

Uso de torta de filtro na adubação de cana-de-açúcar

Ricardo Rodrigo dos Reis

Uso de torta de filtro na adubação de cana-de-açúcar

Ricardo Rodrigo dos Reis

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz

Trabalho apresentado à Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias
– UNESP, Campus de Jaboticabal,
para graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

dos Reis, Ricardo Rodrigo
D723u Uso de torta de filtro na adubação de cana-de-açúcar :
 . / Ricardo Rodrigo dos Reis. -- Jaboticabal, 2024
 36 p. : tabs.

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

Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

1. Adubação. 2. Cana-de-açúcar. 3. Cana-de-açúcar
Derivados. 4. Adubos e fertilizantes orgânicos. I. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DEPARTAMENTO: Ciência do Solo

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO
TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: Adubação de cana-de-açúcar com torta de filtro

ACADÊMICO: Ricardo Rodrigo dos Reis

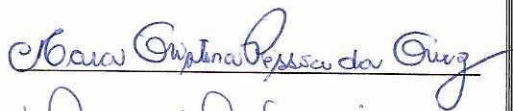
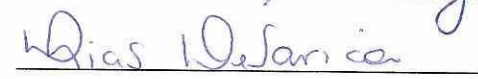
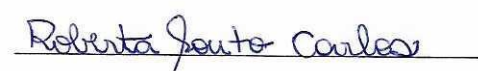
CURSO: Engenharia Agrônômica

ORIENTADOR (ES): Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

COORIENTADOR (ES):

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

Presidente	Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz	
Membro	Dra. Denise de Lima Dias Delarica	
Membro	Dra. Roberta Souto Carlos	

Jaboticabal 20 / 11 / 2024

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 26 / 11 / 2024



Chefe do Departamento

Uso de torta de filtro na adubação de cana-de-açúcar

Resumo: A torta de filtro, subproduto do processo de clarificação do caldo da cana, é rica em matéria orgânica e nutrientes, e tem sido utilizada como fertilizante em diversas culturas, mais frequentemente na cana-de-açúcar. Esta revisão de literatura tem como objetivo avaliar o efeito de doses e modos de aplicação da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar, considerando o impacto na fertilidade do solo e na absorção de nutrientes pela planta. A aplicação de torta de filtro, de modo geral, aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo, especialmente de nitrogênio, fósforo e cálcio, resultando em maior crescimento e produtividade da cana-de-açúcar. Os resultados das pesquisas usadas nesta revisão demonstraram que a aplicação correta d torta de filtro, seja em sulco ou incorporada ao solo, isolada ou em combinação com adubos fosfatados solúveis, pode melhorar significativamente a produtividade da cana e a qualidade tecnológica do caldo. Em relação ao modo de aplicação, ficou evidenciado que a forma localizada, no sulco, é a mais indicada, pela maior proximidade com a raiz da planta, o que facilita a absorção de nutrientes. Portanto, a torta de filtro representa uma alternativa sustentável e eficiente para o manejo nutricional na cultura da cana-de-açúcar, por ser uma ótima alternativa na ciclagem de nutrientes, principalmente fósforo, desde que sejam adotadas práticas de aplicação adequadas e sejam monitorados possíveis impactos ambientais, podendo assim atender aos princípios da sustentabilidade da produção agrícola e, conseqüentemente, proporcionar melhor retorno financeiro.

Palavras Chaves: Adubação orgânica, fósforo, nitrogênio, qualidade tecnológica

Use of filter cake in sugarcane fertilization

Abstract: Filter cake, a by-product of the sugarcane juice clarification process, is rich in organic matter and nutrients, and has been used as fertilizer in several crops, most frequently in sugarcane. This literature review aims to evaluate the effect of doses and modes of application of filter cake on sugarcane productivity, considering the impact on soil fertility and nutrient absorption by the plant. The application of filter cake, in general, increases the availability of nutrients in the soil, especially nitrogen, phosphorus and calcium, resulting in greater growth and productivity of sugarcane. The results of the research used in this review demonstrated that the correct application of filter cake, whether in furrows or incorporated into the soil, alone or in combination with soluble phosphate fertilizers, can significantly improve sugarcane productivity and the technological quality of the juice. Regarding the method of application, it was evident that the localized form, in the furrow, is the most suitable, due to its greater proximity to the plant root, which facilitates nutrient absorption. Therefore, filter cake represents a sustainable and efficient alternative for nutritional management in sugarcane cultivation, as it is a great alternative in nutrient cycling, especially phosphorus, as long as appropriate application practices are adopted and possible environmental impacts are monitored, thus being able to meet the principles of sustainability of agricultural production and, consequently, provide better financial return.

Keywords: Organic fertilizer, phosphorus, nitrogen, technological quality

SUMÁRIO

	pág
Resumo	ii
Abstract	iii
1. Introdução	1
2. A cultura da cana-de-açúcar	3
2.1 Cana-de-açúcar no Brasil: importância, exportação, produtividade e qualidade	3
2.1.1 Importância	3
2.1.2 Produtividade e exportação	4
2.1.3 Qualidade	5
3 Exigências nutricionais da cana-de-açúcar	9
3.1 Macronutrientes	10
3.2 Micronutrientes	12
4. Torta de filtro	14
4.1 Composição	14
4.2 Adubação com torta de filtro	16
5 Modos de aplicação da torta de filtro no canavial	18
6 Produtividade da cana-de-açúcar em resposta à adubação com torta de filtro	22
7 Qualidade da cana-de-açúcar em resposta à adubação com torta de filtro	26
8 Conclusão	29
9. Referências bibliográficas	31

1 INTRODUÇÃO

A torta de filtro é uma mistura do bagaço da cana moído com o lodo de decantação resultante do processo de tratamento e clarificação do caldo.. Este insumo agrícola tem relevância como fertilizante rico em compostos orgânicos, fósforo (P), nitrogênio (N) e cálcio (Ca). Além disso, é uma alternativa sustentável para aumentar a eficiência agrícola, reduzindo contaminação e custos de adubação. Seu uso gera demanda por estudos sobre sua eficiência, seja na melhoria da fertilidade do solo, seja na nutrição da planta. Os resultados obtidos com a aplicação da torta depende de muitos fatores, mas do ponto de vista do manejo, as doses e o método de aplicação são particularmente importantes para definir qual a melhor estratégia para este insumo nas áreas de produção.

A torta é constituída principalmente por bagaço de cana fresco, com composição média aproximada de 11% de lignina, 34% de hemicelulose e 38%

de celulose. Na composição da torta, além do bagaço, existem também coloides orgânicos precipitados do caldo. A cada tonelada de cana moída são produzidos cerca de 40 kg de torta de filtro, em base úmida (Korndörfer, 2003).

