

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CECA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ROBSON VENTURA SILVA

**O USO DA VINHAÇA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA AGRICULTURA - UMA
REVISÃO DE LITERATURA**

RIO LARGO – AL

2023

ROBSON VENTURA SILVA

**O USO DA VINHAÇA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA AGRICULTURA - UMA
REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à coordenação do Curso
de Agronomia do Campus de
Engenharia e Ciências Agrárias – CECA
da Universidade Federal de Alagoas –
UFAL, como requisito para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Luiz Calazans de Lima

Coorientadora: Msc. Camilla Amanda de Oliveira Gomes

RIO LARGO – AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

S586u Silva, Robson Ventura

O uso da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura – uma revisão de literatura. / Robson Ventura Silva – 2023.
34f.; il.

Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2023.

Orientação: Dr. Cícero Luiz Calazans de Lima
Coorientação: Camilla Amanda de Oliveira

Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar. 2. Solo. 3. Fertirrigação. I. Título

CDU: 633.61

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me conduzido da melhor forma possível nessa jornada, sem ele nada seria possível.

Dedico essa monografia: aos meus pais Rubens Silva e Zelita Ventura Silva, por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante o meu período escolar.

A minha querida esposa Regina Célia de Oliveira Cunha Ventura que tanto admiro, dedico o resultado do esforço realizado ao longo deste percurso, sem o seu porto seguro e apoio incondicional oferecido em todos os aspectos, tenha certeza da minha gratidão.

Ao meu filho Vinícius Oliveira Cunha Ventura que me serviu de inspiração com sua serenidade e sapiência nos momentos turbulentos.

Aos meus irmãos que sempre me incentivaram incondicionalmente.

A todos colegas de graduação que proporcionaram essa travessia mais suave e prazerosa independente de todas as adversidades.

Em especial aos meus queridos amigos (a) irmão Ronald Benvindo Borges Silva (Meu filho postiço).

Camilla Amanda de Oliveira Gomes (Mente brilhante).

Luis Eugênio Lessa Bulhões (Meu eterno presidente do Centro Acadêmico e grande orador).

Vitor Almeida Bernardino (Mais conhecido como Conde).

Ao corpo formado do campus que vai do pessoal altamente dedicado da limpeza até o competente corpo docente.

Em especial ao meu orientador professor Dr. Cícero Luiz Calazans de Lima, que desde o princípio da graduação nos contemplou com seu vasto conhecimento e paciência.

Professor Dr. Reinaldo coordenador de curso, que nos proporcionou valiosos ensinamentos de sua vivência teórica e prática de campo.

Doutorando Luís Eugênio Lessa Bulhões, deixo registrado a minha admiração por suas habilidades democráticas na condição de presidente do centro acadêmico

Agradeço do fundo do meu coração a todos que de uma forma ou de outra participaram da minha formação acadêmica.

RESUMO

A vinhaça é um subproduto líquido gerado durante o processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. Embora seja considerada um resíduo da indústria sucroenergética, a vinhaça tem várias aplicações e importâncias tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, utilizada como fertilizante agrícola, reciclagem de nutrientes, geração de energia redução de impactos ambientais. A seleção dos artigos foi realizada nas plataformas SciELO, Science Direct e CAFE-CAPES ao aplicar as combinações determinadas, foi estabelecido os seguintes critérios de inclusão como documentos publicados entre os anos de 2018 – 2023, que relatem as vantagens na utilização da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura, podendo ser em qualquer idioma, experimentais ou literários. Todavia, os critérios de exclusão foram documentos repetidos, não publicados na íntegra e que descrevam outros derivados da cana-de-açúcar que não seja a vinhaça. Nos bancos de dados foram detectados um total de 166 artigos e ao filtrar seguindo os padrões estabelecidos, permaneceram 12 anexos que tiveram uma redução gradativa nos resultados, em que, Science Direct, CAF-e CAPES e SciELO apresentaram 112, 46 e 8 artigos, respectivamente. Os documentos incluídos no estudo abordaram as vantagens da vinhaça da cana-de-açúcar no melhoramento das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, assim como, no aumento da lixiviação e macronutrientes da área. O objetivo da pesquisa é realizar um levantamento de artigos científicos experimentais ou literários publicados nos anos entre 2018 – 2023, que relatem o potencial da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*; Subproduto; Solo; Fertirrigação.

ABSTRACT

Vinasse is a liquid byproduct generated during the ethanol production process from sugarcane. Although considered a residue of the sugarcane industry, vinasse has various applications and importance from both economic and environmental perspectives. It is used as an agricultural fertilizer, for nutrient recycling, energy generation, and reduction of environmental impacts. The article selection was carried out on the SciELO, Science Direct and CAFE-CAPES platforms. By applying the specified combinations, the following inclusion criteria were established: documents published between the years 2018 and 2023, reporting the advantages of using sugarcane vinasse in agriculture, in any language, whether experimental or literary. However, exclusion criteria included repeated documents, documents not published in full, and those describing other sugarcane derivatives apart from vinasse. Across the databases, a total of 166 articles were identified, and upon filtering according to the established standards, 12 attachments remained, gradually reducing the results. Specifically, Science Direct, CAFE-CAPES, and SciELO presented 112, 46, and 8 articles, respectively. The documents included in the study addressed the benefits of sugarcane vinasse in improving soil chemical, physical, and biological properties, as well as enhancing leaching and macro-nutrient levels in the area. The research aims to conduct a survey of experimental or literary scientific articles published between 2018 and 2023, which discuss the potential of sugarcane vinasse in agriculture.

