

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**AGRONOMIA**

**ESTUDO DE CASO SOBRE A APLICAÇÃO DA DELIBERAÇÃO  
NORMATIVA COPAM Nº 164 NO PAV E O USO DA VINHAÇA COMO  
FERTILIZANTE**

ISABEL PRISCILA SILVA



Isabel Priscila Silva

**ESTUDO DE CASO SOBRE A APLICAÇÃO DA DELIBERAÇÃO NORMATIVA  
COPAM Nº 164 NO PAV E O USO DA VINHAÇA COMO FERTILIZANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para o grau de bacharel (a) em Agronomia.

Orientadora: Prof. Dra. Claudineia Ferreira Nunes

Montes Claros

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

## ATA

INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Aos 29 dias do mês de janeiro do ano de 2025, às 08:30 horas, a estudante ISABEL PRISCILA SILVA, matrícula 2018086671, defendeu o trabalho intitulado "Estudo de caso sobre a aplicação da Deliberação Normativa COPAM Nº 164 no PAV e o uso da vinhaça como fertilizante", tendo obtido a média 80 (oitenta).

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

**Nota:** 80 (oitenta)

**Orientador:** Claudineia Ferreira Nunes

**Nota:** 80 (oitenta)

**Examinadora:** Lourdes Silva de Figueiredo

**Nota:** 80 (oitenta)

**Examinador:** Fernanda Gonçalves de Moraes

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador(a) e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca



Documento assinado eletronicamente por **Claudineia Ferreira Nunes, Coordenador(a) de curso**, em 29/01/2025, às 11:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lourdes Silva de Figueiredo, Professora do Magistério Superior**, em 29/01/2025, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Gonçalves de Moraes, Usuário Externo**, em 29/01/2025, às 14:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3921015** e o código CRC **45C11DE0**.



Ao Álvaro, fonte da minha maior inspiração e  
motivação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força e saúde para chegar até aqui.

À UFMG e à FUMP, sou profundamente grata por me proporcionarem as condições necessárias para concluir minha graduação. Em especial, agradeço à Andreia e à Ayono, pelo acolhimento e pelo apoio constante durante toda a minha trajetória acadêmica. Também expresso minha gratidão aos funcionários da moradia estudantil, meu lar por quase dois anos, e aos do restaurante universitário, que preparavam as refeições com tanto zelo e dedicação.

Aos professores que fizeram parte desta jornada, agradeço por sua dedicação à ciência, mesmo em um cenário de desvalorização e escassez de recursos. Obrigada por transmitirem seus conhecimentos e por prepararem tantas pessoas para o mercado de trabalho e para a carreira acadêmica. Tenho grande admiração por todos vocês. Em especial, meu agradecimento às professoras Lourdes, Claudineia e Elka.

Aos colegas e amigos que conquistei ao longo desses anos, minha gratidão eterna, especialmente à Dani, Marta e Laura, que estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Agradeço à minha família – minha mãe, Maria Cândida; meu pai, David; e meus irmãos, Alfenix, Celma, Janay, Clederson, Cilma, Késsia e José – por serem meu maior apoio e torcida. Tenho certeza de que essa vitória também é de vocês.

Ao meu filho, Álvaro, a quem amo infinitamente e incondicionalmente, dedico minha mais profunda gratidão. Ele esteve comigo desde o início dessa trajetória, passando por todas as dificuldades ao meu lado. Mesmo tão pequeno, sempre acreditou na mamãe e me deu força e motivação para seguir em frente, apesar de todos os desafios.

Por fim, agradeço à banca examinadora deste trabalho, por sua valiosa contribuição e dedicação ao analisar e enriquecer este projeto, contribuindo para a conclusão desta importante etapa da minha vida.

