reações enzimáticas que envolvem ATP e ADP, além de ser um componente central da molécula de clorofila, o que o torna essencial para o processo de fotossíntese (MARENCO; LOPES, 2005). Apesar de o Mg ser extraído gradualmente pela cana-de-açúcar, a maior demanda ocorre durante os estágios de crescimento mais tardios, com a maior parte do Mg absorvido e destinado aos colmos, sendo essa distribuição crucial para garantir sua qualidade da matéria-prima da cana (OLIVEIRA, 2012).

A aplicação do micronutriente Si tem sido comprovadamente benéfica para a produtividade de várias culturas, especialmente aquelas que conseguem acumular esse elemento em seus órgãos, como é o caso da cana-de-açúcar (SHEN et al., 2014). O Si quando fornecido às plantas sob estresses diversos, incluindo deficiência nutricional, tem demonstrado aumentar a defesa antioxidante das plantas e/ou reduzir os danos oxidativos por meio da ação de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos (KIM et al., 2017; SILVA; PRADO, 2021; OLIVEIRA et al., 2019). Além desses efeitos, o Si tem melhorado a absorção de micronutrientes em situações de baixa ou ausência de

fornecimento, o que pode afetar processos bioquímicos e fisiológicos das plantas, ajudando a atenuar a carência deste micronutriente (PAVLOVIC et al., 2016; NIKOLIC et al., 2019).

O Mn é o segundo micronutriente mais extraído e exportado pela cana-de-açúcar (ORLANDO FILHO, 1993). Alguns autores demonstram aumentos significativos na produção e qualidade quando o Mn é fornecido às plantas de cana-de-açúcar (MELLIS et al., 2016; BENETT et al., 2011; SINGH et al., 2002). Essas melhorias foram observadas no incremento da produtividade, favorecimento no crescimento da parte aérea e aumento no número de internódios e diâmetro do colmo.

Estudos recentes mostraram que o Si pode aumentar o acúmulo de Mn em plantas deficientes e até mesmo melhorar a nutrição com Mn quando combinados em pulverização foliar, como constatado por Oliveira et al. (2020) em plantas de sorgo e milho deficientes, onde a aplicação de Si sozinho ou em conjunto com Mn resultou em maior acúmulo de Mn, redução do extravasamento de eletrólitos, aumento do índice relativo de clorofila, maior eficiência quântica do fotossistema II e maior massa seca, indicando uma interação positiva na nutrição foliar.

Dentre os micronutrientes essenciais para a produção de cana-de-açúcar o Zn pode ser considerado um dos mais importantes, pois sua deficiência tem sido frequentemente observada (VALE et al., 2008). O Zn desempenha funções vitais como cofator na síntese de auxinas, triptofano e no metabolismo de triptamina, além de estar presente em enzimas envolvidas na metabolização de álcool, CO₂, ácido glutâmico, entre outros (TAIZ, 2004).

Franco et al. (2008) realizaram estudos que evidenciaram um aumento significativo na quantidade ATR na cultura da cana-de-açúcar com a adição desse micronutriente, um fator de extrema importância para os produtores, uma vez que o pagamento da cana está vinculado ao sistema de remuneração por tonelada de cana pela qualidade (CONSECANA, 2006).

O cobalto (Co) é considerado um nutriente benéfico em baixas concentrações nas plantas, e desempenha um papel crítico na regulação da absorção e transporte de elementos como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), manganês (Mn), zinco (Zn) e ferro (Fe) (Evans et al., 1964; GAD et al., 2013; GAD, 2012). Além disso, o cobalto é essencial na conversão direta de metanol em metano, agindo como componente enzimático nos compostos corrinóides, que catalisam a transferência de grupos metil para a metilcoenzima M, um precursor comum para a produção de metano em substratos metanogênicos. Importante ressaltar que os compostos corrinóides incluem a vitamina B-12 (FERMOSO, 2008).

Segundo Orlando Filho et al. (2001), na cultura da cana-de-açúcar, pode ocorrer a chamada "fome oculta", caracterizada pela ausência de sintomas visíveis de deficiência nutricional, mas que se reflete em uma diminuição da produtividade e qualidade da cultura. Os micronutrientes são menos comuns nas práticas de adubação de culturas em larga escala, no entanto, eles desempenham um papel significativo no aprimoramento de características como Brix, Pol da cana e ATR.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área agrícola pertencente a uma usina sucroenergética localizada no interior do estado de São Paulo. Todos os procedimentos para a realização do experimento foram realizados por funcionários da usina e empresas parceiras. Para garantir o anonimato da usina e dos seus profissionais, informações que eventualmente possam identificar a organização foram suprimidas.

Desta forma, esta pesquisa se caracteriza como um estudo de caso, estratégia de pesquisa amplamente utilizada, pois permite que os dados sejam analisados em situação real, de modo que o pesquisador possa analisar os resultados respeitando e considerando o contexto organizacional e estrutural em que o experimento está inserido. De acordo com Yin (2001), a abordagem de estudo de caso consiste em uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, no qual os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

A seleção da usina ocorreu pela oportunidade de explorar o objetivo pretendido neste estudo, ao descobrir que a mesma utiliza a compostagem para adubação e conduziu experimento recente com o uso de remineralizador. Além disso, trata-se de um grupo sucroenergético com experiência consolidada no setor, tendo em vista sua atuação no setor há mais de 80 anos, possui mais de 1.200 funcionários e tem área total plantada com cana-de-açúcar superior 40 mil ha. A usina possui na sua missão e informações declaradas compromisso com a sustentabilidade e inovação o corrobora as características desta pesquisa.