Keywords: *Saccharum officinarum*; Byproduct; Soil; Fertirrigation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Cana-de-açúcar.....	16
Figura 2. Touceira e gema oval da cana-de-açúcar.....	18
Figura 3. Colmo da cana-de-açúcar	18
Figura 4. Irrigação do cultivo da cana-de-açúcar com vinhaça.....	20
Figura 5. Processo de obtenção dos artigos selecionados.....	23

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Artigos encontrados nas plataformas de acordo com os critérios da pesquisa	25
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de artigos encontrados por plataformas.....	24
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
	2.1. A cana-de-açúcar no Brasil	15
	2.2. O potencial da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura	19
3	METODOLOGIA	23
4	RESULTADOS DA PESQUISA	24
	4.1. Panorama geral da pesquisa	24
	4.2. Critérios e Seleção de artigos	24
	4.3. Descrição dos artigos selecionados.....	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar, botanicamente conhecida como *Saccharum officinarum*, é uma planta de grande importância econômica e histórica, desempenhando um papel crucial na produção de açúcar, etanol e outros subprodutos. Originária do sudeste da Ásia, a cana-de-açúcar foi amplamente cultivada ao longo dos séculos em diferentes partes do mundo, tornando-se uma das culturas mais significativas para a indústria agrícola e alimentícia (DE SOUZA et al., 2014).

A cana-de-açúcar é uma planta amplamente cultivada em diversas regiões do mundo, sendo uma das principais fontes de açúcar e bioenergia. Sua importância histórica remonta a séculos atrás, quando suas propriedades adoçantes foram descobertas e começaram a moldar a indústria alimentícia e econômica. No entanto, o cultivo da cana-de-açúcar também está associado a um subproduto significativo e desafiador - a vinhaça da cana-de-açúcar (BORDONAL et al., 2018).

A vinhaça é um resíduo líquido gerado durante o processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. Esse subproduto apresenta características únicas e desafia a gestão sustentável das indústrias sucroenergéticas. A vinhaça contém compostos orgânicos e minerais provenientes da cana-de-açúcar, bem como subprodutos da fermentação. Devido à sua composição complexa, a vinhaça pode ser tanto uma fonte potencial de nutrientes para solos agrícolas quanto um desafio ambiental, se não for tratada adequadamente (CHRISTOFOLETTI et al., 2013).

No entanto, a crescente consciência ambiental e a busca por soluções sustentáveis trouxeram à tona a importância de explorar maneiras mais eficientes e responsáveis de lidar com a vinhaça. Novas abordagens têm surgido para aproveitar os nutrientes presentes na vinhaça, transformando-a em uma fonte valiosa de fertilizantes e produtos biotecnológicos. A reciclagem da vinhaça

não apenas ajuda a reduzir os impactos ambientais negativos, mas também contribui para uma gestão mais eficaz dos recursos agrícolas e industriais (BENTO et al., 2019).

O objetivo da pesquisa é realizar um levantamento de artigos científicos experimentais ou literários publicados nos anos entre 2018 – 2023, que relatam o potencial da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil pelos colonizadores portugueses no início do século XVI. A exploração da cultura açucareira ganhou força especialmente a partir do século XVI, com a criação dos engenhos de açúcar no nordeste brasileiro. A mão de obra escrava foi fundamental para o desenvolvimento dessa indústria, e o ciclo da cana-de-açúcar exerceu um impacto significativo na economia e na sociedade colonial (ROGERS, 2010).

No século XX, a indústria sucroenergética brasileira passou por várias transformações. Além da produção de açúcar, o desenvolvimento do etanol como biocombustível ganhou destaque, especialmente durante as crises do petróleo nas décadas de 1970 e 1980. O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), lançado em 1975, incentivou a produção e o uso de etanol como alternativa ao combustível fóssil (STOLF E OLIVEIRA, 2020).

Nos últimos anos, a indústria sucroenergética enfrentou desafios relacionados à sustentabilidade ambiental e social. A preocupação com a preservação dos recursos naturais, a redução das emissões de gases de efeito estufa e o uso responsável da terra ganharam importância. Além disso, houve um movimento em direção à diversificação dos produtos derivados da cana-de-açúcar (DIAS, 2021).

O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar. A vasta extensão de terras aráveis, o clima favorável e a expertise na produção permitem que o país maximize a produtividade e a qualidade desses produtos. A capacidade de produzir tanto açúcar quanto etanol oferece flexibilidade em relação às demandas do mercado global e às políticas energéticas (SANTIAGO et al., 2018).