A relação C/N aproximada da torta é 26, porque além do bagaço, que tem relação C/N alta, entram na composição da torta compostos nitrogenados floculados do caldo (Firme, 2005).

Nas usinas, de modo geral, a torta de filtro é compostada antes de ser aplicada nas áreas de produção, visando diminuição do teor de água e da relação C/N. O uso da torta tem apresentado resultados positivos, reduzindo as doses de adubo fosfatado industrial (Almeida Jr. et al., 2011).

As doses recomendadas variam em função das concentrações de nutrientes presentes na torta, dos teores de nutrientes no solo, das necessidades da cultura e do modo de aplicação. Nos casos de aplicações em área total em pré-plantio utilizam-se de 80 a 100 t ha⁻¹ e, em sulcos de plantio, recomendam-se entre 20 e 35 t ha⁻¹.

Com essa revisão de literatura busca-se mostrar que a torta de filtro pode reduzir significativamente os custos com fertilizantes industriais e também pode causar menos impactos ambientais por se tratar de um insumo orgânico, seja para o solo, a água, a fauna ou a flora.

Com isso, o objetivo com o presente trabalho é levantar dados dos efeitos da aplicação da torta de filtro na fertilidade do solo, na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

2. A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

2.1 Cana-de-açúcar no Brasil: importância, exportação, produtividade e qualidade

2.1.1 Importância

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais relevantes para a economia do Brasil. O País é responsável por cerca de 40% da produção mundial de cana, cultivando aproximadamente 8,3 milhões de hectares na safra 2023/2024 (CONAB, 2024). Na safra 2023/2024, a produção de cana-de-açúcar no Brasil foi estimada em cerca de 713 milhões de toneladas (CONAB, 2024).

Na Tabela 1, ficam ilustradas a área de produção nacional, a produtividade (em kg ha⁻¹) e a produção (em toneladas) nas safras 2022/23 e 2023/24 em cada região e estado brasileiro, além de mostrar o total nacional.

 Brasil – Safras 2022/23 e 2023/24 <i>Estimativa da área, produtividade e produção</i>									
REGIÃO/UF	ÁREA (Em mil ha)			PRODUTIVIDADE (Em kg/ha)			PRODUÇÃO (Em mil t)		
	Safra 2022/23	Safra 2023/24	VAR. %	Safra 2022/23	Safra 2023/24	VAR. %	Safra 2022/23	Safra 2023/24	VAR. %
NORTE	47,3	48,9	3,5	80.862	80.608	(0,3)	3.823,0	3.943,0	3,1
AM	3,8	3,9	0,3	56.653	78.736	39,0	218,0	304,0	39,4
PA	15,5	16,9	8,7	79.131	75.700	(4,3)	1.227,0	1.276,0	4,0
TO	27,9	28,2	1,0	85.160	83.797	(1,6)	2.378,0	2.363,0	(0,6)
NORDESTE	875,5	883,0	0,9	64.950	63.959	(1,5)	56.866,5	56.477,8	(0,7)
MA	28,3	29,3	3,5	76.231	70.909	(7,0)	2.158,1	2.078,2	(3,7)
PI	21,2	20,3	(4,1)	68.886	64.072	(7,0)	1.459,0	1.302,0	(10,8)
RN	66,1	66,7	0,9	55.370	52.756	(4,7)	3.662,3	3.519,6	(3,9)
PB	123,0	125,6	2,1	61.546	60.539	(1,6)	7.569,9	7.605,7	0,5
PE	238,8	233,7	(2,1)	61.583	59.099	(4,0)	14.703,2	13.810,2	(6,1)
AL	301,5	298,7	(0,9)	67.266	65.878	(2,1)	20.281,1	19.675,8	(3,0)
SE	39,6	43,1	8,6	59.929	58.901	(1,7)	2.375,2	2.535,9	6,8
BA	57,0	65,7	15,2	81.695	90.637	10,9	4.657,7	5.950,5	27,8
CENTRO-OESTE	1.767,5	1.778,8	0,6	74.347	81.537	9,7	131.406,8	145.035,7	10,4
MT	174,7	194,1	11,1	90.883	90.989	0,1	15.876,6	17.663,3	11,3
MS	636,0	629,9	(1,0)	70.174	80.609	14,9	44.627,1	50.771,7	13,8
GO	956,8	954,8	(0,2)	74.102	80.227	8,3	70.903,1	76.600,6	8,0
SUDESTE	5.127,1	5.098,8	(0,6)	75.629	91.987	21,6	387.755,3	469.026,8	21,0
MG	896,4	929,2	3,7	78.686	87.579	11,3	70.537,9	81.376,5	15,4
ES	47,5	48,7	2,5	58.082	57.796	(0,5)	2.759,7	2.815,6	2,0
RJ	35,5	29,7	(16,3)	44.442	47.968	7,9	1.578,2	1.425,3	(9,7)
SP	4.147,6	4.091,2	(1,4)	75.436	93.715	24,2	312.879,5	383.409,5	22,5
SUL	475,4	524,4	10,3	65.115	73.860	13,4	30.953,1	38.730,9	25,1
PR	475,4	524,4	10,3	65.115	73.860	13,4	30.953,1	38.730,9	25,1
NORTE/NORDESTE	922,8	931,9	1,0	65.765	64.833	(1,4)	60.689,5	60.420,8	(0,4)
CENTRO-SUL	7.369,9	7.402,0	0,4	74.643	88.192	18,2	550.115,3	652.793,3	18,7
BRASIL	8.292,7	8.333,9	0,5	73.655	85.580	16,2	610.804,8	713.214,1	16,8

O setor sucroenergético não gera apenas milhares de empregos diretos e indiretos, mas também contribui significativamente para a balança comercial brasileira, com exportações de açúcar e etanol que movimentam bilhões de dólares.

A cultura da cana foi importante para o Brasil desde o início da colonização, mas a descoberta do potencial do etanol como biocombustível, a partir da década de 1970, impulsionou ainda mais a cultura no País. O Proálcool, programa criado pelo governo brasileiro para estimular a produção de etanol a partir da cana, consolidou o Brasil como um dos líderes mundiais na produção de biocombustíveis, integrando a cana-de-açúcar na matriz energética do país. Lançado em 1975, o Proálcool foi uma resposta à crise do petróleo e à

necessidade de diversificar as fontes de energia, promovendo a substituição da gasolina pelo etanol.