## RESUMO

Este trabalho aborda a legislação e os aspectos técnicos relacionados ao uso sustentável da vinhaça, um subproduto da indústria sucroalcooleira, amplamente utilizado na fertirrigação de lavouras. Inicialmente, discute-se o panorama legal, destacando normas e regulamentações que visam minimizar impactos ambientais, como a contaminação do solo e das águas subterrâneas. Em seguida, são apresentadas diretrizes para a elaboração de um Plano de Aplicação de Vinhaça, enfatizando etapas como a caracterização do subproduto, escolha de áreas adequadas e monitoramento ambiental. O trabalho ainda explora desafios práticos, como o cumprimento das normas e a adoção de tecnologias para maximizar os benefícios agronômicos e minimizar riscos.

**Palavras chave:** Plano de Aplicação de Vinhaça, legislação, fertirrigação

## **ABSTRACT**

This study addresses the legislation and technical aspects related to the sustainable use of vinasse, a byproduct of the sugarcane industry widely applied in crop fertigation. Initially, it discusses the legal framework, highlighting regulations aimed at minimizing environmental impacts such as soil and groundwater contamination. Next, guidelines for developing a vinasse application plan are presented, emphasizing steps such as byproduct characterization, selection of suitable areas, and environmental monitoring. The study also explores practical challenges, including compliance with regulations and the adoption of technologies to maximize agronomic benefits while minimizing risks. Finally, future perspectives for vinasse management are discussed, considering its relevance in the context of agricultural sustainability.

**Keywords:** Vinasse Application Plan, legislation, fertigation

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Imagem 1- Tanque de armazenamento de vinhaça.....  | 22 |
| Imagem 2- Carretel de irrigação.....   | 23 |
| Imagem 3- Irrigação via aspersão.....  | 23 |
| Imagens 4- Aplicação de vinhaça localizada.....  | 24 |
| Imagem 5- Tanques de transporte de vinhaça.....  | 24 |
| Imagem 6- Fluxograma da geração, transporte e aplicação de vinhaça mais adubo foliar em campo..... | 25 |
| Imagens 7 e 8- Medidores de vazão individual.....  | 25 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1- Composição química da vinhaça para diferentes mostos .....  | 15 |
| Tabela 2- Etapas da metodologia.....  | 21 |
| Tabela 3- Resultados das análises realizadas no tanques de vinhaça, tanque de águas residuárias e no tanque de mistura..... | 27 |
| Tabela 4- Resultados das análises realizadas nos poços de monitoramento de água subterrânea.....                            | 29 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|           |   |
|-----------|---|
| ABNT      | Associação Brasileira de Normas Técnicas            |
| APP       | Área de Preservação Permanente                      |
| CETESB    | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo          |
| CONAB     | Companhia Nacional de Abastecimento                 |
| CONAMA    | Conselho Nacional do Meio Ambiente                  |
| COPAM     | Conselho Estadual de Política Ambiental             |
| CTC       | Capacidade de Troca Catiônica                       |
| CTC       | Centro de Tecnologia Canavieira                     |
| DBO       | Demanda Bioquímica de Oxigênio                      |
| DQO       | Demanda Química de Oxigênio                         |
| DN        | Deliberação Normativa                               |
| E2G       | Etanol de Segunda Geração                           |
| MAPA      | Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento |
| PAV       | Plano de Aplicação de Vinhaça                       |
| PEAD      | Polietileno de Alta Densidade                       |
| pH        | Potencial Hidrogeniônico                            |
| PIB       | Produto Interno bruto                               |
| PVC       | Policloreto de Vinila                               |
| PROALCOOL | Programa Brasileiro do Alcool                       |
| RENOVABIO | Política Nacional de Biocombustíveis                |
| ÚNICA     | União das Indústrias da Cana de Açúcar e Bioenergia |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                    | 11 |
| 1.1 Objetivo geral.....                               | 12 |
| 1.2 Objetivos específicos.....                        | 12 |
| 1.3 Justificativa.....                                | 12 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                         | 13 |
| 2.1 Setor sucroalcooleiro.....                        | 13 |
| 2.2 Vinhaça.....                                      | 15 |
| 2.3 Legislação e o Plano de Aplicação de Vinhaça..... | 17 |
| 3. METODOLOGIA.....                                   | 20 |
| 3.1 Caracterização da pesquisa.....                   | 20 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                         | 20 |
| 4.1 Caracterização da unidade industrial.....         | 21 |
| 4.2 Características operacionais.....                 | 21 |
| 4.2.1 Aplicação de vinhaça via aspersão.....          | 21 |
| 4.2.2 Aplicação de vinhaça localizada.....            | 23 |
| 4.3 Tanques de armazenamento de vinhaça.....          | 25 |
| 4.4 Sistemas de distribuição.....                     | 26 |
| 4.5 Vinhaça, água residuária e mistura.....           | 27 |
| 4.6 Águas subterrâneas.....                           | 28 |
| 5 CONCLUSÃO.....                                      | 31 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA .....                     | 31 |