A produção de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar é uma aplicação promissora no Brasil. Usinas sucroenergéticas podem aproveitar o bagaço como biomassa para gerar eletricidade, contribuindo para a matriz

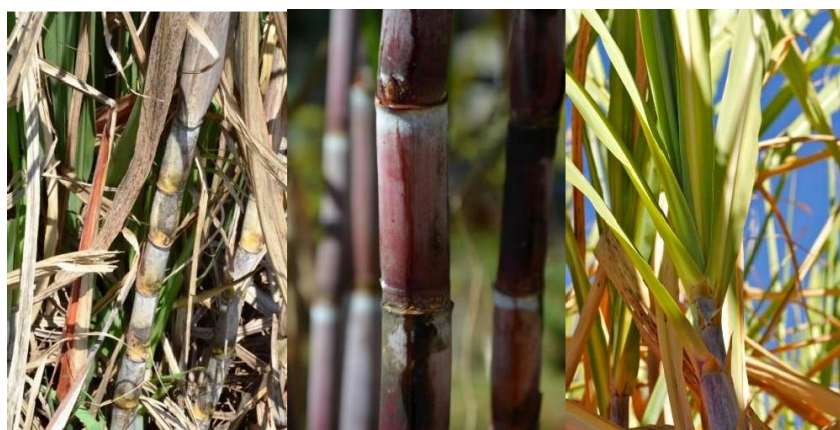
energética renovável do país. O excedente de eletricidade pode até ser comercializado para a rede elétrica (TORQUATO et al., 2016).

A pesquisa genética e biotecnológica tem o potencial de desenvolver variedades de cana-de-açúcar mais resistentes a pragas, doenças e condições climáticas adversas. Essas variedades melhoradas poderiam aumentar a produtividade e a eficiência do cultivo, reduzindo também a necessidade de agroquímicos (BEZERRA et al., 2018).

A expansão da cana-de-açúcar deve ser planejada considerando a sustentabilidade ambiental e a conservação dos recursos naturais. Práticas agrícolas responsáveis, como o uso eficiente de água, a rotação de culturas e a adoção de técnicas de plantio direto, podem ajudar a minimizar os impactos negativos e a manter a saúde do ecossistema (RIBEIRO et al., 2018).

O potencial da cana-de-açúcar no Brasil é vasto e multifacetado, abrangendo diversos setores da economia, desde a produção de alimentos e combustíveis até a geração de energia e produtos químicos sustentáveis. A habilidade do Brasil em aproveitar de forma estratégica esse potencial pode ter implicações significativas para o desenvolvimento econômico, a segurança energética e a sustentabilidade ambiental do país (PASSOS, 2015).

Figura 1. Cana-de-açúcar.



Fonte: EMBRAPA, 2015.

2.2. Aspectos morfológicos da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar possui várias características distintas que a diferenciam de outras plantas. Aqui estão alguns aspectos morfológicos da cana-de-açúcar. As hastes da cana-de-açúcar, conhecidas como colmos, são a parte mais visível da planta. São cilíndricas, grossas e fibrosas, podendo atingir alturas significativas, às vezes ultrapassando 5 metros. Os colmos contêm tecidos especializados para armazenar açúcares e água (MAZETO, 2023).

Os colmos da cana-de-açúcar possuem nós e entrenós claramente visíveis. Os nós são os pontos onde as folhas se conectam aos colmos, e os entrenós são as seções entre os nós. As folhas da cana-de-açúcar são longas, estreitas e pontiagudas. Elas se desenvolvem nos nós dos colmos. As folhas desempenham um papel importante na fotossíntese, contribuindo para a produção de açúcares que são armazenados nos colmos (CLAUDINO, 2021).

O sistema radicular da cana-de-açúcar é bem desenvolvido e se estende profundamente no solo. As raízes desempenham um papel crucial na absorção de água e nutrientes. A cana-de-açúcar raramente floresce em condições normais de cultivo comercial, e a reprodução geralmente é realizada através do plantio de pedaços dos colmos, chamados de "toletes" ou "mudas" (DE ALMEIDA et al., 2015).

Brotos laterais podem surgir a partir dos nós dos colmos. Eles são importantes para a propagação da planta e podem ser usados para gerar novas plantas. Embora a cana-de-açúcar produza flores, elas são pequenas e menos visíveis, e a formação de sementes é rara em condições normais de cultivo. Isso ocorre porque a seleção de variedades de cana-de-açúcar ao longo dos anos foi feita para enfatizar a produção de açúcares nos colmos, em vez da reprodução por sementes (JÚNIOR et al., 2018).

A cana-de-açúcar também pode se espalhar através de rizomas, que são caules subterrâneos que produzem novas plantas. No entanto, a propagação por toletes é o método mais comum utilizado na agricultura comercial. É importante observar que a cana-de-açúcar apresenta variações em sua morfologia com

base na variedade, condições de cultivo e práticas de manejo. A seleção de variedades e os cuidados agrícolas têm influência significativa na aparência e características das plantas de cana-de-açúcar (ARAÚJO, 2016).

Figura 2. Touceira e gema oval da cana-de-açúcar



Fonte: DE HOLANDA, 2014.

Figura 3. Colmo da cana-de-açúcar



Fonte: DE HOLANDA, 2014.

2.3. O potencial da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura

O potencial da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura é um campo de estudo em crescimento, explorando maneiras de aproveitar os nutrientes e compostos orgânicos presentes na vinhaça para melhorar a fertilidade do solo e aumentar a eficiência da produção agrícola (DE SOUZA et al., 2015).

A vinhaça é rica em nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, além de conter outros elementos traços importantes. Além disso, ela contém compostos orgânicos que podem melhorar a estrutura do solo e promover a atividade microbiana benéfica (RUAS et al., 2018).

A aplicação da vinhaça como fertilizante no solo pode ajudar a suprir as necessidades nutricionais das plantas, resultando em maior produtividade e qualidade dos cultivos. A vinhaça pode ser usada tanto em culturas anuais quanto perenes, melhorando a disponibilidade de nutrientes e contribuindo para uma fertilização equilibrada (ARAÚJO, 2021).