2.1.2 Produtividade e exportação

A exportação de cana-de-açúcar do Brasil nos anos de 2022 e 2023 atingiu níveis recordes, impulsionada por aumentos significativos na produção. Na safra 2022/2023, o Brasil produziu cerca de 610 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, aumento de 5,4% em relação à safra anterior. Esse crescimento resultou na exportação de 29,4 milhões de toneladas de açúcar, representando aumento de 13% em comparação com o ciclo anterior. Essa expansão foi favorecida pela menor participação de competidores internacionais, como a Índia, cuja safra foi prejudicada por condições climáticas adversas.

Na safra 2023/2024 a produção de cana foi ainda maior, atingindo o recorde de 713,2 milhões de toneladas. Desse total, 45,68 milhões de toneladas foram destinadas à produção de açúcar, o que resultou em exportações de mais de 35 milhões de toneladas, o que significa aumento de 26,8% em relação ao ciclo anterior. Desse modo, o Brasil consolidou sua posição como líder mundial no mercado de açúcar, respondendo por cerca de 50% do comércio global (CONAB,2024).

Os principais destinos das exportações brasileiras de açúcar incluem países da Ásia e da Europa, com destaque para a China, que é um dos maiores importadores.

2.1.3. Qualidade

A qualidade da cana-de-açúcar é essencial para determinar o seu valor econômico, o rendimento industrial e sua eficiência na produção de açúcar e etanol. Esse aspecto é influenciado por diversos fatores como condições agronômicas, práticas de manejo e processamento industrial. Segundo Galdiano et al. (2008), o controle de qualidade da cana-de-açúcar se baseia em diversas características físico-químicas e tecnológicas, que determinam seu valor econômico e a eficiência no processo industrial de fabricação de açúcar e etanol. A adoção de práticas de manejo adequadas, desde a plantação até a colheita, é essencial para garantir a produção de cana-de-açúcar de alta qualidade, atendendo às exigências das usinas e do mercado global. O teor de sacarose, a pureza, o teor de fibra, a acidez e a presença de impurezas são alguns dos fatores mais importantes.

a) Teor de sacarose (Pol ou BRIX)

O teor de sacarose é um dos principais atributos de qualidade da cana-de-açúcar, pois reflete a quantidade de açúcar que pode ser extraída durante o processamento industrial. Esse teor é medido em termos de Pol ou BRIX, que indica a porcentagem de sólidos solúveis presentes no caldo da cana. O valor de BRIX refere-se ao conteúdo total de sólidos solúveis, enquanto o valor de Pol está especificamente relacionado ao teor de sacarose. O valor ideal de BRIX varia entre 18% a 23%, dependendo da variedade da cana e das condições de cultivo (Galdino et al. 2008).

De acordo com Galdino et al. (2008), quanto maior o teor de sacarose, maior o rendimento industrial, o que justifica a importância do monitoramento

rigoroso dessa característica ao longo da safra. A maturação da cana-de-açúcar, as condições climáticas e o manejo da colheita são fatores que influenciam diretamente esses níveis.

b) Fibra

A quantidade de fibra na cana-de-açúcar também é um fator crucial para a qualidade industrial, uma vez que seu excesso dificulta o processamento mecânico da cana. A fibra é composta por celulose, hemicelulose e lignina, que formam a estrutura da planta. O teor de fibra entre 10% a 15% é considerado adequado, pois fornece suporte estrutural sem comprometer o rendimento do caldo.

A fibra em excesso reduz a quantidade de açúcar extraível e aumenta o desgaste em equipamentos industriais. Além disso, uma alta concentração de fibra pode dificultar a filtração do caldo, impactando a eficiência do processo de produção de açúcar e etanol (Parazzi et al., 2018).

c) Pureza

A pureza do caldo da cana é outra característica de grande relevância para a avaliação da sua qualidade. A pureza é calculada com base na proporção de sacarose presente em relação ao total de sólidos solúveis. Se elevada, indica que grande parte dos sólidos solúveis é composta por sacarose. Valores acima de 85% são considerados ideais para o processamento industrial.

A pureza é influenciada pelo manejo do solo, pela aplicação de fertilizantes e pela colheita, além de fatores climáticos que podem afetar a maturação da planta.

d) Acidez

A acidez do caldo é outra característica importante, que afeta a qualidade do processamento industrial. A acidez alta, geralmente causada pela fermentação do caldo da cana ou por contaminações durante a colheita, pode interferir no rendimento do processo de cristalização do açúcar. O controle da acidez é feito através da medição do pH do caldo. O pH adequado varia entre 5,5 e 6,0, o que permite um processamento industrial mais eficiente e com menores perdas de sacarose (Parazzi et al., 2018).

e) Teor de impurezas vegetais e minerais

O aumento do teor de impurezas na cana-de-açúcar, incluindo folhas, solo, areia e outros resíduos, diminui o rendimento industrial. Esses materiais são incorporados durante o processo de colheita, especialmente no caso da colheita mecanizada sem queima, prática comum em várias regiões do Brasil.

As impurezas aumentam o desgaste dos equipamentos, elevam o consumo de energia e reduzem a eficiência do processo de remoção do caldo. Segundo Galdino et al. (2008), a presença de impurezas acima de 5% pode comprometer a qualidade do produto final, aumentando os custos de processamento e resultando em perdas de açúcar.

f) ATR (Açúcares totais recuperáveis)

A ATR é amplamente utilizada no Brasil como indicador de qualidade da cana-de-açúcar e se refere à quantidade de açúcares que podem ser efetivamente recuperados durante o processamento industrial. O valor de ATR leva em consideração o teor de sacarose, a pureza e as perdas no processo industrial. Valores de ATR elevados significam que a matéria-prima apresenta

alta concentração de açúcares disponíveis para produção, sendo um indicador crucial para definir o preço pago ao produtor pelas usinas. Parazzi et al. (2018) destacaram que, em condições ideais de cultivo, o ATR pode variar de 135 kg a 150 kg por tonelada de cana.

3 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR

Para que a cana-de-açúcar atinja altos níveis de produtividade e qualidade, é essencial que suas exigências nutricionais sejam plenamente atendidas. A nutrição adequada da cana-de-açúcar envolve um equilíbrio entre o fornecimento de macronutrientes e micronutrientes, fundamentais para o desenvolvimento, crescimento e capacidade produtiva da planta.

A demanda de macronutrientes pela cana-de-açúcar, em kg por tonelada de cana produzida, para a cana-planta e para as soqueiras, é, respectivamente: N, 0,92 e 0,73; P_2O_5 , 0,23 e 0,30; K_2O , 0,77 e 0,85; CaO, 0,83 e 0,49; MgO, 0,56 e 0,51; S, 0,84 e 0,69 (Castro, 2016). A seguir são apresentadas as principais funções metabólicas dos nutrientes na cultura da cana-de-açúcar e as doses que devem ser recomendadas na adubação da cultura, usando como referência o Estado de São Paulo, que concentra a maior área cultivada, a maior produção,

e também o maior volume de pesquisas em adubação com a cultura.