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais utilizadas pelas indústrias sucroenergéticas, gerando subprodutos atualmente utilizados na produção agrícola, entre eles destaca-se a vinhaça. A vinhaça é um subproduto gerado no processo de produção de etanol e açúcar a partir da cana-de-açúcar. Esse resíduo tem sido utilizado de forma crescente na agricultura, especialmente como fertilizante orgânico, devido ao seu conteúdo nutricional, que inclui nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P) e outros minerais essenciais ao crescimento das culturas (ALMEIDA, 2022).

A vinhaça tem sido utilizada como fonte de nutrientes nos canaviais, especialmente o potássio, promovendo benefícios econômicos e ambientais. Dessa forma, a aplicação deste subproduto tem o potencial de melhorar a qualidade do solo e aumentar a produtividade das culturas agrícolas, especialmente em áreas com déficit de nutrientes ou em que os fertilizantes tradicionais são de difícil acesso ou muito caros. Estudos realizados nos últimos anos por Penatti *et al.* (1988), Peixoto (2006), Orlando Filho (1995) e Barbosa (2006), demonstram a viabilidade econômica e nutricional de se utilizar a vinhaça como adubo.

Entretanto, a aplicação de vinhaça também levanta questões relacionadas ao manejo ambiental e à conformidade com regulamentações. A Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental nº 164, de 30 de março de 2011, estabelece normas complementares para usinas de açúcar e destilarias de álcool, referentes ao armazenamento e aplicação de vinhaça e águas residuárias no solo agrícola, minimizando os impactos negativos ao meio ambiente, como a contaminação de corpos hídricos e a alteração do equilíbrio químico do solo.

A norma determina parâmetros rigorosos quanto à quantidade de vinhaça aplicada, a distância de corpos hídricos, a declividade das áreas de aplicação, entre outros fatores. Dessa forma, é necessário que cada unidade industrial elabore o Plano de Aplicação de Vinhaça (PAV) antes do início da safra, como parte do plano de manejo de cada usina. Assim, deve seguir essas diretrizes para garantir que o uso da vinhaça não prejudique o meio ambiente nem afete a saúde pública. O PAV deve conter: coleta e análise de solo na área de vinhaça para fertilidade; preparação cartográfica; resultados de análise de vinhaça semestral e demais informações contidas na legislação.

## 1.1 Objetivo Geral

Com base nesse contexto, o presente trabalho busca avaliar a conformidade do PAV de uma usina do setor sucroenergético do estado de Minas Gerais com a DN 164, analisando a aplicação de vinhaça em diferentes áreas de cultivo de cana-de-açúcar. O estudo foi realizado por meio da coleta e análise de documentos e a legislação que regem a aplicação de vinhaça nas lavouras de cana de açúcar e os impactos ambientais decorrentes de sua utilização.

## 1.2 Objetivos Específicos:

- Descrever as características operacionais da usina utilizada como estudo de caso;
- Apresentar os dados fornecidos no PAV da usina para a safra;
- Explicar detalhadamente como o PAV da usina é estruturado;
- Verificar os parâmetros de aplicação de vinhaça, incluindo volumes aplicados, distâncias de corpos hídricos e características do solo;
- Apresentar as conclusões sobre a importância do PAV para atender à legislação e promover a sustentabilidade no setor sucroalcooleiro.