Em solos com pH inadequado, a vinhaça pode ser usada como agente corretivo, ajustando o pH para níveis mais favoráveis ao crescimento das plantas. Essa ação corretiva também pode melhorar a disponibilidade de nutrientes no solo (SOTO et al., 2017).

A vinhaça pode conter microrganismos benéficos, como bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos, que podem contribuir para a saúde do solo e a nutrição das plantas. Esses microrganismos podem ser favorecidos pelo uso responsável da vinhaça (PEDROSA et al., 2021).

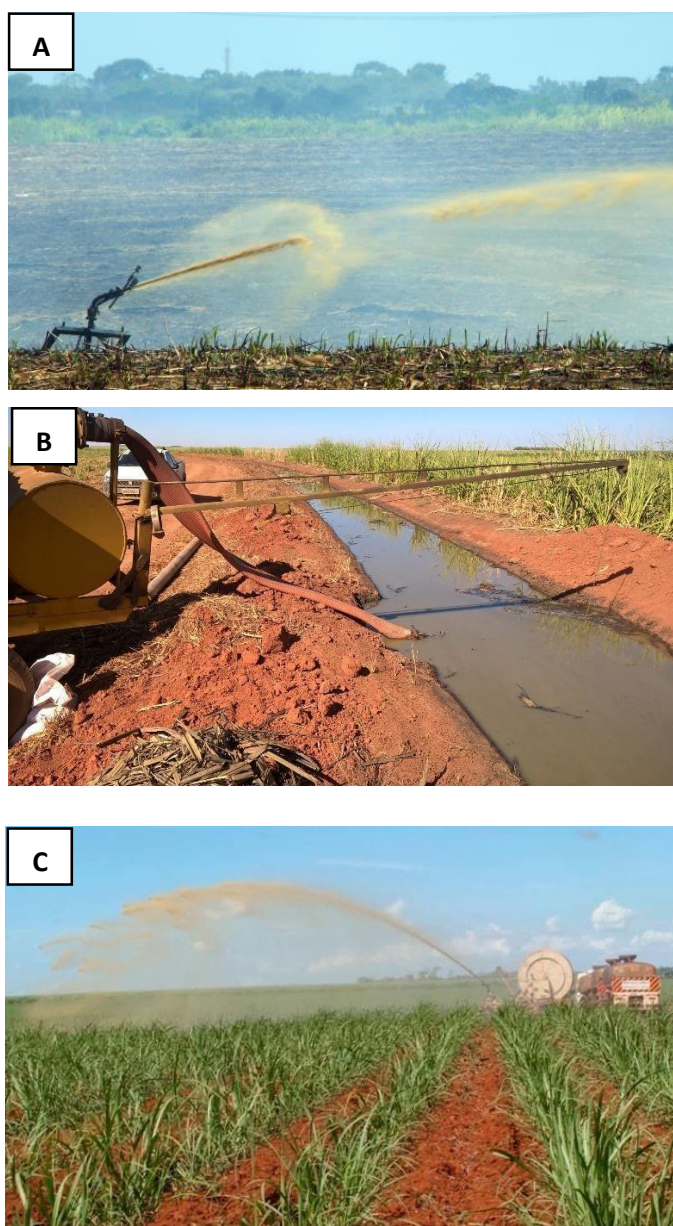
A reciclagem da vinhaça como fertilizante pode reduzir o descarte inadequado desse subproduto, minimizando impactos ambientais negativos, como a contaminação da água e do solo. O uso da vinhaça como fertilizante pode substituir parte dos fertilizantes químicos tradicionais, reduzindo a necessidade de produção desses insumos e diminuindo os impactos ambientais associados à sua fabricação e aplicação (DE MORAES E HARDER, 2020).

O uso da vinhaça como fertilizante requer um manejo adequado para evitar a sobrecarga de nutrientes no solo, o que pode resultar em poluição

ambiental. Além disso, é importante considerar os aspectos regulatórios e os critérios técnicos para a aplicação responsável da vinhaça (COSTA et al., 2021).

O potencial da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura oferece oportunidades para melhorar a eficiência da produção agrícola, aumentar a sustentabilidade dos sistemas de cultivo e reduzir o impacto ambiental. No entanto, é crucial realizar pesquisas contínuas para determinar as melhores práticas de aplicação da vinhaça e garantir que seus benefícios sejam aproveitados de maneira responsável e eficaz (DA SILVA et al., 2023).

Figura 4. Irrigação do cultivo da cana-de-açúcar com vinhaça.



Fonte: EMBRAPA, 2013.

2.4. DESVANTAGENS DA VINHAÇA NA AGRICULTURA

Embora seja frequentemente utilizada como fonte de nutrientes e irrigação em plantações de cana-de-açúcar e outras culturas, a aplicação inadequada ou excessiva da vinhaça pode ter algumas desvantagens e impactos negativos (MARIEL E FILHO, 2015).

A vinhaça é rica em nutrientes, como potássio, nitrogênio e fósforo, que são essenciais para o crescimento das plantas. No entanto, o uso excessivo de vinhaça pode levar ao acúmulo desses nutrientes no solo, resultando em um desequilíbrio nutricional e potencialmente afetando a saúde das plantas. O uso contínuo e excessivo desse derivado pode aumentar a concentração de sais no solo, levando à salinização. Isso pode afetar negativamente a absorção de água pelas plantas, causando estresse hídrico e redução no crescimento (RODRIGUES, 2016).