Os dados foram coletados a partir dos registros da usina referente ao experimento, bem como, entrevistas semiestruturadas com um profissional.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a CTC9001, tendo como data do plantio abril de 2021 e colhida entre 27/04/2022 até 05/05/2022. A região apresenta solo arenoso e o clima é, segundo classificação de Köppen, subtropical úmido, com estações bem definidas, com verões quentes e invernos amenos. A pluviosidade média anual é de 1.200 a 1.500 milímetros com temperaturas médias entre 24°C e 30°C no verão e entre 11°C e 20°C no inverno e altitude média de aproximadamente 600 metros acima do nível do mar.

As leiras de compostagem foram formuladas com torta de filtro, cinzas de cana-de-açúcar e rocha fosfatada (Figura 1 – A) conforme método padrão da usina e enriquecidas com remineralizador ou KCl (Figura 1 – B). Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado de dois tratamentos com doze repetições cada. No Tratamento 1 foi utilizado o composto enriquecido com remineralizador na proporção de (738kg/10t) Remineralizador Composto, enquanto no Tratamento 2 (114kg/10t) KCl/Composto. Para a aplicação na cultura foram utilizadas as proporções de 10 t/ha de composto enriquecidos com remineralizador assim como de KCl (Figura 1 – C).

Como método de avaliação, foram avaliados 120 metros lineares de linha e em cada tratamento, a cada 3 linhas (totalizando 12 linhas), foram feitas avaliações de 10 metros de comprimento em cada linha.

Os seguintes parâmetros foram avaliados: Quantidade de canas: Realizou-se a contagem do número de canas presentes em cada trecho de 10

metros; Quantidade de canas por metro linear: Calculou-se a média do número de canas por metro linear; Peso de 10 canas: Realizou-se a pesagem de um conjunto de 10 canas selecionadas aleatoriamente em cada trecho; Peso de uma cana: Realizou-se a pesagem do peso individual de uma cana selecionada aleatoriamente em cada trecho; Peso médio: Calculou-se o peso médio das canas em cada trecho; e TCH (Toneladas de cana por hectare): Estimou-se a produtividade de cana por ha com base nos dados coletados. Através desses parâmetros avaliados, permitiram obter informações sobre a quantidade, peso e produtividade da cana-de-açúcar em cada trecho avaliado.

Para a análise das características tecnológicas do caldo foram coletados quatro colmos em cada uma das parcelas experimentais, os quais foram conduzidos para o laboratório onde foram submetidos às análises de: pureza do caldo (Pureza), fibra na cana (Fibra), pol da cana (PC) e os açúcares totais recuperáveis (ATR), conforme metodologia do Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (SPCTS) (CONSECANA, 2006).

As variáveis de pureza do caldo, fibra na cana, pol da cana e ATR foram submetidas à análise de variância seguindo o delineamento experimental inteiramente casualizado e as médias foram comparadas pelo teste Estatística T-Student, p-valor bicaudal crítico $< 0,05$.