## 1.3 Justificativa

A vinhaça, produzida a partir da destilação do etanol, apresenta elevada quantidade de matéria orgânica e nutrientes, podendo acarretar eutrofização e contaminação de cursos hídricos, quando descartada incorretamente (FUESS *et al.*, 2017). Causando alterações nos corpos hídricos diminuindo o oxigênio dissolvido, e no solo aumenta a acidez e causa salinização implicando em impactos negativos na estrutura do solo, na fertilidade ou no ambiente (FUESS, 2013; PEREIRA, 2004).

A escassez de estudos aprofundados sobre a aplicação de vinhaça em conformidade com essas normas em determinadas regiões justifica a realização deste estudo, pois ele permitirá avaliar a eficiência da aplicação e seus impactos ambientais, além de contribuir para a melhoria das práticas agrícolas na usina em foco. A observância das diretrizes da DN 164 é essencial para garantir que os benefícios sejam alcançados de forma sustentável e sem prejuízos para o meio ambiente.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Setor Sucroalcooleiro

O Brasil é o maior produtor de cana do mundo. Cultura que foi introduzida no país durante o período colonial, garante o primeiro lugar também na produção de açúcar e segundo na produção de etanol (MAPA, 2013). De acordo com Lins *et al.* 2007, a construção do setor se deu juntamente com o desenvolvimento da história do país, sendo as primeiras mudas plantadas em terras brasileiras em 1532. Com o objetivo de fortalecer a economia de Portugal, inicialmente o cultivo da cultura visava a fabricação do açúcar e se tornou o principal pilar da economia originada da agricultura, e a mais longeva da história brasileira no que diz respeito às bases econômicas (BRANDÃO, 1985).

Impactada pela crise do petróleo em 1973, a produção da cana de açúcar protagonizou um avanço agroindustrial elevado, culminando na criação do Proálcool, o Programa Nacional do Álcool, que tinha como objetivo minimizar a necessidade de importação de combustíveis fósseis, que sobrecarregava a balança comercial do Brasil (NATALE NETTO, 2007). Ao longo dos anos a produção de cana no país se deu de forma exponencial, sendo atualmente a região Sudeste a maior produtora, seguida pelas regiões Centro Oeste, Nordeste, Sul e Norte (CONAB, 2024).

Como consequência de investimentos e políticas internas e externas, o setor sucroalcooleiro é atualmente uma das principais bases da economia e contribui substancialmente para o Produto Interno Bruto (UNICA, 2023). A União da Indústria de Cana, Açúcar e Bioenergia afirma também que desde 2012 a cadeia produtiva do açúcar e etanol, representa 10% do PIB do agronegócio brasileiro e cerca de 2% do PIB nacional (UNICA, 2023). Tal cenário é sustentado pela expansão e pelo aprimoramento das técnicas de cultivo, sendo impulsionados por grandes investimentos estratégicos e condições climáticas favoráveis, garantindo o crescimento contínuo da produção (BRASIL,2021).

No Brasil, a produção da cultura da cana destina-se principalmente para produção de açúcar e etanol (PEREIRA *et al.*, 2020). Usado puro (etanol hidratado) ou misturado à gasolina (etanol anidro) seu uso contribui significativamente para a preservação ambiental devido à sua baixa pegada de carbono. Na comparação com a gasolina, o biocombustível reduz em até 90% as emissões de CO<sub>2</sub>. Em relação ao açúcar, o Brasil detém 25% da produção global.

O adoçante produzido nas usinas tem como destino as indústrias alimentícia, de bebidas e farmacêutica (ÚNICA, 2023).

Ainda de acordo com a ÚNICA, (2023) os demais produtos originados a partir da cana são a bioeletricidade, O E2G, ou etanol de segunda geração, gerado a partir da palha e bagaço. O biogás, produzido a partir de subprodutos da fabricação de etanol e açúcar. Outro produto é o biometano, obtido a partir da purificação do biogás, podendo substituir o gás natural. O etanol também é matéria-prima para a produção de diferentes plásticos com aplicação comercial e por fim, princípios extraídos da cana-de-açúcar são usados como base para a produção de cosméticos, incluindo perfumes.