O descarte inadequado da vinhaça pode resultar na contaminação de recursos hídricos, como rios e lençóis freáticos. O excesso de nutrientes na água pode levar à eutrofização, um processo que causa crescimento excessivo de algas e outros organismos aquáticos, levando à diminuição dos níveis de oxigênio e afetando negativamente a vida aquática. Além da liberação de odores desagradáveis e gases como o metano, um potente gás de efeito estufa (FILHO et al., 2019).

A aplicação frequente desse subproduto pode alterar o pH do solo, tornando-o mais ácido. Isso pode prejudicar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e afetar a microbiota do solo e podendo levar à compactação do solo e à degradação da estrutura do solo ao longo do tempo. Se a aplicação de vinhaça não for bem controlada, pode haver risco de contaminação cruzada de culturas adjacentes, caso a vinhaça contenha patógenos ou elementos indesejados (BARBOSA, 2018).

2.5. CONTROLE DO USO DA VINHAÇA NA AGRICULTURA

Para minimizar essas desvantagens, é importante adotar práticas agrícolas sustentáveis, como a aplicação controlada de vinhaça, monitorização

dos níveis de nutrientes no solo e uso adequado de técnicas de manejo. Além disso, a pesquisa contínua e a regulamentação apropriada são essenciais para garantir que os subprodutos da produção de etanol, como a vinhaça, sejam utilizados de maneira responsável e sustentável (SANTOS, 2022).

A normativa da COPAM nº164 publicada 30 de março de 2011, estabelece requisitos para armazenamento e aplicação da vinhaça dado os altos riscos de infiltração e de rompimento dos reservatórios, com danos ao meio ambiente. Dessa forma, não permite o seu lançamento direto em corpos de água, sem o devido tratamento, considerando que a aplicação da vinhaça no solo agrícola, sem critérios adequados e em altas taxas, pode levar à alteração das condições naturais da fertilidade do solo e problemas de salinização, e ainda criando condições de anaerobiose e risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas (COPAM, 2011).




São necessários adoção de medidores de vazão para a vinhaça, assim como, a apresentar ao órgão ambiental, ao início de cada safra, o volume médio mensal e os laudos da análise da vinhaça, encaminhado para ser aplicado no solo, sendo duas análises por safra com intervalo mínimo de 90 dias, acompanhados do respectivo relatório técnico, nos quais deverão estar apresentados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, temperatura, DBO_{5,20}, DQO, sólidos em suspensão, sólidos sedimentáveis, nitrogênio amoniacal total, fósforo total, potássio total, cálcio, magnésio, detergentes e óleos e graxas (COPAM, 2011).

3 METODOLOGIA

A pesquisa dos artigos foi conduzida em várias plataformas diferentes, utilizando descritores pré-determinados. Os bancos de dados selecionados para essa pesquisa foram o Scientific Electronic Library Online (SciELO), Science Direct e Comunidade Acadêmica Federada (CAFe – CAPES).

Foram criadas duas combinações de palavras-chave: "*sugar cane vinasse*" e "*sugarcane vinasse and agronomy*". A abordagem de filtragem variou de acordo com cada plataforma, envolvendo a inserção das combinações em campos como "busca avançada" (advanced search), "data de publicação" (publication date) e "qualquer campo" (any field). No caso do CAFe – CAPES, por se tratar de um banco de dados brasileiro, os descritores foram inseridos em língua portuguesa, seguindo a mesma estratégia de filtragem das outras plataformas.

Figura 5. Processo de obtenção dos artigos selecionados.

Plataformas	Palavras-chave	Critérios de seleção e exclusão
  	<p>"<i>sugar cane vinasse</i>"</p> <p>"<i>sugarcane vinasse and agronomy</i>"</p>	<p>Seleção:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artigos que descrevam o potencial da vinhaça da cana-de-açúcar na agronomia. • Publicados nos últimos cinco anos (2018 – 2023), • Experimental ou literária; • Qualquer idioma. <p>Exclusão:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artigos duplicados; • Não se alinham com os escopos da pesquisa.

Fonte: Autor, 2023.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

4.1. Panorama geral da pesquisa

Ao introduzir as combinações de termos nos bancos de dados, foram obtidos os seguintes resultados (conforme apresentado na Tabela 1). O Science Direct e o CAFe – CAPES demonstraram os maiores números de resultados, com um total de 112 e 46 artigos, respectivamente. Na plataforma SciELO, foram identificados 8 artigos científicos correlacionados as palavras-chave.

Tabela 1. Quantidade de artigos encontrados por plataformas.