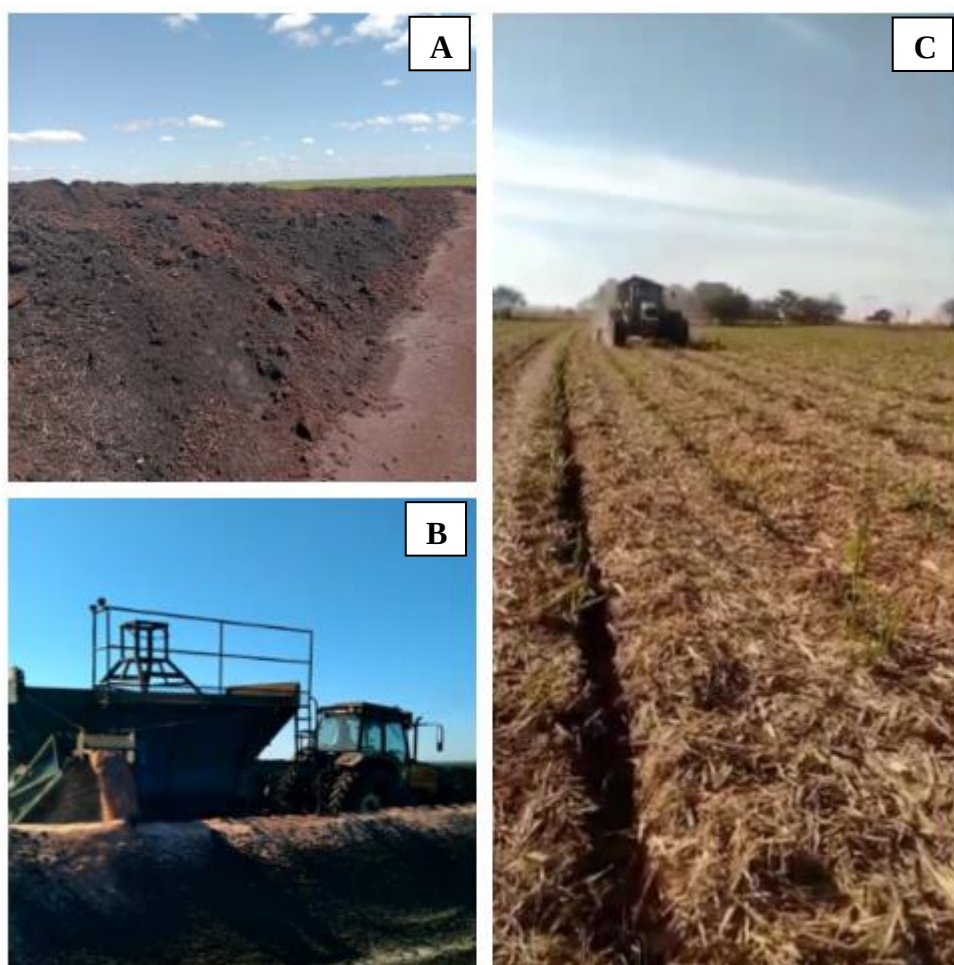


Figura 1. A - Leiras de compostagem formuladas a partir de torta de filtro, cinzas de cana-de-açúcar e rocha fosfatada. B – Enriquecimento da compostagem com KCl. C – Aplicação do composto pronto na cultura.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Para avaliação financeira foram levantados os gastos inerentes aos investimentos para a estrutura da área de compostagem, bem como as máquinas, equipamentos e demais ativos fixos necessários para a atividade. Os custos operacionais para a operação da compostagem, bem como, as diferenças de insumos utilizados em cada um dos tratamentos também foram identificadas junto aos registros da usina, entrevistas e observação.

A apuração das receitas foi realizada considerando o histórico de 5 anos do preço do ATR e a produtividade identificada em cada um dos tratamentos.

As volatilidades do preço do ATR e da produtividade foram consideradas na análise, por meio, da Simulação de Monte Carlo. A Simulação de Monte Carlo é um método essencialmente estatístico, que usa números pseudoaleatórios gerados por algoritmos determinísticos em computadores e sua precisão aumenta com mais números gerados (SÓBOL; VEGA, 1983).

Como se trata de uma avaliação de resultado considerando o impacto dos tratamentos no desempenho financeiro da empresa no curto prazo (1 ano), utilizou-se o indicador Retorno do Investimento (ROI – *Return on Investment*), cuja identidade cálculo é definida na fórmula 1.

$$ROI = \frac{NOPAT}{Investimento} \times 100 \quad (01)$$

Onde,

NOPAT – *Net Operation Profit After Taxes* (Lucro Operacional Líquido de Impostos)

Investimento – Somatório de gastos para estruturação da atividade de compostagem

Para o cálculo do NOPAT, adotou-se a estrutura para apresentação das demonstrações financeiras padronizadas.

(+) Receitas

(-) Custos Operacionais

(-) Depreciação

(=) Lucro antes do Imposto de Renda e Contribuição Social

(-) Imposto de Renda e Contribuição Social

(=) NOPAT

Para o cálculo do imposto de renda (IR) e contribuição social (CS), utilizou-se a taxa aplicada no Brasil 15% (IR) e 9% (CS), sendo que em razão do tamanho da organização em que o experimento foi conduzido, utilizou-se o

adicional de 10% no IR que excede os lucros tributáveis acima de R\$ 240 mil/ano.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade expressa em TCH apresentou valores médios de 99,13 kg t⁻¹ utilizando o remineralizador, enquanto o composto com enriquecido com KCl apresentou valores de 117,84 kg t⁻¹. De acordo com Marques et al. (2001), os valores ideais de produtividade de cana-de-açúcar podem variar dependendo das condições de cultivo e das características regionais, no entanto, como referência, são considerados desejáveis valores médios de produtividade em torno de 80 a 100 kg t⁻¹. Portanto, os valores obtidos de produtividade nos dois tratamentos mostram-se satisfatórios, indicando um desempenho adequado em termos de rendimento da cultura.

Alguns estudos têm evidenciado que, para atingir uma produção de 100 toneladas de cana por hectare (TCH), é necessário remover do solo aproximadamente 137 kg de K₂O, podendo chegar a 285 kg em solos mais ricos nesse nutriente (LOPES, 1989; FRANCO et al., 2008). Esses resultados destacam a importância do potássio na nutrição da cana-de-açúcar e justificam o aumento da produtividade que ocorre como resultado de sua aplicação adequada. Estudos adicionais, como o de Silva (2020), têm demonstrado que a adubação com potássio proporciona melhorias significativas em variáveis como altura da planta, estatura do colmo, diâmetro do colmo, número de entrenós e TCH. Essas observações corroboram a indispensabilidade do potássio na cultura da cana-de-açúcar, reforçando a importância de sua utilização como

prática agronômica para otimizar a produtividade e o desenvolvimento saudável da planta.

Os valores médios de Pol, Pureza, Fibra e ATR que compõem a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar estão expressos na (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios obtidos nos tratamentos de Pol, Pureza, Fibra e ATR.

	Fibra (%)	Pureza (%)	PC (%)	ATR (kg açúcar TC ⁻¹)
Remineralizador	12,32	83,92	12,93	130,42
Composto/KCl	12,32	81,62	11,97	121,74

Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

Ao analisar os valores médios obtidos para o teor de fibra, foi observado que ambos os tratamentos apresentaram médias de 12,32%. Esses valores estão dentro da faixa de teores médios ideais de fibra preconizada por Fernandes (2003), que varia de 10,5% a 12,5%. Portanto, pode-se afirmar que tanto o tratamento utilizando o remineralizador quanto o tratamento com o composto com KCl estão em conformidade com as recomendações para os teores de fibra na cultura da cana-de-açúcar.

No que diz respeito à pureza da cana-de-açúcar, recomenda-se um mínimo de 80% no início da safra e de 85% durante o decorrer da safra, de acordo com Rodrigues et al. (2018). Nesse contexto, os valores obtidos utilizando tanto o remineralizador 83,92% quanto o composto com KCl 81,62% estão dentro dos padrões estabelecidos para a cultura, demonstrando que os tratamentos foram eficazes em manter a pureza da cana-de-açúcar de acordo com as referências estabelecidas.

Ao analisar os valores médios de Pol % de cana nos tratamentos, verificou-se que utilizando o remineralizador os valores foram de 12,93%,

enquanto com o composto foram de 11,97%. Ambos os tratamentos apresentaram valores abaixo do mínimo exigido pela indústria, que é de 13% de Pol % de cana, de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo CONSECANA (2006).

