

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

COMPARATIVE FINANCIAL EVALUATION OF PRODUCTS FOR SUGARCANE FERTILIZATION

André Barreira COGNETTI¹, Carolina FERNANDES², David Ferreira Lopes SANTOS³.

¹ Graduado em Engenharia Agrônoma, Universidade Estadual Paulista – Unesp Jaboticabal. e-mail: andrebarreiracognetti@gmail.com

² Doutora em Agronomia, Universidade Estadual Paulista – Unesp Jaboticabal. e-mail: carolina.fernandes@unesp.br

³ (Autor para Correspondência). Doutor em Administração de Empresas. Universidade Estadual Paulista – Unesp Jaboticabal, Departamento de Economia, Administração e Educação. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, SN – Vila Industrial, Jaboticabal-SP, CEP: 14.884-900. e-mail: david.lobes@unesp.br

Recebido em: 06-12-2024; Aceito em: 07-11-2025

Resumo

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 economia, se mostra cada vez mais importante. O presente estudo teve como objetivo comparar o desempenho financeiro entre o enriquecimento da compostagem com cloreto de potássio (KCl) e o uso do produto K Forte® na adubação da cana-de-açúcar. O experimento foi instalado em área agrícola pertencente a 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 K Forte® ou KCl. Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado de dois tratamentos com doze repetições cada. No Tratamento 1, foi utilizado o composto enriquecido com K Forte® na proporção de (738 kg/10 t) K-forte®/Composto, enquanto no Tratamento 2, (114 kg/10 t) 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, baseada no retorno do investimento com o risco controlado pela Simulação de Monte Carlo. Como resultado pode-se observar que a utilização do K-Forte® mesmo apresentando custo inferior, não se mostrou a melhor decisão financeira para a usina do presente estudo.

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

Abstract

The need to advance research and management practices in sugarcane to increase productivity in a sustainable manner, using strategies aligned with the economy, is increasingly important. The present study aimed to compare the financial performance between the enrichment of composting with potassium chloride (KCl) and the use of the product K-Forte® in sugarcane fertilization. The experiment was installed in an agricultural area belonging to a sugarcane-energy plant and the composting windows were formulated with filter cake, sugarcane ash and phosphate rock according to the plant's standard method and enriched with K-Forte® or KCl. A completely randomized design of two treatments with twelve replicates each was carried out. Treatment 1 used the compound enriched with K-Forte® in the proportion of (738 kg/10 t) K-forte®/Compound, while in Treatment 2 (114 kg/10 t) KCl/Compound and for application in the crop the proportions of 10 t/ha were used. The productivity parameters, technological characteristics of the broth, and a financial assessment were evaluated, based on the return on investment with the risk controlled by Monte Carlo Simulation. As a result, it can be observed that the use of K-Forte®, even though it has a lower cost, was not the best financial decision for the plant in this study.

Keywords: Potassium chloride. Composting. Micronutrients. Sustainability.

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 setor sucroalcooleiro é de 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 o maior produtor mundial de cana-de-açúcar de forma que na safra 2022/23 a produção nacional foi de 610,1 milhões de toneladas, apresentando um aumento de 5,4% em relação à 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 que está estagnada 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 e, conseqüentemente maior produtividade, seja em toneladas de cana por hectare (TCH) ou na quantidade de açúcar total recuperável (ATR) (Oliveira et al. 2012).

É conhecido que os solos tropicais do Brasil apresentam baixos teores de potássio (K) disponíveis, sendo a cana-de-açúcar responsiva à aplicação desse nutriente (Taiz et al., 2015; Oliveira et al. 2012; Benites et al., 2010). A maioria das regiões produtoras utiliza a adubação com cloreto de potássio (KCl), especialmente nas áreas mais distantes das usinas/destilarias, onde a fertirrigação não é economicamente viável (Reetz, 2017).

O potássio 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 et al., 2018).

A nutrição com macro e micronutrientes na cana-de-açúcar é pouco explorada. 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). No entanto, com a mudança dos cultivos para regiões com baixa fertilidade natural e áreas exauridas de macro e micronutrientes, a importância desses nutrientes tem aumentado (Mellis et al., 2016). Dentre esses micronutrientes pode-se destacar o silício (Si) e o manganês (Mn) e, adicionalmente, o macronutriente secundário magnésio (Mg).