Descritores	SciELO	Science Direct	CAFe-CAPES
" <i>sugarcane vinasse</i> "	8	1.162*	43
" <i>sugarcane vinasse and agronomy</i> "	0	112	3
Subtotal	8	112	46
Total		166	

*Exclusão por incapacidade de análise

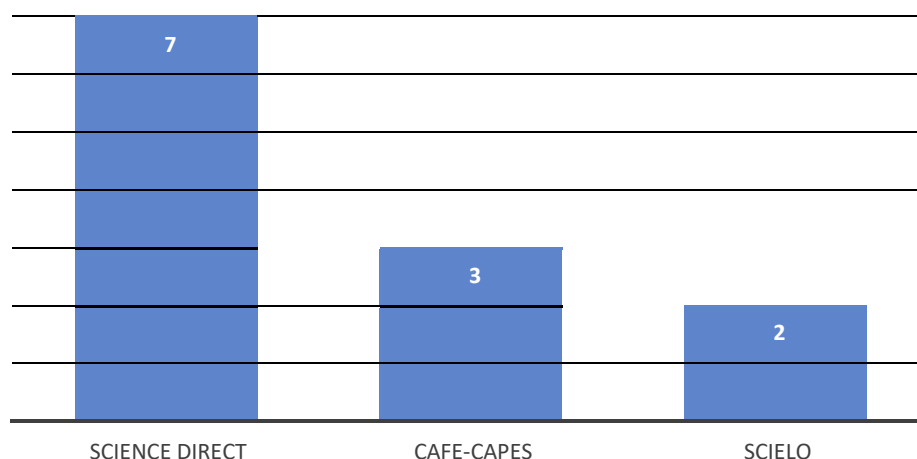
Fonte: Autor, 2023.

4.2. Critérios e Seleção de artigos

A fim de cumprir os critérios de inclusão, os artigos devem oferecer descrições do potencial da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura. Esses artigos devem ter sido publicados nos últimos cinco anos (2018 – 2023), podem ser de natureza experimental ou literária, independentemente do idioma de publicação. No entanto, os artigos duplicados e os que não se alinham com os escopos da pesquisa são excluídos.

Após uma análise meticulosa dos documentos, um total de 12 artigos foram selecionados. As plataformas Science Direct, CAFE-CAPES e SciELO contribuíram com 7, 3 e 2 artigos, respectivamente (conforme ilustrado na Tabela 1).

Gráfico 1. Artigos encontrados nas plataformas de acordo com os critérios da pesquisa.



4.3. Descrição dos artigos selecionados

O autor Carpanez *et al.* (2022), utiliza a vinhaça da cana-de-açúcar como um fertilizante organomineal, observa-se o aproveitamento desse subproduto como uma alternativa no melhoramento do solo, facilitando o transporte de minerais, menores riscos da contaminação do solo e dos recursos hídricos. Com isso, a vinhaça controla a fertilização excessiva de nutrientes na área, bem como, um maior número de macro e micro nutrientes nesse derivado da cana-de-açúcar.

A vinhaça da cana-de-açúcar pode ser associada a outros derivados dessa planta como o melaço, demonstrando vantagens na contenção da erosão eólica de solos arenosos por promover a reciclagem de nutrientes, retendo a umidade, a porosidade e o teor de K do solo, aumento da matéria orgânica e filtração (NIKSERESHT *et al.*, 2020).

Na pesquisa conduzida por Sotomayor et al. (2018), foi explorada a utilização da vinhaça derivada do etanol da cana-de-açúcar como meio de aprimorar as características do solo. Por meio de análises físico-químicas, os pesquisadores observaram algumas mudanças notáveis no solo. Essas alterações incluíram a redução dos níveis de sais solúveis, um aumento no pH do solo e um incremento na condutividade elétrica.

A aplicação da vinhaça da cana-de-açúcar no solo demonstrou efeitos benéficos nas lavouras, resultando em melhorias em diversas características físico-químicas. Estas melhorias incluíram um aumento na retenção de umidade, porosidade, concentração de potássio (K⁺), condutividade elétrica (CE) e atividade biológica do solo. Além disso, observou-se um aumento na lixiviação de chumbo após a aplicação da vinhaça da cana-de-açúcar no solo, principalmente no que diz respeito aos compostos orgânicos solúveis presentes. (FUESS et al., 2021).

A vinhaça é utilizada na irrigação da cana-de-açúcar, melhorando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Esse derivado tem altos teores de potássio, cálcio e magnésio melhoram a macroagregação do solo. Nota-se uma boa melhora do sistema radicular da cana-de-açúcar após a aplicação da vinhaça e o aumento dos macronutrientes no solo (ELGHARBAWY, 2021).

A incorporação de nitrogênio (N) e vinhaça ao solo cultivado com cana-de-açúcar tem o potencial de aumentar a disponibilidade de nutrientes nesse ambiente. Especificamente, nutrientes como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), boro (B) e zinco (Zn) apresentaram aumento em suas concentrações no solo quando esses elementos foram adicionados. Notavelmente, esse aumento na concentração desses nutrientes no solo demonstrou estar correlacionado com a diminuição na abundância de Acidobacteria (CHAVES et al, 2019).

No entanto, estamos inclinados a aceitar a hipótese de que a utilização da vinhaça promove o incremento de fósforo (P) inorgânico mais prontamente disponível no solo. Adicionalmente, observou-se um impacto benéfico no

aumento da disponibilidade de potássio (K^+) nas camadas mais profundas do solo, juntamente com a criação de um legado de fósforo (P orgânico e inorgânico moderadamente prontamente disponível). Esse legado se apresenta como uma reserva que a cultura de cana-de-açúcar pode aproveitar ao longo dos ciclos de cultivo (MARCATO et al., 2019).

A queima da cana-de-açúcar tem um impacto significativo nos níveis de matéria orgânica do solo (MOS) e em sua estrutura química. No entanto, a aplicação de vinhaça demonstrou a capacidade de preservar e restaurar o solo dos efeitos adversos do fogo. Os componentes afetados pelo fogo, como o carbono orgânico (CO) do solo, o CO particulado, o CO mineral associado, os ácidos húmicos, a humina e a fração leve de matéria orgânica (MO), apresentaram um aumento em seus níveis após a aplicação de vinhaça, indicando uma recuperação (DOS SANTOS et al., 2020).