Por fim, dentre os atributos analisados, o açúcar total recuperável (ATR) destaca-se como um dos principais, uma vez que quantifica a quantidade total de açúcares presentes na cana (sacarose, glicose e frutose). O ATR desempenha um papel crucial no pagamento aos produtores pelas unidades industriais, seguindo a metodologia estabelecida pelo CONSECANA (2006).

Os valores de médios de ATR obtidos no presente estudo, no tratamento utilizando o remineralizador, foram de 130,42 kg açúcar TC^{-1} , enquanto no tratamento utilizando o composto com KCl foram de 121,74 kg açúcar TC^{-1} . De acordo com Marques et al. (2001), a faixa de valores satisfatórios para cana-de-açúcar com maturação adequada e em condições favoráveis de manejo e clima situa-se entre 130 a 160 kg açúcar TC^{-1} . Observa-se, portanto, que somente o tratamento utilizando o remineralizador atingiu valores dentro dessa faixa considerada ideal.

Ao combinar os valores de ATR por TCH, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos utilizando o remineralizador e o composto com KCl,

Resultados semelhantes foram observados em alguns estudos, onde não houve efeito significativo da adubação potássica na variável de ATR da cana-de-açúcar. Uchôa et al. (2009) não identificaram diferenças significativas nos tratamentos em relação ao ATR. Resultados semelhantes foram

encontrados por Feltrin et al. (2010), que não observaram diferenças significativas entre os tratamentos para a mesma variável. Otto et al. (2010), ao avaliar a influência das doses e formas de aplicação de potássio, também não encontraram impacto significativo no ATR. Além disso, Assis et al. (2004), em um estudo com variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de adubação e lâminas de irrigação, não verificaram respostas significativas para a variável ATR.

Na avaliação financeira, os gastos relacionados aos investimentos na estrutura da área de compostagem, incluindo máquinas, equipamentos e demais ativos fixos necessários para a atividade estão demonstrados na (Tabela 3). Os custos operacionais envolvidos na operação da compostagem, considerando as diferenças nos insumos utilizados em cada um dos tratamentos estão expostos na (Tabela 4).

Tabela 2. Gastos relacionados aos investimentos na estrutura da área de compostagem, incluindo máquinas, equipamentos e demais ativos fixos necessários para a atividade.

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Chorumeira	1	50.000	50.000
Carreta enriquecedora	1	100.000	100.000
Compostadores	2	160.000	320.000
Pá-carregadeira Cat 938 cv	2	850.000	1.700.000
John Deere 6125J 125 Cv	2	600.000,00	1.200.000
Maquinário aplicação no campo			
Pá Carregadeira MAX936W 936 cv	1	700.000	700.000
Trator Case 220 240 Cv	1	1.200.000	1.200.000
Instalações e edificações da área	1	1.000.000	1.000.000
Total			6.270.000

Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

Tabela 3. Custos operacionais envolvidos na operação da compostagem, considerando as diferenças nos insumos utilizados em cada um dos tratamentos

Descrição	R\$/tonelada	Quantidade(kg/ha)	Custo/ha (R\$)	Composto KCl (R\$)	Remineralizador (R\$)
Rocha	1.085,00	240	260,40	260,40	260,40
Enzimas	-	-	108,50	108,50	108,50
Cloreto de potássio	4.800,00	114	547,20	547,20	-
Remineralizador	367,00	738	270,80	-	270,80
Transporte	7,50	10	75,00	75,00	75,00
Operação/pátio	30,00	-	300,00	300,00	300,00
Aplicação	-	-	320,00	320,00	320,00
Total				1.611,10	1.334,70

Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

Com base na análise dos dados, constatou-se que, ao comparar os custos de preparação dos compostos, o composto com remineralizador apresentou um custo inferior de R\$ 1334,70 em comparação ao composto com KCl, que teve um custo de R\$ 1611,10. No entanto, não houve diferença nos custos de aplicação entre os tratamentos, sendo que a única variação ocorreu na quantidade de produto utilizado nas lavouras.

Para realizar a análise financeira é necessário verificar, não somente, os custos, mas os impactos que cada decisão de manejo impacta na rentabilidade e na geração de caixa do empreendimento rural. Neste sentido, considerou-se além dos custos inerentes a cada produto o potencial de geração de receita de cada item, considerando os resultados de produtividade do ATR/TCH e o preço do ATR.

Ao considerar o histórico de 5 anos do preço do ATR (abril de 2017 a dezembro de 2022) deflacionados pelo Índice de Preço Amplo ao Consumidor (IPCA) até dezembro de 2022. Verificou-se que o valor médio do ATR para

esse período foi de R\$ 0,928149/kg, apresentando o desvio padrão de 0,211585 e um coeficiente de variação de 0,227964.

Como os resultados de produtividade dos dois produtos apresentaram variância distinta e o valor do ATR é definido por variáveis de mercado com coeficiente de variação superior a 22%, foram estimados 10.000 diferentes resultados financeiros por meio da Simulação de Monte Carlo. Os resultados médios para a Receita, Custo Variável, Margem de Contribuição, NOPAT e ROI estão na (Tabela 5).

Tabela 4. Comparação dos valores médios de receita, custo variável (CV), margem de contribuição (MC), imposto de renda (IR), NOPAT e ROI dos tratamentos.