A necessidade de ampliar pesquisas e desenvolver práticas de manejo nutricional na cultura da cana-de-açúcar com vistas ao aumento da sua produtividade também requer, em paralelo, que esse esforço ocorra em consonância com processos mais sustentáveis (Machado et al., 2014; Primo et al., 2015)

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, torna-se um desafio às áreas de pesquisa e desenvolvimento de empresas e instituições de pesquisa (Santos Neto et al., 2014; Silva et al., 2021).

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 et al., 2011).

Os resíduos vegetais e animais podem ser utilizados como matérias-primas para a produção de fertilizantes orgânicos e se mostram como uma alternativa ambiental e econômica para a reciclagem de nutrientes. Esses subprodutos podem ser usados em sua forma natural ou serem submetidos a tratamentos, como a compostagem, para transformá-los em fertilizantes orgânicos simples ou organominerais, que podem ser enriquecidos com fontes minerais (Gomes et al., 2016; Lopes, 2014).

Dentre esses resíduos, há o bagaço de cana-de-açúcar e a 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 mostrando-se adequados para o uso agrícola (Gomes et al., 2018; Gomes, 2012). Outro resíduo com potencial são as cinzas do bagaço de cana (CBC), oriundas da queima do bagaço da cana e utilizadas 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 et al., 2017).

O K Forte® é um produto substituto para o KCl, que apresenta em sua composição outros nutrientes essenciais como silício, magnésio e manganês. Este produto foi desenvolvido pela empresa Verde Fertilizantes Ltda (A Verde Agritech), com registro concedido Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil em 28 de agosto de 2020. Segundo a empresa, o produto pretende sanar alguns problemas enfrentados pelos produtores ao utilizarem KCl como a salinidade, presença de cloro e a lixiviação (VERDE, 202-a). Dentre os benefícios do produto estão a liberação lenta de nutrientes com efeitos benéficos prolongados no solo, a não lixivabilidade e, devido à ausência de cloro na composição, a evitação

de problemas como a diminuição da capacidade do solo de reter água e dificuldades na absorção de nutrientes pelas raízes das plantas (Veloso, 2020).

Almeida Júnior et al. (2022a) e Almeida Júnior et al. (2022b) avaliaram o uso do remineralizador K Forte® na cultura da soja e do fosfato natural reativo + K Forte®, respectivamente. Em ambos os estudos, o produto mostrou eficiência, mantendo as características agrônômicas esperadas e melhorando a produtividade em comparação com a média nacional.

Embora estudos empíricos tenham demonstrado a eficiência do K Forte® na cultura da soja e existam relatos comerciais do seu uso e benefícios na cultura do café (VERDE, 202-b), laranja (VERDE, 202-c) e cana-de-açúcar (VERDE, 202-c), há necessidade de que outros estudos explorem os resultados deste produto em outros sistemas de produção e com procedimentos metodológicos que possam ser verificados e replicados.

O objetivo deste trabalho foi de avaliar o desempenho financeiro, comparativamente, entre o enriquecimento da compostagem com cloreto de potássio na adubação para o plantio da cana-de-açúcar frente o uso do K Forte®.

A hipótese é que a utilização da compostagem enriquecida com o K Forte® apresenta um melhor desempenho financeiro quando comparada ao uso do cloreto de potássio utilizado isoladamente.

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 ela utiliza a compostagem para adubação e conduziu experimento recente com o produto K

Forte®. Além disso, trata-se de um grupo sucroenergético com experiência consolidada, 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.

Os dados foram coletados a partir dos registros da usina referente ao experimento, bem como, entrevistas semiestruturadas com o profissional que atua na supervisão das operações de compostagem e responsável pelo experimento.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a CTC9001, tendo como data do plantio abril de 2021 e colhida entre 27/04/2022 e 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. Para o contexto da usina, as informações foram: 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 o K Forte® 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 K Forte® na proporção de (738kg/10t) K-forte®/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 de K-forte® assim como de KCl (Figura 1 – C).