A prática de irrigação frequente com vinhaça em concentrações iguais ou superiores a 50% foi observada como tendo impactos específicos no solo. Essa prática resultou em um aumento na condutividade elétrica (CE), bem como nos níveis de íons como potássio (K^+), sódio (Na^+), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}) e fósforo (P) disponível no solo. No entanto, também foi observada uma redução na quantidade de esporos de micorrizas arbusculares (FMA) (SANCHEZ-LIZARRAGA et al., 2018).

De Godoi et al. (2019) ressalta que a aplicação de tratamentos prévios à vinhaça pode torná-la um fertilizante natural mais ecologicamente viável para ser utilizado na fertirrigação do solo. Esse tratamento prévio pode incluir técnicas que reduzam ou removam componentes indesejados da vinhaça, tornando-a mais adequada para nutrir o solo de maneira sustentável. Ao utilizar a vinhaça tratada como fertilizante, pode-se reduzir o impacto ambiental negativo associado ao descarte inadequado ou ao uso excessivo desse subproduto.

Outra abordagem, é o processo de concentração da vinhaça resulta na formação de matéria orgânica seca, o que possibilita a elaboração de fertilizantes sólidos mais eficazes para uso na agricultura de cana-de-açúcar. Além disso, a concentração da vinhaça também resulta em um aumento significativo no teor

de potássio. O estudo econômico realizado indica que o investimento na tecnologia de osmose reversa é justificável, com um retorno de investimento estimado em 5,49 anos (SILVA et al., 2019).

No artigo experimental do autor Cardoso et al. (2021), os resultados obtidos indicam que a aplicação de vinhaça tem um efeito positivo no aumento dos teores de macronutrientes no solo. Em média, houve um incremento de 23% nos teores de macronutrientes em solos argilosos e um aumento ainda mais substancial de 80% em solos arenosos. Esse aumento na disponibilidade de macronutrientes é benéfico para o crescimento e desenvolvimento saudável das culturas, como a cana-de-açúcar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo de realizar um levantamento quali-quantitativo de artigos científicos sobre o potencial da vinhaça da cana-de-açúcar na agricultura. Assim, obtendo um total de 166 artigos ao adicionar os descritores e após a filtragem de acordo com os critérios de seleção, foram designados 12 artigos. Esses trabalhos relataram a eficiência da vinhaça da cana-de-açúcar no melhoramento do solo, sendo um grande aliado na incrementação de macronutrientes na área influenciando positivamente no crescimento da cultura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, I. S. Cultivo de cana de açúcar fertirrigada com vinhaça: uma revisão de literatura. 2021.

ARAÚJO, R. M. Caracterização morfológica e resposta às condições agrometeorológicas da cana-de-açúcar para o ambiente de clima temperado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas, 2016.

BARBOSA, R. M. Influência do sulfato na produção de metano a partir de vinhaça de cana-de-açúcar. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2018.

BENTO, L. R. et al. Release of nutrients and organic carbon in different soil types from hydrochar obtained using sugarcane bagasse and vinasse. **Geoderma**, v. 334, p. 24-32, 2019.

BEZERRA, J. D. C. et al. Cana-de-açúcar: Melhoramento genético e suas finalidades forrageiras. **Nucleus Animalium**, v. 10, n. 2, p. 131-147, 2018.

BORDONAL, R. O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, p. 1-23, 2018.

CARDOSO, E. N. L. et al. são os impactos da aplicação prolongada de vinhaça em solos argilosos e arenosos?. **Sugar Tech** , v. 24, n. 2, pág. 602-613, 2022. See More.

CARPANEZ, T. G. et al. Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: Opportunities and environmental risks. **Science of The Total Environment**, v. 832, p. 154998, 2022.

CHRISTOFOLETTI, C. A. et al. Vinhaça de cana-de-açúcar: implicações ambientais de seu uso. **Gestão de resíduos** , v. 33, n. 12, pág. 2752-2761, 2013.

CLAUDINO, T. M. Aspectos produtivos, morfológicos e tecnológicos de variedades de cana-de-açúcar tratadas com ácido fúlvico isolado. 2021.

COPAM. Deliberação normativa COPAM nº164 de 30/03/2011. Acesso em: 19 de agosto de 2023. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=142793#:~:text=Estabelece%20normas%20complementares%20para%20usinas,que%20lhe%20confere%20o%20art.>

COSTA, M. S. et al. Respostas biométricas da cana-de-açúcar sob altas doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 641-647, 2021.

DA SILVA, J. H. B. et al. Uso de vinhaça concentrada e enriquecida como biofertilizante na cana-de-açúcar: Uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n. 2, 2023.

DE ALMEIDA SILVA, M. et al. Características morfofisiológicas e produtividade de cana-de-açúcar variam de acordo com a cultivar e o regime hídrico. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 160-177, 2015.

DE CASTRO MARCATO, A. C. et al. Sistema híbrido de tratamento para remediação de vinhaça de cana-de-açúcar. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 659, p. 115-121, 2019.