Itens	Receita/ha (R\$)	CV/Ha (R\$)	MC/ha (R\$)	IR/ha (R\$)	NOPAT/ha (R\$)	ROI (%)
Remineralizador	11.994,45	1.334,70	10.659,75	3.624,32	7.035,43	0,11%
KCl	13.324,92	1.611,10	11.713,82	3.982,72	7.731,10	0,12%
Variação (RemineralizadorVs KCl - %)	-9,98%	-17,16%	-9,00%	-9,00%	-9,00%	9,00%

Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

O impacto de cada prática de manejo no lucro operacional líquido de impostos (NOPAT) considerando as 10.000 diferentes possibilidades pode ser observado nas (Figuras 1 e 2).

Em ambos os casos, a probabilidade do impacto ser negativo é mínima (<0,01% - remineralizador e <0,02% Composto com cloreto), contudo, é possível notar que o impacto financeiro do composto com cloreto possui maior amplitude devido a maior média de ATR/TCH e a maior variância do resultado.

O efeito mais amplo do composto com cloreto na geração de NOPAT se apresenta no resultado médio superior ao remineralizador (Figuras 1 e 2).

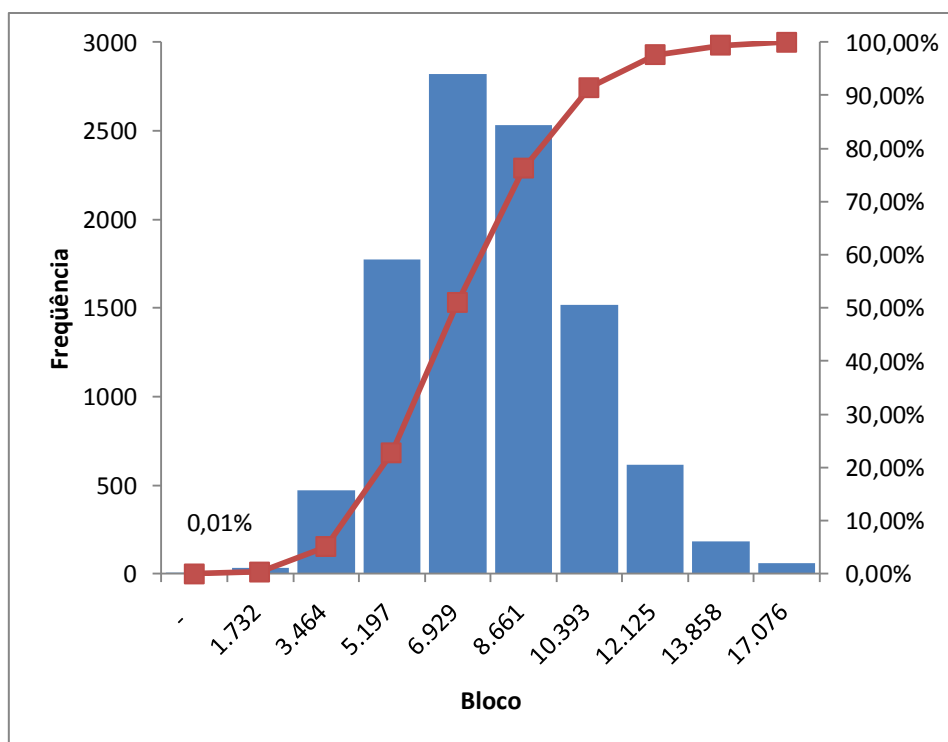


Figura 2. Valores de intervalo de NOPAT no tratamento utilizando remineralizador.
Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

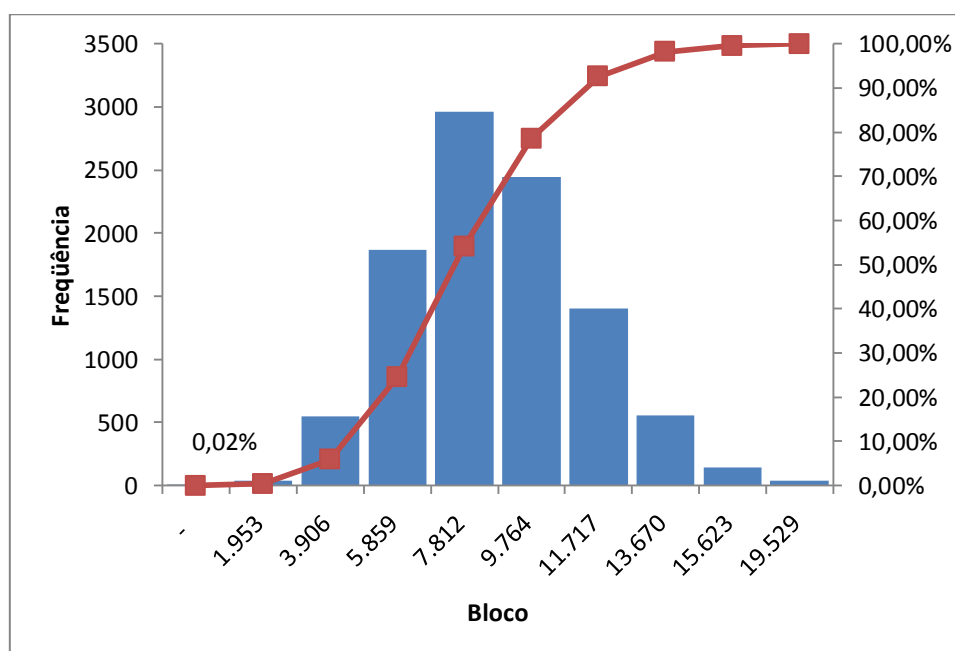


Figura 3. Valores de intervalo de NOPAT no tratamento utilizando o composto com KCl.
Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

Ao analisar o impacto das técnicas de manejo somente em aspectos relacionados ao desempenho agrônômico limita-se o alcance junto ao produtores ou agroindústrias onde os reflexos no fluxo de caixa são fundamentais para o cumprimento final de todas as obrigações e a remuneração do investimento (ROI).