3.1 Macronutrientes

a) Nitrogênio

O N é responsável por promover o crescimento vegetativo, a formação de folhas e a produção de biomassa. Esse elemento é fundamental para a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e clorofila (Castro, 2016). O excesso de nitrogênio pode atrasar a maturação da cana, diminuindo o teor de sacarose, o que impacta a qualidade do produto. A dose recomendada para a adubação mineral de plantio é de 30 kg ha⁻¹ de N no sulco e de 30 a 60 kg ha⁻¹ em cobertura. Já para a cana-soca a doses recomendadas variam de 80 a 160 kg ha⁻¹ dependendo da produtividade esperada (Quaggio et al., 2022).

b) Fósforo

O P é fundamental para o desenvolvimento das raízes e para o armazenamento e transferência de energia dentro da planta, especialmente nos processos de fotossíntese e respiração. O fósforo contribui para a formação de ATP, que é necessária para a divisão celular e o desenvolvimento de tecidos novos (Castro, 2016). A deficiência de P pode causar desenvolvimento inadequado das raízes e reduzir a capacidade de absorção de água e nutrientes. As doses recomendadas para a adubação mineral em plantio variam de 40 a 200 kg ha⁻¹, dependendo do teor no solo e da produtividade esperada. Para a cana-soca a doses recomendadas variam de 0 a 60 kg ha⁻¹ dependendo do teor no solo e da produtividade esperada (Quaggio et al., 2022).

c) Potássio

O K é o segundo nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar, sendo fundamental para a regulação osmótica, o equilíbrio hídrico, a fotossíntese e o transporte de açúcares. Ele também fortalece as paredes celulares, aumentando a resistência da planta a doenças e estresses ambientais (Castro, 2016). O K está diretamente relacionado à quantidade de sacarose que a planta consegue acumular nos colmos. As doses recomendadas para a adubação mineral de plantio variam de 60 a 200 kg ha⁻¹, dependendo da análise de solo e da produtividade esperada. Para a cana-soca as doses recomendadas variam de 40 a 200 kg ha⁻¹ dependendo da análise de solo e da produtividade esperada (Quaggio et al., 2022).

d) Cálcio

O Ca é essencial para a estruturação das paredes celulares, contribuindo para a integridade celular e o crescimento saudável da planta. Além disso, o cálcio auxilia no desenvolvimento das raízes e no transporte de outros nutrientes dentro da planta (Castro, 2016). Solos deficientes em cálcio resultam em cana-de-açúcar com menor vigor e menor capacidade de absorção de nutrientes. O Ca, assim como o Mg, é fornecido principalmente com a aplicação do calcário, e a calagem para cana-de-açúcar deve ser feita para elevar o índice de saturação pro bases a 70% (Quaggio et al., 2022).

e) Magnésio

O Mg é o átomo central da molécula de clorofila e, portanto, essencial para a fotossíntese. Além disso, ele atua na ativação de diversas enzimas e no transporte de fosfatos dentro da planta. A deficiência de Mg causa clorose

(amarelecimento das folhas) e afeta a eficiência da fotossíntese, reduzindo a produção de biomassa (Castro, 2016).

f) Enxofre

O S é necessário para a síntese de aminoácidos, proteínas e vitaminas, além de participar na formação da clorofila. A deficiência de enxofre se manifesta de forma semelhante à deficiência de nitrogênio, com o amarelecimento das folhas, mas iniciando pelas folhas mais novas, do ápice do colmo, porque, ao contrário do N, o S apresenta mobilidade baixa nos tecidos das plantas (Castro, 2016). A deficiência de S reduz o crescimento da cana e o teor de açúcar nos colmos. Nas áreas de produção de cana que não recebem aplicação de gesso, a recomendação é que sejam aplicados 50 kg ha^{-1} de S se o solo apresentar teor de S-SO_4^{2-} menor do que 15 mg dm^{-3} na camada de 25-50 cm de profundidade (Quaggio et al., 2022).

3.2 Micronutrientes

Os micronutrientes são exigidos em menores quantidades, mas são igualmente importantes para o metabolismo da cana-de-açúcar. Os micronutrientes que podem ser requeridos na adubação são: zinco, boro, cobre, manganês e molibdênio.

a) Zinco

O Zn é necessário para a formação de hormônios de crescimento, como o ácido indolacético (AIA), que promove o alongamento celular e o desenvolvimento das raízes. A deficiência de Zn reduz o crescimento da planta e pode causar o encurtamento dos internódios (Castro, 2016). O Zn também está

envolvido na síntese de proteínas e no processo de fotossíntese. As doses recomendadas de Zn para cana-de-açúcar variam de 2 a 5 kg ha⁻¹, dependendo do teor no solo (Quaggio et al., 2022).

b) Boro

O B é essencial para o crescimento celular, o desenvolvimento das raízes e a polinização. Ele também atua na translocação de açúcares e no desenvolvimento de tecidos reprodutivos. A deficiência de B resulta em deformações nas folhas novas e redução na produtividade (Castro, 2016). As doses recomendadas de B para cana-de-açúcar variam de 0 a 2 kg ha⁻¹ (Quaggio et al., 2022).

c) Manganês

O Mn participa da fotossíntese, da respiração e da ativação de enzimas. Sua deficiência pode causar clorose internerval, afetando a capacidade da planta de realizar fotossíntese (Castro, 2016). O Mn também influencia a eficiência da absorção de outros nutrientes, como N e P. A adubação com Mn para cana só é recomendada se o teor no solo for baixo, menor que 1,2 mg dm⁻³ obtido com o extrator DTPA (ácido dietilenotriaminopentaacético) e, nesse caso, é recomendada aplicação de 5 kg ha⁻¹ (Quaggio et al., 2022).

d) Cobre

O Cu é importante para a fotossíntese, a respiração e o metabolismo de carboidratos e proteínas. A deficiência de Cu pode causar o encurtamento dos internódios e a morte das gemas apicais (Castro, 2016). A adubação com Cu é indicada apenas para solos com teores baixos (menores que 0,3 mg dm⁻³ em DTPA), e a dose indicada é de 5 kg ha⁻¹ (Quaggio et al., 2022).

e) Molibdênio

O Mo é necessário para a assimilação do N pela planta, participando da conversão de nitratos em aminoácidos. Sua deficiência pode alterar o metabolismo do N e comprometer o crescimento da planta (Castro, 2016). A dose recomendada de Mo para cana-de-açúcar é de $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$, no caso de aplicação no solo. Caso seja feita opção por aplicação foliar, a dose deve ser reduzida para $0,3 \text{ kg ha}^{-1}$, e a aplicação deve ser feita quatro meses após a brotação. As doses indicadas devem ser aplicadas na cana-planta e repetidas nas soqueiras subsequentes (Quaggio et al., 2022).