DE CHAVES, M. G. et al. Subgrupos de acidobactérias e seu potencial metabólico para degradação de carbono em solo de cana-de-açúcar corrigido com vinhaça e fertilizantes nitrogenados. **Fronteiras em microbiologia**, v. 10, p. 1680, 2019.

DE GODOI, L. A. G. et al. Variação sazonal da composição orgânica e inorgânica da vinhaça da cana-de-açúcar: principais implicações para seus usos ambientais. **Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição**, v. 26, p. 29267-29282, 2019.

DE HOLANDA, L. A. et al. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 573-584, 2014.

DE MORAES CHITOLINA, G.; HARDER, M. N. C. Avaliação da viabilidade do uso de vinhaça como adubo. **Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN: 2236-9171)**, v. 10, n. 2, p. 08-24, 2020.

DE SOUZA, A. P. et al. A cana-de-açúcar como fonte de bioenergia: história, desempenho e perspectivas para o bioetanol de segunda geração. **BioEnergy Research**, v. 7, p. 24-35, 2014.

DE SOUZA, J. K. C. et al. Fertirrigação com vinhaça na produção de cana-de-açúcar. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 2, p. 7-12, 2015.

DIAS, F. M. F. Alguns elementos sobre a cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Brasil. **Geosul**, v. 36, n. 79, p. 116-142, 2021.

DOS SANTOS, O. A. Q. et al. O fogo causa perturbação no carbono orgânico no cultivo da cana-de-açúcar, mas é recuperado pela adição de vinhaça. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 739, p. 140063, 2020.

ELGHARBAWY, A. Uma revisão sobre a vinhaça Um subproduto da indústria da cana-de-açúcar. **Tendências Petro Eng**, v. 1, n. 2, pág. 1-3, 2021.

FIALHO, M. L. et al. O impacto da vinhaça produzida pela cana-de-açúcar na produção de etanol–poluição ambiental. **Intr@ ciência**, v. 17, p. 1-14, 2019.

FUESS, L. T. et al. Pros and cons of fertirrigation with in natura sugarcane vinasse: do improvements in soil fertility offset environmental and bioenergy losses?. **Journal of Cleaner Production**, v. 319, p. 128684, 2021.

JÚNIOR, S. O. M. et al. Caracterização morfológica e produtiva e suas correlações em cultivares de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 31-42, 2018.

MARRIEL, I. E.; PEREIRA FILHO, I. A. Manejo e uso da adubação orgânica e biológica. 2015.

MAZETO, J. P. A. Influência da auxina, citocinina e giberelina quando comparadas às formas de uso, seja isolada ou combinadas, e seus efeitos sobre os aspectos morfológicos, fisiológicos, de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar cultivada em suas fases iniciais. 2023.

NIKSERESHT, F. et al. Sugarcane molasse and vinasse added as microbial growth substrates increase calcium carbonate content, surface stability and resistance against wind erosion of desert soils. **Journal of environmental management**, v. 268, p. 110639, 2020.

PASSOS, H. S. et al. Impactos da expansão da cana-de-açúcar: percepção e prática científica. 2015.

PEDROSA, E. M. R. et al. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 197-201, 2021.

RIBEIRO, A. R. B. et al. Gestão da sustentabilidade no cultivo da cana-de-açúcar: um estudo de caso no nordeste do Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 3, p. 843-861, 2018.

RODRIGUES, I. J. Adequação da vinhaça de cana-de-açúcar para reuso agrícola: avaliação de diferentes tecnologias de tratamento e potenciais impactos ambientais. 2016.

ROGERS, T. D. **The deepest wounds: a labor and environmental history of sugar in Northeast Brazil**. Univ of North Carolina Press, 2010.

RUAS, G. S. et al. Remoção de matéria orgânica e nutrientes da vinhaça de cana-de-açúcar em um reator de microalgas-bactérias. **ARGAMASSA-Revista das Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, Geografia, Gestão, Decisão e Memória**, v. 1, n. 2, p. 6-16, 2018.

SANCHEZ-LIZARRAGA, A. L. et al. Irrigação com vinhaça: efeitos na fertilidade do solo e na população de fungos micorrízicos arbusculares. **Journal of Soils and Sediments** , v. 18, p. 3256-3270, 2018.

SANTOS, B. L. S. A responsabilidade penal da pessoa jurídica de direito privado em face dos danos ambientais. 2022.

SILVA, G. A. et al. Utilização de uma nova abordagem para concentração de potássio em vinhaça de cana-de-açúcar por osmose reversa: estudo de caso. **Jornal Internacional de Ciência e Tecnologia Ambiental** , v. 16, p. 6441-6446, 2019.

SOTO, M. A. et al. Impacto da fertirrigação da cana-de-açúcar por vinhaça nas propriedades físicas, químicas e hidráulicas do solo. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**, p. 103, 2017.

SOTOMAYOR, C. et al. Efecto de la aplicación de vinaza en propiedades químicas y físicas del suelo. **Revista industrial y agrícola de Tucumán**, v. 95, n. 1, p. 27-33, 2018.

STOLF, R.; OLIVEIRA, A. P. R. O sucesso do programa brasileiro de álcool (PROÁLCOOL) - uma breve história década a década do etanol no Brasil. **Engenharia Agrícola** , v. 40, p. 243-248, 2020.

TORQUATO, S. A. et al. Potencial da bioeletricidade no Brasil: uso da biomassa da cana-de-açúcar como energia alternativa e complementar. **Organisation| Organização**, p. 78, 2016.