Nesse sentido, os valores simulados para 10 mil possibilidade de ROI considerando a volatilidade da produtividade e do preço de mercado do ATR, juntamente com as premissas de custos já apuradas (Tabela 4) e investimentos (Tabela 3), comparou-se estatisticamente os resultados para as duas técnicas de manejo.

Embora a produtividade ATR/TCH não tenha apresentado resultados médios estatisticamente diferentes sob o nível de confiabilidade de 95%, ao extrapolar os resultados médios e suas respectivas variâncias combinado com o valor médio do ATR e sua variância, bem como, as premissas de custos e investimentos, o resultado médio do composto com cloreto foi superior ao remineralizador e essa diferença é estatisticamente significativa (p -valor bi-caudal $< 0,05$).

Sabendo que o investimento é o mesmo para ambos os tratamentos e que o remineralizador, possui um custo/ha inferior ao Cloreto, o resultado do ROI deve-se a maior amplitude do lucro operacional líquido (NOPAT) frente ao remineralizador. Essa maior amplitude reflete o valor médio maior do cloreto e a maior variância, pois quando estes resultados são carregados com os valores de ATR para geração de receita as possibilidades de resultados são aumentadas.

Apesar da ausência de diferença estatística na produtividade entre remineralizador e composto com KCl, é fundamental reconhecer que a análise Financeira nos trouxe dados importantíssimos através do ROI e NOPAT, se mostrando essenciais para decisões informadas. Um estudo de análise financeira conduzido por Marques (2021), envolvendo a aplicação de KCl e subprodutos da cana-de-açúcar, demonstrou a viabilidade econômica desses insumos quando considerados os custos de aplicação adequados para cada tipo de composto.

Como o composto com KCl apresentou uma maior variação no NOPAT e demonstrou viabilidade através do cálculo do ROI, isso sugere que, apesar da produtividade não ter diferido, a escolha deste composto tem um impacto significativo na lucratividade da usina.

Essa maior variação no NOPAT do composto com KCl indica um potencial de lucro operacional líquido mais diversificado, com oportunidades financeiras mais variadas. Além disso, o ROI favorável sugere que, ao considerar tanto os custos de preparação quanto os retornos ao longo do tempo, essa alternativa é mais atrativa financeiramente. Considerando a busca pela otimização da reutilização de resíduos ou subprodutos visando à obtenção sustentável de lucro conforme indicado por Silva et al. (2021) e Santos Neto et al. (2014), a utilização do composto contendo KCl se apresenta como uma alternativa mais viável.

Os resultados da avaliação financeira ressaltam a importância de não avaliar apenas os aspectos agrônômicos, mas também de considerar os

reflexos nos elementos do fluxo de caixa que impactam a receita e os custos, bem como, seus desdobramentos na rentabilidade dos investimentos.

5. CONCLUSÕES

A utilização do remineralizador mesmo apresentando custo inferior, não foi financeiramente superior na adubação da cana-de-açúcar na usina do presente estudo, comparado ao uso do cloreto de potássio. Vale ressaltar, que os dados e resultados apresentados, são referentes a uma determinada usina e que podem ocorrer variações de usinas para usinas, assim como diferenças nos valores de investimento e no preparo dos compostos a partir da compostagem.

Os resultados deste estudo mostram que decisões baseadas puramente em resultados médios de produtividade podem não refletir completamente as implicações financeiras. Portanto, ao planejar estratégias produtivas, é essencial adotar uma abordagem mais abrangente que englobe análises econômicas detalhadas para garantir uma tomada de decisão sólida e informada.

Embora sejam escassos os estudos com a utilização do remineralizador na literatura, o presente trabalho se mostra como uma rica base de dados, e a partir dele, novos estudos podem ser realizados para uma avaliação de outras variáveis e diferentes condições na cultura da cana-de-açúcar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; CLÍSTENES, W. A. N.; SOBRAL, M. F.; GOMES, W. A. Soil fertility and uptake of nutrients by sugarcane fertilized with filter cake. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 15, n. 10, p. 1004-1013, 2011.

ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SMILJANIC, K. B. A.; MATOS, F. S. A.; PEREIRA, R. M. Utilização do remineralizador de solo k forte como fertilizante de solo na região do Cerrado. **Conjecturas**, v. 22, n. 9, 2022¹.

ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SMILJANIC, K. B. A.; MATOS, F. S. A.; PEREIRA, R. M. Consórcio entre remineralizador de solo k-forte e fosfato natural reativo como fonte de fertilizante natural para região de cerrado **Conjecturas**, v. 22, n. 9, 2022².

ARIF, E.; CLARK, M. W.; LAKE, N. Sugar cane bagasse ash from a high-efficiency co-generation boiler as filler in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 151, p. 692–703, 2017.

ASSIS, P. C. O.; LACERDA, R. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C.H. A. Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, São Cristóvão, v. 4, n. 2, p. 337-342, 2004.

BARBOSA, J. R.; BELTRAME, S. C.; BRAGATTO, M. M.; DÉBIA, P. J. G.; Avaliação da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subprodutos agroindustriais. **Revista Tecnológica**, p. 21-28, 2011.

BEGA, R. M. **Aplicação de cinza do bagaço de cana-de-açúcar em latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Jaboticabal, 2014, 68 p.

BENETT, C.G.S.; BUZETTI, S.; SILVA, K.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Produtividade e desenvolvimento da cana-planta e soca em função de doses e

fontes de manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1661-1667, 2011.