4 TORTA DE FILTRO

4.1 Composição

A torta de filtro, subproduto do processo de clarificação do caldo de cana-de-açúcar durante a produção de açúcar e etanol, é amplamente utilizada como fonte de carbono para o solo e de nutrientes para as plantas em cultivos agrícolas, especialmente na cana-de-açúcar. Sua composição química é variável, dependendo de fatores como o tipo de processamento, a origem do material e as condições de fabricação, como o pH e a adição de agentes auxiliares de floculação.

Segundo Almeida Júnior et al. (2011), um dos principais fatores que influenciam a composição da torta de filtro é a diferença entre a torta proveniente de usinas e de destilarias. As tortas de filtro geradas em usinas apresentam aproximadamente o dobro de fósforo, com concentração média de 2% de P_2O_5 .

em comparação a 1% nas tortas provenientes de destilarias, em base seca. Esse diferencial é especialmente relevante para o uso da torta como fertilizante, uma vez que o fósforo é um dos nutrientes cujo controle da disponibilidade para as plantas é mais complexo, conforme relatado por Caione et al. (2015) e Arruda et al. (2019).

Por outro lado, as tortas de destilarias apresentam, em média, 25% mais nitrogênio em relação às tortas de usinas. Enquanto as tortas de destilaria contêm cerca de 1,6% de N, as de usinas apresentam teor médio de 1,3% de N, também em base seca (Fravet et al., 2010).

Além de nitrogênio e fósforo, a torta de filtro também contém outros nutrientes como potássio, cálcio, magnésio e enxofre, bem como micronutrientes que podem ser benéficos ao solo e às plantas. Santos et al. (2011) apresentou a seguinte caracterização para a torta de filtro: pH CaCl_2 , 5,4; 9,5 g/kg de N; 3,3 de P; 4,6 de K; 9,1 de Ca; 2,5 de Mg; 7,2 de S; 124 mg/kg de Cu; 758 de Mn e 282 de Zn.

Devido à concentração alta de P, a aplicação da torta de filtro é recomendada principalmente no plantio de cana-de-açúcar, preferencialmente no sulco de plantio, em doses de 10 e 30 t ha⁻¹ em base úmida. Nas soqueiras a aplicação deve ser feita próximo às linhas de plantas (Quaggio et al. 2022). Vázquez et al. (2015) destacam que o uso desse subproduto na agricultura oferece vantagens econômicas e ambientais, pois reduz a necessidade de fertilizantes e promove a ciclagem de nutrientes. Nas áreas que recebem adubação com torta de filtro com relação C/N menor que 25, a dose de N pode ser diminuída em 50%. Nessas áreas, as adubações com P e K também podem

ser reduzidas em 60% e 100% (Quaggio et al., 2022).

Além do fornecimento de nutrientes, o uso de torta de filtro tem impacto positivo na melhoria da estrutura do solo e no aumento da capacidade de retenção de água, conforme descrito por Aquino et al. (2018).

No que diz respeito ao impacto no crescimento das plantas, Gazola et al. (2017) apontam que a torta de filtro, especialmente quando enriquecida com fosfatos solúveis, pode aumentar significativamente a absorção de fósforo pela cana-de-açúcar, melhorando tanto a produtividade quanto a qualidade tecnológica da cultura. A aplicação da torta de filtro pode, portanto, ser uma alternativa eficiente para otimizar o uso de nutrientes no solo e reduzir os custos de fertilização.

4.2 Adubação com torta de filtro

A adubação com torta de filtro é uma prática sustentável e eficiente na cultura da cana-de-açúcar. A torta de filtro atua diretamente na melhoria da qualidade do solo, promovendo uma série de benefícios físicos, químicos e biológicos. Almeida Júnior et al. (2011) observaram que a aplicação da torta aumenta a retenção de água no solo e melhora suas propriedades físicas, o que é fundamental para regiões de clima seco. Além disso, contribui para o aumento da matéria orgânica, o que melhora a estrutura do solo, sua capacidade de armazenamento de água e a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

A aplicação da torta de filtro também contribui significativamente para a ciclagem de nutrientes, especialmente fósforo. De acordo com Arruda et al. (2019), a adição da torta de filtro no solo altera a dinâmica do fósforo na rizosfera

da cana-de-açúcar, aumentando sua disponibilidade para as plantas. A interação entre a torta e a microbiota do solo desempenha um papel importante na mineralização e solubilização desse nutriente. Segundo Caione et al. (2015), a aplicação de torta de filtro aumenta a absorção de P pelas plantas, potencializando o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de outros nutrientes.

A torta de filtro é também fonte de K, Ca e micronutrientes, além de favorecer o acúmulo de matéria orgânica. Estudos de Fravet et al. (2010) indicam que a torta de filtro aplicada em doses de até 40 t ha⁻¹ contribui para o aumento significativo na produtividade da cana, devido ao aumento da oferta de nutrientes.

Em termos de nutrientes, a torta de filtro contém, em média, 5 a 7 kg de P₂O₅, 3 a 4 kg de K₂O e 20 a 25 kg de CaO por tonelada de material seco, conforme relatado por Vazquez et al. (2015). Além disso, a aplicação de 30 a 40 toneladas de torta de filtro por hectare pode fornecer até 200 kg de P por hectare (Silva et al., 2021).

A torta de filtro tem alto teor de água, que pode variar entre 70% e 80%, segundo Costa (2023). Isso contribui para a manutenção da umidade no solo, favorecendo o crescimento radicular e a microbiota associada. Moda et al. (2015) destacam que o alto teor de carbono orgânico da torta de filtro também auxilia na retenção de água no solo, o que é especialmente vantajoso em áreas com baixo regime de chuvas.

Além do efeito direto na fertilidade, o conteúdo de carbono orgânico da torta de filtro promove melhoria na atividade biológica do solo. O aumento na

atividade microbiana e a melhoria na agregação do solo são resultados da degradação lenta da fração orgânica da torta, o que libera nutrientes de forma gradual, garantindo uma nutrição contínua para a cana ao longo do ciclo da cultura (Santos, 2017).