Como método de avaliação, foram avaliados 120 metros lineares 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:

- i. Quantidade de canas: realizou-se a contagem do número de canas presentes em cada trecho de 10 metros;
- ii. Quantidade de canas por metro linear: calculou-se a média do número de canas por metro linear;
- iii. Peso de 10 canas: realizou-se a pesagem de um conjunto de 10 canas selecionadas aleatoriamente em cada trecho;
- iv. Peso de uma cana: realizou-se a pesagem do peso individual de uma cana selecionada aleatoriamente em cada trecho;
- v. Peso médio: calculou-se o peso médio das canas em cada trecho; e
- vi. TCH (Toneladas de cana por hectare): estimou-se a produtividade de cana por ha com base nos dados coletados.

Através dos parâmetros avaliados foram obtidas informações sobre a quantidade, o peso e a 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 $< 0,05$.

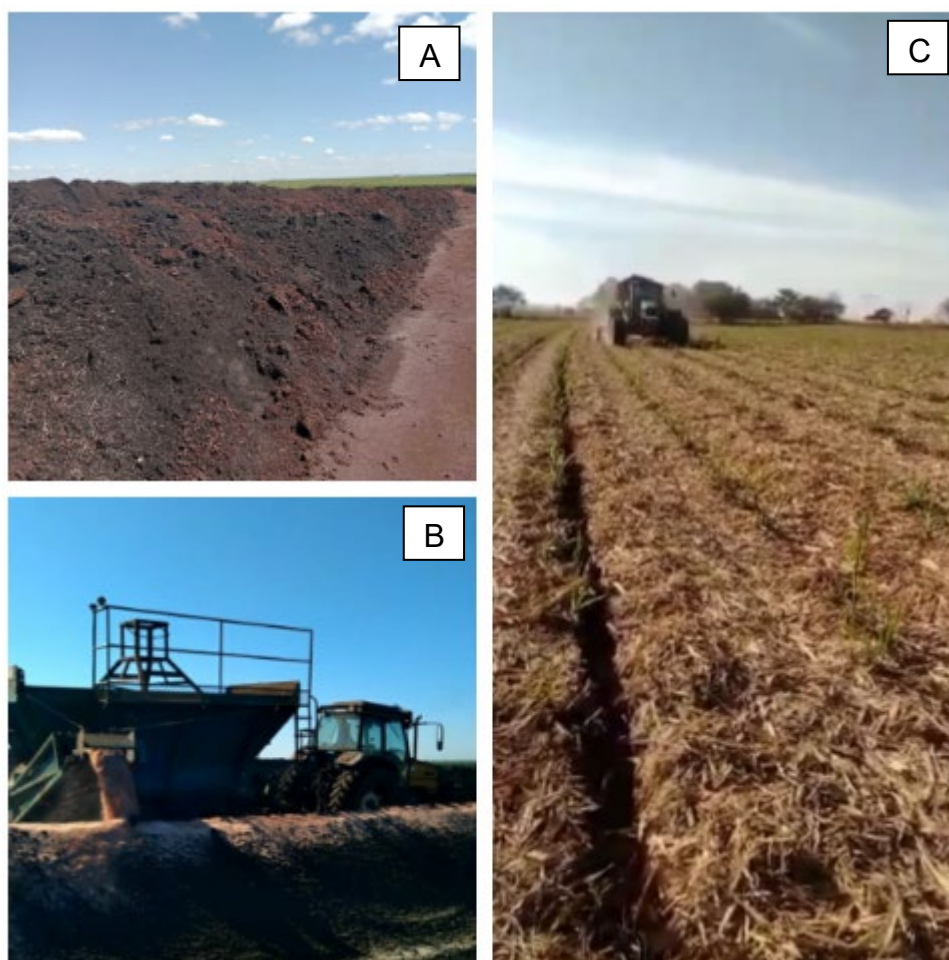


Figura 1. A - Leiras de compostagem formuladas a partir de torta de filtro, cinzas de cana-de-açúcar e rocha fosfatada. B – Enriquecimento da compostagem com KCl. C – Aplicação do composto pronto na cultura. Fonte: Arquivo pessoal (2023).

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.

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.