BENITES, V.M., CARVALHO, M.C.S., RESENDE, A.V., POLIDORO, J.C., 2010. Potássio, Cálcio e Magnésio na Agricultura Brasileira. *In*: PROCHNOW, L.I; CASARIN, V.; STIPP, S.R.. (Eds.), **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. IPNI: Piracicaba, pp. 53-65.

BOSE, J.; BABOURINA, O.; RENGEL, Z. Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 7. p. 2251 – 2264, 2011.

BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI JÚNIOR, R. Proposta de Disposição de Resíduo Gerado a partir da Queima do Bagaço de Cana em Caldeiras como Fonte de Nutriente e Corretivo do Solo. *In*: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Leste. **Anais...** Punta del Leste : Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006. v. 1. p. 1-9

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. Fertilizers for sugar cane. *In*: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). **Sugarcane Bioethanol – R&D for Productivity and Sustainability**. São Paulo: Blucher, 2010. p. 404-422.

CARNEIRO, R.G.; MENDES, I.C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, v10 – Safra 2022/23, n. 4 - Quarto levantamento, p. 1-49, Abril 2023.

CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; ALMEIDA, R. S. De. Influence of ultrafine wet grinding on pozzolanic activity of submicrometre sugar cane bagasse ash. **Advances in Applied Ceramics**, v. 110, n. 8, p. 453–457, 2011.

CORDEIRO, G. C.; TAVARES, L. M.; TOLEDO FILHO, R. D. Improved pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash by selective grinding and classification. **Cement and Concrete Research**, v. 89, p. 269–275, 2016.

ELSER, J.; BENNETT, E. Phosphorus cycle: a broken biogeochemical cycle. **Nature**, v. 478, p. 29-31, 2011.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FELTRIN, M. S., LAVANHOLI, M. G. D. P., SILVA, H. S., PRADO, R. M. Adubação potássica na produtividade da soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Núcleos**, v.7, n.1, abr. 2010.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da cana-de-açúcar**. 2.ed. STAB, Piracicaba, 2003, 240p

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337-342, 2011.

FRANCO, H. C. J.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H.; TRIVELIN, M. O. **Acúmulo de nutrientes pela canaplanta. STAB Açúcar, Álcool Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, p. 47-51, 2008.

FUESS, L.T.; GARCIA, M. L. Implications of stillage land disposal: a critical review on the impacts of fertigation. **Journal of Environmental Management**, v. 145, n. 1, p. 210-229, 2014.

GOMES, A. C. A.; MEURER, A. P. S.; PINTOR, G. M. Z. O uso da logística reversa para atender a responsabilidade socioambiental: estudo de caso em uma agroindústria canavieira no Paraná. **Revista Orbis Latina**, v. 6, n. 2, p. 111-128, 2016.

GOMES, T. C. A. ARAÚJO, J. L. P. SANTOS, T. A. MELO, P. L. A. **Reciclagem de vinhaça via compostagem em larga escala**. Aracaju: Embrapa, 2018. 18 p.

GOMES, T. C. A. **Reciclagem de vinhaça por meio do processo da compostagem**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 40 p.

GONZALO, M. J.; LUCENA, J. J.; HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L. Effect of silicon addition on soybean (*Glycine max*) and cucumber (*Cucumis sativus*) plants grown under iron deficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.70, p.455-461, 2013.

KIM, Y.-H., KHAN, A.L., WAQAS, M., LEE, I.-J. Silicon Regulates Antioxidant Activities of Crop Plants under Abiotic-Induced Oxidative Stress: A Review. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 510, 2017.

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. 2005. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. ESALQ/USP, Piracicaba, pp. 469-490.

KORNDÖRFER, G.H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 290-306.

LOPES, A. S. **Manual de Fertilidade do Solo. Traduzido e adaptado de soil Fertility manual**. Piracicaba: ANDA/POTAFÓS, 1989. 153 p.

LOPES, C. M. **Caracterização química de subprodutos da indústria sucroenergética enriquecidos com fontes minerais e orgânicas submetidos à compostagem**. 2014. Tese (Doutorado) - Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Editora Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. Potássio – Absorção, transporte e redistribuição na planta. In: YAMADA, T., ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 179-230.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 397p.

MARQUES, E. P. 2021. **Fontes alternativas de potássio para soqueira da cana-de-açúcar**. Dissertação de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, 78p.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JÚNIOR, L.C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ed. London: Academic Press, 2012. 651p.

MEENA, B. S.; RAM, B.; NAROLIA, R. S.; SINGH, P. Yield, quality, nutrient uptake and economics of spring sugarcane (*Saccharum officinarum*) as influenced by balanced fertilization in clay loam soils of Rajasthan. **Indian Journal of Agronomy**, v. 60, p. 457463, 2015.

MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A.; BECARI, G. R. G.; TEIXEIRA, L. A. J.; CANTARELLA, H.; DIAS, F. L. F. Effect of Micronutrients Soil Supplementation on Sugarcane in Different Production Environments: Cane Plant Cycle. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 2060-2070, 2016

MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; TEIXEIRA, L. A. J.; CAVALLI, E. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: micronutrientes. In: PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S. (Eds.). **Nutrição e adubação de grandes culturas**. Jaboticabal: FCAV, 2018. p.301-326.

MEURER, E. J.; TIECHER, T.; MATTIELLO, L. Potássio. *In*: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. p. 429-464.

MISHRA, A. K.; SHUKLA, S. K.; YADAV, D. V.; AWASTHI, S. K. Iron, manganese and sulphur uptake and nutrients availability in sugarcane based system in subtropical India. **Sugar Tech**, v. 16, p. 300-310, 2014.