5 MODOS DE APLICAÇÃO DA TORTA DE FILTRO NO CANAVIAL

Existem diferentes modos de aplicação da torta de filtro no campo, cada um com características que influenciam a eficiência na disponibilização de nutrientes e a viabilidade econômica, conforme descrito a seguir.

- a) Aplicação superficial:** Consiste na distribuição da torta de filtro diretamente sobre o solo, sem incorporação. Esse método é amplamente utilizado por ser mais simples e de menor custo operacional, mas sua eficiência pode ser limitada. A exposição da torta ao sol e à chuva pode acelerar a decomposição e promover a perda de nutrientes, como o N, por lixiviação ou volatilização.
- b) Incorporação ao solo:** Nesse método, a torta de filtro é aplicada na superfície do solo e incorporada por aração ou gradagem. Estudos como

o de Fravet et al. (2010) demonstraram que a incorporação da torta melhora a retenção de nutrientes, reduz as perdas por volatilização e lixiviação, e aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas, como fósforo e potássio.

c) Aplicação em sulcos de plantio: A torta de filtro é colocada diretamente nos sulcos onde serão plantadas as mudas de cana-de-açúcar. Segundo Almeida Júnior et al. (2011), esse método garante que os nutrientes fiquem mais próximos das raízes das plantas, favorecendo a absorção durante o crescimento inicial. A torta, neste caso, atua diretamente na zona da rizosfera, contribuindo para o desenvolvimento radicular mais rápido e vigoroso.

d) Aplicação em sulcos ao lado das soqueiras: esse método é similar à aplicação em sulcos de plantio, mas é utilizado nas soqueiras. Assim como no plantio, a torta de filtro aplicada em sulcos abertos ao lado das linhas de cana promove maior contato dos nutrientes com as raízes, otimizando a absorção e o desenvolvimento da soqueira.

Dentre os métodos citados, os mais amplamente utilizados são a aplicação superficial e a incorporação ao solo. A aplicação superficial é frequentemente preferida devido ao menor custo e à simplicidade operacional, mas apresenta desvantagens em termos de eficiência na retenção de nutrientes, visto que sua eficiência pode ser menor em comparação com outros métodos, o que pode levar à necessidade de reaplicações frequentes para manter os níveis adequados de nutrientes no solo.

Já o método de incorporação ao solo é amplamente praticado em sistemas

que buscam otimizar o aproveitamento dos nutrientes fornecidos pela torta de filtro, garantindo maior eficiência. A incorporação ao solo, embora tenha custo inicial mais elevado devido ao uso de maquinário para aração e gradagem, oferece maior eficiência na utilização de nutrientes, o que pode resultar em menor necessidade de fertilizantes adicionais e, conseqüentemente, economia em longo prazo.

A aplicação em sulcos, tanto de plantio quanto de soqueira, também pode ser economicamente viável, principalmente em sistemas que buscam otimizar a absorção de nutrientes nas fases iniciais do desenvolvimento da cana. Esse método garante maior contato dos nutrientes com as raízes, o que pode resultar em aumento da produtividade e maior eficiência no uso dos fertilizantes aplicados.

Assim, a incorporação ao solo e a aplicação em sulcos são os métodos mais eficientes em termos de disponibilização de nutrientes para as plantas. A escolha do modo de aplicação ideal dependerá do equilíbrio entre os custos operacionais e a eficiência na disponibilização de nutrientes, sendo que a incorporação ao solo oferece, em muitos casos, a melhor relação custo-benefício em longo prazo. Em relação a disponibilidade de nutrientes fornecidos pela torta de filtro, ela varia de acordo com o método de aplicação. Segundo Arruda et al. (2019), a incorporação ao solo e a aplicação em sulcos são os métodos que garantem maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, devido à proteção contra lixiviação e volatilização, além de promover uma maior interação entre a torta e a microbiota do solo. A aplicação em sulcos de plantio é especialmente eficiente para melhorar a absorção de nutrientes como nitrogênio, fósforo e

potássio, nas fases iniciais da cultura.

Caione et al. (2015) observaram que a torta de filtro também melhora a estrutura do solo, aumentando a capacidade de retenção de água e a atividade microbiana (Arruda et al., 2019), resultando em um ambiente mais propício ao desenvolvimento radicular. Esse efeito é maior quando a torta é incorporada ao solo ou aplicada em sulcos.

6 PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO COM TORTA DE FILTRO

O uso da torta de filtro na adubação de cana-de-açúcar, via de regra, resulta em ganhos de produtividade de colmos, tanto em cana-planta como em cana-soca, mas a dose de máxima resposta varia de condição para condição. De modo geral, a torta usada nos experimentos é aplicada com umidade variando entre 70 e 80%, sem que seja mencionada a umidade exata, o que diminui a precisão na definição da melhor dose e dificulta comparações.

Fravet et al. (2010) avaliaram o efeito de doses de torta de filtro (10, 20, 40, 60, e 80 t ha⁻¹) na produtividade e na qualidade tecnológica da soqueira da cana-de-açúcar. As quantidades de macronutrientes aplicadas em função dos tratamentos estão na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidades de nutrientes fornecidas na adubação com torta de filtro em comparação à adubação mineral (tratamento controle).

Adubação	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
Torta de filtro, (t ha ⁻¹)	----- kg/ha -----					
10	54,34	26,31	8,58	69,50	7,44	11,15
20	108,68	52,62	17,16	139,00	14,88	22,30
40	217,36	105,24	34,32	278,00	29,60	44,60
80	434,72	210,48	68,64	556,00	59,52	89,20
Adubação mineral	50	35	120	13,14	-	7,5

Fonte: Fravet et al. (2010)

Os resultados indicaram que 60 t ha⁻¹ foi a dose mais eficiente, promovendo aumentos de até 18% na produtividade de colmos e melhorias na concentração de açúcares, além de maior eficiência no uso da água. Com essa dose, as quantidades de N, P₂O₅ e K₂O aplicadas foram muito maiores do que as fornecidas na forma de fertilizantes industriais, e embora a torta seja aplicada quase sempre visando o fornecimento de P, observa-se que as doses de N foram cerca de 50% maiores.

Almeida Júnior et al. (2011) avaliaram os efeitos da torta de filtro na fertilidade do solo e na absorção de nutrientes em cana-de-açúcar. Os autores observaram que a torta de filtro aumentou significativamente os teores de fósforo, cálcio e potássio no solo, resultando em aumento na produtividade da cana. As doses testadas variaram de 20 a 80 toneladas por hectare, com resposta positiva linear na produtividade até a dose de 60 t ha⁻¹, que resultou em incremento de cerca de 20% na produção de colmos em relação à área controle, sem adubação.