Resultados e Discussão

A produtividade expressa em TCH apresentou valores médios de 99,13 t ha⁻¹ utilizando o K-forte®, enquanto o composto apresentou valores de 117,84 t ha⁻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 t ha⁻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, 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 agrônômica 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)
K-forte®	12,32	83,92	12,93	130,42
Composto	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 K-forte® quanto o tratamento com o composto 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 K-forte® 83,92% quanto o composto 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 K-forte® 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 K-forte®, foram de 130,42 kg açúcar TC⁻¹, enquanto no tratamento utilizando o composto 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 K-forte® 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 K-forte® e o composto, conforme demonstrado na análise de comparação de médias e os resultados da estatística na Tabela 2.

Tabela 2. Análise comparativa de médias de ATR e os resultados estatísticos.

	<i>K-forte</i>	<i>Cloreto</i>
Média	12.913,63	14.333,61
Variância	5.723.831,54	7.132.524,32
Observações	12	12
Hipótese da diferença de média	0	
gl	22	
Stat t	-1,37187532	
P(T<=t) uni-caudal	0,091965619	
t crítico uni-caudal	1,717144374	
P(T<=t) bi-caudal	0,183931238	
t crítico bi-caudal	2,073873068	

Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

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.

AVALIAÇÃO FINANCEIRA

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

Descrição	R\$/tonelada	Quantidade (t/ha)	Composto Cloreto (R\$/ha)	Composto K-Forte® (R\$/ha)
Rocha	1.085,00	0,24	260,40	260,40
Enzimas	-	-	108,50	108,50
Cloreto de potássio	4.800,00	0,114	547,20	-
K-forte®	367,00	0,738	-	270,80
Transporte	7,50	10	75,00	75,00
Operação/pátio	30,00	10	300,00	300,00
Aplicação	-	-	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 K-forte® apresentou um custo inferior de R\$ 1.334,70 em comparação ao composto com KCl, que teve um custo de R\$ 1.611,10. 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 também os impactos de cada decisão de manejo sobre a rentabilidade e a 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 (Tabela 2) 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 coeficiente de variação de 0,227964.

Como os resultados de produtividade dos dois produtos apresentaram variância distinta (Tabela 2) 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 5. Valores médios de receita, custo variável (CV), margem de contribuição (MC), imposto de renda (IR), NOPAT e ROI dos tratamentos.

	Receita/ha (R\$)	CV/ha (R\$)	MC/ha (R\$)	IR/há (R\$)	NOPAT/ha (R\$)	ROI (%)
K-Forte®	11.994	1.335	10.660	7.035	3.625	0,06
Cloreto	13.325	1.611	11.714	3.982	7.731	0,12

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% - K-Forte® 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 (Tabela 2). O efeito mais amplo do composto com cloreto na geração de NOPAT se apresenta no resultado médio superior ao K-Forte® (Figuras 1 e 2).

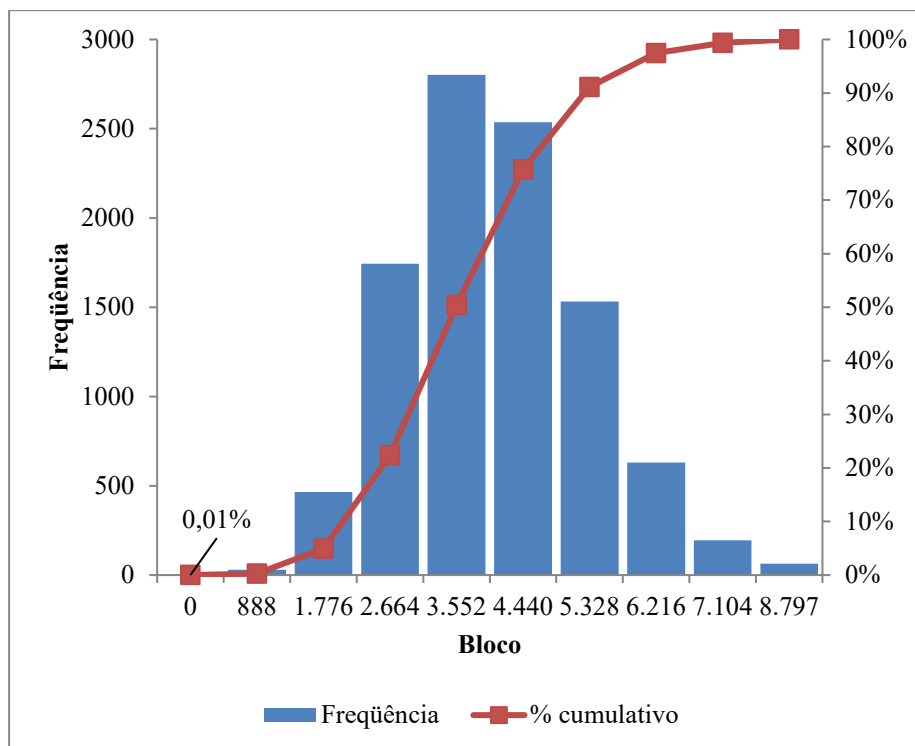


Figura 2. Valores de intervalo de NOPAT no tratamento utilizando K-Forte®.
 Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