NIKOLIC, D. B.; NESIC, S.; BOSNIC, D.; KOSTIC, L.; NIKOLIC, M.; SAMARDZIC, J. Silicon Alleviates Iron Deficiency in Barley by Enhancing Expression of Strategy II Genes and Metal Redistribution. **Frontiers in Plant Science**, v.10, p.416, 2019.

OLIVEIRA, F. M. ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D. Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. **Revista Ceres**, v. 59, n.6, p. 832-840, 2012.

OLIVEIRA, K. S.; PRADO, R. P.; GUEDES, V. H. F. Leaf Spraying of manganese with silicon addition is agronomically viable for corn and Sorghum Plants. **Journal of Soil Science Plant Nutrition**, v. 20, p. 872–880, 2020.

OLIVEIRA, R. L. L.; PRADO, R. M.; FELISBERTO, G.; CHECCHIO, M. V.; GRATÃO, P. L. Silicon Mitigates Manganese Deficiency Stress by Regulating the Physiology and Activity of Antioxidant Enzymes in Sorghum Plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, n. 2, p. 524-534, 2019.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. *In*: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. (Eds.). **Produção de Cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.133-146.

OTTO, R.; VITTI, G.C.; LUZ, P. H. C. Manejo da Adubação Potássica na Cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1137-1145, 2010.

PAVLOVIC, J.; SAMARDZIC, J.; KOSTIC, L.; LAURSEN, K.H.; NATIC, M.; TIMOTIJEVIC, G.; SCHJORRRING, J.K.; NIKOLIC, M. Silicon enhances leaf remobilization of iron in cucumber under limited iron conditions. **Annals of Botany**, v.118, p.271-280, 2016.

PEREIRA, T. C. G. (Org.). **Energias renováveis: políticas públicas e planejamento energético**. 1ed. Curitiba: COPEL/UTFPR, 2014. 303p.

PRICE, C.; MALPAS, R.; QUICENO, R.; WANG, L.; WOODS, J. Economic and GHG emissions analyses for sugarcane ethanol in Brazil: looking forward. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 571-582, 2014.

PRIMO, D. A., SILVA, K. C., RAMARI, T. O. I.; RIBEIRO, R. M.; GASPAROTTO, F. 2015. Caracterização do setor sucroalcooleiro no Brasil: produção, produtividade e subprodutos. I Caracterização do setor sucroalcooleiro no Brasil: produção, produtividade e subprodutos. In: IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar, 9. **Anais eletrônico**. Maringá: UniCesumar, 2015. p. 4-8.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

RODRIGUES, J.D.; JADOSKI, C. J.; FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; SOARES, L. H.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia da produção de cana-de-açúcar**. São Paulo: Editora Andrei, 2018. 177 p.

ROSSETO, R.; SANTIAGO, A.D. Cana-de-açúcar: correção e adubação. 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar>. Acesso em: 06 jul. 2023.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. D.; VITTI, A. C.; PRADO JÚNIOR, J. P. Q. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. Cap. 12, p. 289-312.

RUSINAMHODZI, L.; DAHLIN, S.; CORBEELS, M. Living within their means: Reallocation of farm resources can help smallholder farmers improve crop yields and soil fertility. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 216, p. 125-136, 2016.

SANTOS NETO, J. B. S.; SOARES, P. F.; VANDERLEI, R. D.; COELHO, T. M. Inovação no uso de resíduo da indústria sucroalcooleira. **Revista Gestão, Inovação e Tecnologia**, v. 4, n. 5, p.1536-1549, 2014.

SHEN, X.; XIAO, X.; DONG, Z.; CHEN, Y. Silicon effects on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of peanut under aluminum stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, p. 3063-3069, 2014.

SHEN, X.; XIAO, X.; DONG, Z.; CHEN, Y. Silicon effects on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of peanut under aluminum stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, p. 3063-3069, 2014.

SILVA, D. L. G., BATISTI, D. L. S., FERREIRA, M. J. G., MERLINI, F. B. Cana-de-açúcar: Aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade. **Society and Development**, v. 10, n. 7, 2021.

SILVA, J. L. F.; PRADO, R. M. Elucidating the action mechanisms of silicon in the mitigation of phosphorus deficiency and enhancement of its response in sorghum plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.44, p.1-11, 2021.

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; OLIVEIRA, D. C.; OLIVEIRA, T. B. A.; PEREIRA, M. G.; NOGUEIRA, C. H. C. Nutritional diagnosis of sugarcane varieties in a Yellow Oxisol during three agricultural seasons. **African Journal of Agricultural Research**, v.12, p.50-57, 2017.

SINGH, A. K.; BHARATI, R. C.; CHANDRA, N.; DIMREE, S. Integrated Nutrient Management System: Smart way to improve cane production from sugarcane ratoon. **Journal of AgriSearch**, v. 2, n. 3, p. 233-243, 2015.

SINGH, A.; GUPTA, A.K.; SRIVASTAVA, R.N.; LAL, K.; SINGH, S.B. Response of zinc and manganese to sugarcane. **Sugar Tech**, v.4, p.74-76, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development**. 6ed. Sinauer Associates: Sunderland, 2015. 761p.

TRIVELIN, P. C. O; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FERREIRA, D. A.; VITTI, A. C.; FORTES, C.; FARONI, C. E.; OLIVEIRA, E. C. A.; CANTARELLA, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 345-352, 2013.

UCHÔA, S.C.P., ALVES JÚNIOR, H.O., ALVEZ, J.M.A., MELO, V.F., FERREIRA, G.B., 2009. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a dose de potássio em ecossistema de cerrado em Roraima. **Revista Ciência Agronômica** 40, 505-513.

VIDOTTI, J. P. B. 2021. **Adubação potássica na cana-de-açúcar**. Trabalho de conclusão de curso – Agronomia. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2021.