Os resultados obtidos pelos autores são, portanto, muito semelhantes aos relatados por Fravet et al. (2010) e e por Caione et al. (2015), que conduziram experimentos com fontes de fósforo associadas à torta de filtro em Argissolo

Vermelho. As doses aplicadas de torta de filtro variaram de 20 a 80 t ha⁻¹, em combinação com fontes de fósforo mineral. Os autores observaram que a aplicação de torta de filtro, especialmente em doses de 60 t ha⁻¹ aumentou a disponibilidade de fósforo no solo em até 35% e resultou em produtividade maior que 130 toneladas de colmos por hectare, aumento de 25% em comparação com a adubação mineral.

Moda et al. (2015) também combinaram torta de filtro com outras fontes de P e avaliaram os efeitos das combinações na nutrição e produtividade da cana-de-açúcar. A dose de 50 t ha⁻¹ de torta de filtro combinada com fosfato natural promoveu aumento significativo na produção, atingindo valores de 120 toneladas por hectare, aumento de cerca de 15% em comparação com o tratamento controle, sem torta de filtro. Os autores também destacaram o efeito positivo da torta na qualidade do solo, com aumento na retenção de água e no teor de matéria orgânica.

Santos (2017) avaliou a eficiência de aproveitamento de fósforo pela cana-de-açúcar adubada com fertilizantes convencionais e torta de filtro. A aplicação de 40 t ha⁻¹ de torta aumentou a eficiência de uso de fósforo em até 30%, promovendo produtividades médias de 110 toneladas por hectare, demonstrando que a combinação de torta de filtro com fertilizantes minerais pode reduzir a necessidade de insumos externos.

Mais recentemente, Silva et al. (2021) avaliaram a brotação inicial e os índices de maturação da cana-de-açúcar adubada com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel e gesso, entre outras combinações. A dose de 50 t ha⁻¹ foi identificada como mais indicada, resultando em maior vigor de brotação, melhor

desenvolvimento radicular e índices de maturação antecipados, o que pode contribuir para a colheita mais eficiente e produtiva.

A dose de torta de filtro depende, portanto, de vários fatores, como o tipo de solo, condições climáticas e práticas de manejo. No entanto, a maioria dos estudos aponta que doses entre 40 e 60 t ha⁻¹ tendem a gerar os melhores resultados de produtividade e eficiência nutricional. Fravet et al. (2010) e Caione et al. (2015) indicaram que 60 t ha⁻¹ é a dose de máxima resposta, promovendo aumentos significativos de produtividade e melhoria nas características físico-químicas do solo.

Sob o ponto de vista da viabilidade, o uso de torta de filtro, além dos benefícios agronômicos, apresenta vantagens econômicas. A substituição parcial de fertilizantes minerais por torta de filtro pode reduzir os custos de insumos, especialmente em sistemas que requerem adubação com fósforo e potássio. Vazquez et al. (2015) demonstraram que a aplicação de torta de filtro como fertilizante organofosfatado pode diminuir em até 25% os custos de adubação mineral.

7. QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO COM TORTA DE FILTRO

A adubação com torta de filtro, , é uma prática eficaz para melhorar a produtividade da cana-de-açúcar. Além disso, os estudos apresentados revelaram que ela também é capaz de aumentar a qualidade da cana-de-açúcar, destacando sua influência no teor de açúcares, na concentração de sólidos solúveis e no índice de maturação (Santos, 2011). Com a maior disponibilidade de nutrientes, a maior umidade, o aumento na atividade microbiota do solo, ocorre maior desenvolvimento radicular e absorção dos nutrientes pelas plantas. Essa melhoria na nutrição reflete diretamente na qualidade dos colmos de cana, especialmente em no teor de sacarose e no Brix (teor de sólidos solúveis).

Os mesmos estudos apresentados anteriormente tratam sobre o ganho de qualidade da cana-de-açúcar e estão resumidos a seguir.

Fravet et al. (2010) relataram que a aplicação de 60 t ha⁻¹ de torta resultou no maior incremento na qualidade da cana, com aumento de até 8% no teor de açúcares e maior teor de sólidos solúveis (Brix) nos colmos. Esses resultados sugerem que a torta de filtro não só melhora a produtividade, mas também otimiza a qualidade da matéria-prima para a produção de açúcar e etanol.

Caione et al. (2015) observaram que a aplicação de 50 t ha⁻¹ de torta de filtro associada ao fosfato natural aumentou o teor de sólidos solúveis da cana em até 10%, o que é diretamente correlacionado à quantidade de açúcar disponível para processamento. Além disso, observaram também um aumento na concentração de sacarose nos colmos, refletindo na melhoria da qualidade tecnológica da cana.

Do mesmo, modo, Moda et al. (2015) combinaram fontes e doses de adubos fosfatados com torta de filtro na nutrição e concluíram que doses de até 60 t ha⁻¹ resultaram em aumento no teor de sacarose e nos níveis de pureza do caldo extraído dos colmos.

Silva et al. (2021) investigaram a brotação inicial, o teor de sólidos solúveis e o índice de maturação da cana-de-açúcar adubada com torta de filtro enriquecida. A aplicação de 50 t ha⁻¹ de torta de filtro favoreceu a maturação precoce da cana, com aumento significativo nos teores de Brix, o que pode antecipar a colheita e aumentar a eficiência do processo produtivo. Além disso, os colmos apresentaram maior teor de sacarose, promovendo aumento na qualidade do caldo para a produção de açúcar e etanol.

Santos (2017) observou que a combinação de 40 t ha⁻¹ de torta de filtro com fertilizantes fosfatados aumentou o teor de açúcar nos colmos em até 15%,

além de promover maturação mais uniforme e antecipada. A torta de filtro aumentou a eficiência na absorção de fósforo e melhorou a translocação de carboidratos para os colmos, otimizando o rendimento de açúcar.

Vazquez et al. (2015) também avaliaram o uso de torta de filtro associada a fertilizantes organofosfatados e concluíram que a aplicação de 40 t ha⁻¹ de torta de filtro resultou em aumento de até 10% no teor de sacarose, além de promover maior uniformidade na maturação dos colmos. Nesse caso, a torta de filtro melhorou as propriedades físico-químicas do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes e o teor de matéria orgânica, o que contribuiu para a qualidade final da cana.

Com base no que foi apresentado, é possível concluir que as doses recomendadas de torta de filtro para melhorar a qualidade da cana-de-açúcar variam entre 40 e 60 t ha⁻¹. Essas doses têm se mostrado eficazes para aumentar o teor de sólidos solúveis (Brix), sacarose e a pureza do caldo extraído dos colmos, além de favorecer a maturação precoce e uniforme da cana.