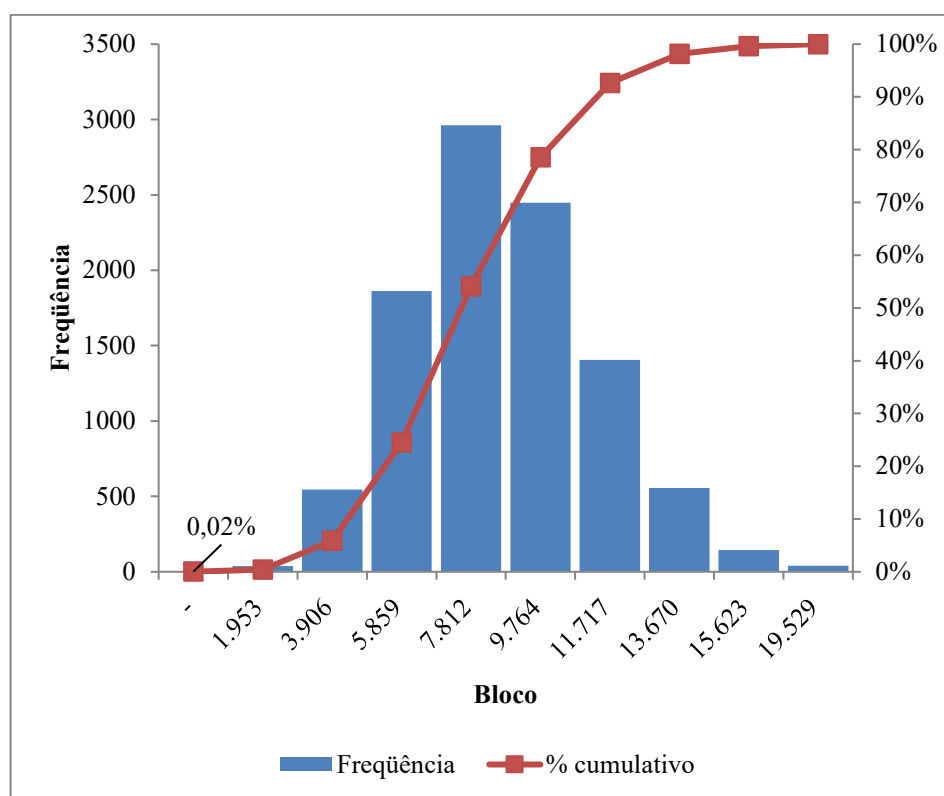


Figura 3. Valores de intervalo de NOPAT no tratamento utilizando o composto com cloreto.
 Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

Ao analisar o impacto das técnicas de manejo somente em aspectos relacionados ao desempenho agrônomo limita-se o alcance junto aos 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 possibilidades 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), compararam-se estatisticamente os resultados para as duas técnicas de manejo cujos resultados estão na Tabela 6.

Tabela 6. Análise comparativa dos valores de ROI dos tratamentos.

	K-Forte®	Cloreto
Média	0,06%	0,12%
Variância	0,00000%	0,00002%
Observações	10.000	10.000
Hipótese da diferença de média	-	
GI	14.157,00	
Stat t	- 142,40	
P(T<=t) uni-caudal	0,00	
t crítico uni-caudal	1,64	
P(T<=t) bi-caudal	0,00	
t crítico bi-caudal	1,96	

Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa

Embora a produtividade ATR/TCH não tenha apresentado diferenças estatisticamente significativas no nível de confiabilidade de 95%, os resultados financeiros dos tratamentos foram estatisticamente diferentes, refletindo os impactos distintos que cada tratamento tem nos custos, receitas e investimentos. Sabendo que o investimento é o mesmo para ambos os tratamentos e que o K-Forte® possui um custo/ha inferior ao cloreto de potássio, o resultado do ROI deve-se a maior amplitude do lucro operacional líquido (NOPAT) frente ao K-Forte®. 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 K-Forte® e composto com cloreto, é fundamental reconhecer que a análise econômica traz dados relevantes através do ROI e NOPAT, se mostrando essenciais para decisões a serem tomadas. 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 do composto tem um impacto significativo na lucratividade da usina.

A maior variação no NOPAT do composto com KCl indica uma maior amplitude do lucro operacional líquido em relação ao valor médio, sendo este superior ao tratamento com o K-Forte®, conferindo assim, maior potencial de resultado financeiro ao uso do composto com KCl. 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.

Conclusões

A utilização do K-Forte® mesmo apresentando custo inferior, não foi financeiramente superior na adubação da cana-de-açúcar, comparado ao uso do cloreto. 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 K-forte® 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.

Agradecimento

Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico – CNPq [308717/2022-8]

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. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000003>

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, 2022a. <https://doi.org/10.53660/CONJ-1290-X58>

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, 2022b. <https://doi.org/10.53660/CONJ-1282-X53>

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. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.136>

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*, 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.

BENITES, V.M., Carvalho, M.C.S., Resende, A.V., Polidoro, J.C. 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, 2010, pp. 53-65.

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.

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.

ELSER, J.; Bennett, E. Phosphorus cycle: a broken biogeochemical cycle. *Nature*, v. 478, p. 29-31, 2011. <https://doi.org/10.1038/478029a>

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. <https://doi.org/10.3738/1982.2278-334>

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

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.

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.

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.

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

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

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
<https://doi.org/10.2134/agronj2015.0563>

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. <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0269-y>

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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00416>

OLIVEIRA, F. M. Aspiázú, 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. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000600014>

PRIMO, D. A., Silva, K. C., Ramari, T. O. I.; Ribeiro, R. M.; Gasparotto, F. 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.

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.

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. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.033>

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. <https://doi.org/10.7198/S2237-0722201400050019>

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. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.14163>

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. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1918155>

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. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11865>

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.

TAIZ, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Plant Physiology and Development*. 6ed. Sinauer Associates: Sunderland, 2015. 761p.

UCHÔA, S.C.P., Alves Júnior, H.O., Alvez, J.M.A., Melo, V.F., Ferreira, G.B., Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a dose de potássio em ecossistema de cerrado em Roraima. *Revista Ciência Agronômica* 40, 505-513, 2009.

VELOSO, C. Estudo aponta vantagens do uso do K Forte® na adubação potássica de sistema. 2020. Disponível em: <<https://blog.verde.ag/resultados-de-produtos/estudo-aponta-vantagens-do-uso-do-k-forte-na-adubacao-potassica-de-sistema/>>. Acesso em: 16 de mai. 2023.

VERDE. 202-a. O fertilizante K Forte® é registrado junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), mas o que isso significa e qual a importância disso? Disponível em: <https://blog.verde.ag/produtos-da-verde/k-forte-e-registrado-no-ministerio-da-agricultura/> Acesso em 18 maio 2023.

VERDE. 202-b. Como o fertilizante K Forte® vem transformando há quatro anos as lavouras de café de um consultor agrícola de Cássia - MG. Disponível em: <https://blog.verde.ag/resultados-de-produtos/resultados-k-forte-cafe/>. Acesso em: 01 de junho 2023.

VERDE. 202-c. Agricultor conta os benefícios de três anos de uso do K Forte® na cultura da laranja. Disponível em: <https://blog.verde.ag/resultados-de-produtos/agricultor-counta-os-beneficios-de-tres-anos-de-uso-do-k-forte-na-cultura-da-laranja/>. Acesso em 01 de junho 2023.

VERDE. 202-d. Produtor agrícola de Jaboticabal fala sobre os resultados do K Forte® nas lavouras de cana-de-açúcar e soja. Disponível em: <https://blog.verde.ag/resultados-de->

produtos/produtor-agricola-de-jaboticabal-fala-sobre-os-resultados-do-k-forte-nas-lavouras-de-cana-de-acucar-e-soja/. Acesso em 01 de junho 2023.