Fravet et al. (2010) e Silva et al. (2021) destacaram que a dose de 60 t ha⁻¹ é particularmente eficaz para melhorar a qualidade tecnológica da cana, promovendo ganhos tanto na produtividade quanto na qualidade final do produto.

8 CONCLUSÃO

A utilização da torta de filtro como fertilizante na cana-de-açúcar é uma prática eficiente tanto para aumentar a produtividade quanto a qualidade do produto. Com base nos estudos revisados, a dose ideal de torta de filtro varia entre 40 e 60 toneladas por hectare, sendo que a dose de 60 t ha⁻¹ frequentemente apresenta os melhores resultados. Essa dose não só promove aumento significativo na produtividade, com incrementos de até 25% em comparação às áreas não adubadas, como também melhora a qualidade dos colmos, refletindo em maiores teores de sacarose e sólidos solúveis (Brix).

Os ganhos em produtividade e qualidade resultam da melhoria da fertilidade do solo, aumento na disponibilidade de nutrientes e favorecimento da atividade da microbiota, o que favorece a absorção de água e nutrientes.

A aplicação da torta de filtro pode ser feita de diversas formas, mas as que trazem melhores respostas são a aplicação superficial ou a com incorporação ao solo, podendo ou não ter a combinação com fertilizantes fosfatados que otimizam ainda mais os resultados, aumentando a eficiência na utilização do fósforo e potencializando a qualidade tecnológica da cana.

Além dos benefícios agronômicos, o uso da torta de filtro também apresenta vantagens econômicas, com possibilidade de reduzir em até 25% os custos com fertilização mineral. Portanto, a inclusão da torta de filtro na adubação da cana-de-açúcar é uma solução sustentável e economicamente viável para o setor sucroalcooleiro.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida Júnior, A. B. D., do Nascimento, C. W., Sobral, M. F., da Silva, F. B., Gomes, W. A. (2011). Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 1004-1013.

Alves, R. D., M. G Abdalla, A. F Lima. (2017). Aplicação da torta de filtro como adubo em canaviais. In: Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais, 1. 2017. Resumos. Uberaba, Uniube, 11p.

Aquino, G. S., dos Santos, J. G. S., Diniz, T. G., de Conti Medina, C., Rosseto, R., Moreira, A. (2018). Desenvolvimento de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de torta de filtro e modos de aplicação. *Semina: Ciências Agrárias*, 39(5), 1899-1908.

Arruda, B., Rodrigues, M., Gumiere, T., Richardson, A. E., Andreote, F. D., Soltangheisi, A., ... Pavinato, P. S. (2019). The impact of sugarcane filter cake on the availability of P in the rhizosphere and associated microbial community structure. *Soil Use and Management*, 35(2), 334-345.

Caione, G., Prado, R. D. M., Campos, C. N. S., Rosatto Moda, L., de Lima Vasconcelos, R., Pizauro Júnior, J. M. (2015). Response of sugarcane in a red ultisol to phosphorus rates, phosphorus sources, and filter cake. *The Scientific World Journal*, 2015(1), 405970.

Castro, P.R.C Fisiologia aplicada à cana-de-açúcar. Piracicaba, STAB, 2016. 208p.

Costa, H. J. M. D. (2023). Análise de reaproveitamento da torta de filtro como benefício econômico no setor sucroenergético. Ilha Solteira: Unesp, 33p. (Trabalho de conclusão de curso)

Firme, L. (2005). Cinética de degradação microbiológica de torta de filtro no solo na presença de cádmio e níquel. Piracicaba: ESALQ, 74p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)–Universidade de São Paulo.

Fravet, P. R. F. D., Soares, R. A. B., Lana, R. M. Q., Lana, Â. M. Q., Korndörfer, G. H. (2010). Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 618-624.

Galdiano, L. C. (2008). Qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) submetida à aplicação de maturadores químicos em final de safra. Jaboticabal: FCAV, 53p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia)

Gazola, T., Cipola Filho, M. L., Franco Júnior, N. C. (2017). Avaliação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar provenientes de substratos submetidos a adubação química e orgânica. *Científica*, 45(3), 300-306.

Moda, LR, Prado, R.M., Caione, G., Campos, CNS, Colombo da Silva, E., Alves Flores, R. (2015). Efeito de fontes e doses de fósforo associadas à torta de filtro na nutrição e produtividade da cana-de-açúcar. *Australian Journal of Crop Science*, 9 (6), 477-485.

Moura, A.B. (2014). Produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar sob diferentes fontes e doses de fósforo. Rio Largo: Universidade Federal de Alagoas, 76p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia)

Parazzi, C., Ortigosa, L. M., de Medeiros, S. D. S., Verruma-Bernardi, M. R. (2018). Estudo da qualidade físico-química, tecnológica e sensorial de caldos de cana-de-açúcar para consumo. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, 8(1), 3-10.

Quaggio, J.A., Cantarella, H., Rajj, B. van, Otto, R., Penatti, C.P., Rossetto, R., Vitti, G.C., Dias, F.L. Cana-de-açúcar. In: Cantarella, H., Quaggio, J.A., Mattos Junior, D., Boaretto, R.M., Rajj, B. van (eds.) Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 2022. p.177-186.

Rosseto, R., Cantarella, H., Dias, F.L.F., Vitti, A.C., Tavares, S. Cana-de-açúcar. In: Prochnow, I.i., Casarin, v., Stipp, S.R (eds) Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba, IPNI, v.3. 2010. p.161-230.

Santos, D. H., Silva, M. D. A., Tiritan, C. S., Foloni, J. S., & Echer, F. R. (2011). Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 443-449.

Santos, J. W. (2023) Uso dos subprodutos da fabricação do açúcar e do etanol em substituição aos fertilizantes. Penedo: Instituto Federal de Alagoas, 15p. (Trabalho de conclusão de curso).

Silva, J. H. B., do Nascimento, M. A., da Silva, A. V., Neto, F. P., Araújo, J. R. E. S., da Silva, J. M., ... Mielezrski, F. (2021). Brotação inicial, teor de sólidos solúveis e índice de maturação da cana-de-açúcar submetida à adubação com torta de filtro

enriquecida. *Brazilian Journal of Development*, 7(3), 32575-32592.

Sousa, R.T.X. (2014) Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 87p. (Tese – Doutorado em Agronomia)

Vazquez, G. H., Bortolin, R., Vanzela, L. S., dos SB Bonini, C., & Neto, A. B. (2015). Uso de fertilizante organofosfatado e torta de filtro em cana-planta. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 9(1), 53-64.