Em se tratando de tecnologias e inovações no setor sucroenergético, é importante destacar a produção do etanol de segunda geração, ou etanol celulósico. Gerado a partir da sacarose retida na palha e no bagaço na produção do etanol convencional, possibilita um incremento da produção. Na busca por alternativas energéticas renováveis, o E2G surge como uma possível resposta frente a esse desafio. Sua produção tem potencial de aumentar em até 50% o volume de etanol e energia, com a mesma quantidade de material e área cultivada (ROSA E GARCIA, 2009).

No contexto das alterações climáticas e o avanço do aquecimento global, emerge a necessidade de priorizar o consumo de energia sustentável com baixo teor de carbono. O governo brasileiro tem compromisso de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 43% até 2030, com uma matriz energética composta por 45% de energia renovável, (GRANGEIA, SANTOS E LÁZARO, 2022). É neste cenário que foi criada a RenovaBio, Política Nacional de Biocombustíveis, que reconhece a importância dos biocombustíveis no setor energético brasileiro, tanto em termos de sua contribuição para a segurança energética, bem como o seu papel na redução das emissões de gases do efeito estufa no setor (GRANGEIA E SANTOS, 2020)

Nesse sentido, o setor sucroalcooleiro brasileiro, com seu pioneirismo na adoção de inovações tecnológicas e práticas sustentáveis, é perfeitamente capaz de liderar a transição energética, dada a sua importância na economia nacional. Para isso é importante continuar e expandir os investimentos em pesquisa e inovação, focados na otimização do uso de resíduos. Tal enfoque não apenas beneficia o setor, mas serve também como inspiração para outras indústrias na incorporação de práticas sustentáveis em suas operações (FILHO *et al*, 2024).

## 2.2 Vinhaça

Conhecida também como vinhoto, a vinhaça é um subproduto de cor marrom escuro, natureza ácida, proveniente da fermentação da cana-de-açúcar na produção do etanol (LIMA, 2016). Silva, 2017 afirma que são gerados nas indústrias sucroenergéticas em torno de 9 a 14 litros do subproduto para cada 1 litro de etanol produzido. Além da vinhaça são gerados outros resíduos, como o bagaço, palha e torta de filtro. Devido às suas propriedades físico-químicas e por se tratar de um resíduo com alto poder poluidor a vinhaça é o que recebe a maior atenção (LAIME, 2011; ROCHA *et. al.*, 2012).

Em relação às propriedades físico-químicas da vinhaça, essas irão depender do tipo de mosto utilizado no processo. Mosto é qualquer tipo de líquido capaz de sofrer fermentação. Além disso, outros fatores como a cana utilizada, métodos de fermentação e destilação adotados também influenciam na sua composição (SILVA, 2007; ROCHA *et. al.*, 2012). De forma geral, é composta por 93% de água. Dos 7% restantes, cerca de 75% correspondem a compostos orgânicos e biodegradáveis e 25% a compostos minerais (LUDOVICE, 1997). Já os compostos inorgânicos, os encontrados em maior proporção são potássio, enxofre, cálcio, nitrogênio, fósforo e magnésio (MUTTON *et. al.*, 2010).

Tabela 1- Composição química da vinhaça para diferentes tipos de mosto (2025)

| Parâmetro                    | Melaço      | Caldo        | Misto      |
|------------------------------|-------------|--------------|------------|
| pH                           | 4,2-5       | 3,7-4,6      | 4,4-4,6    |
| Temperatura °C               | 80-100      | 80-100       | 80-100     |
| DBO (mg/l)                   | 23000       | 6000-16500   | 19800      |
| DQO (mg/l)                   | 65000       | 15000-330000 | 45000      |
| Sólidos Totais (mg/l)        | 81500       | 23700        | 52700      |
| Sólidos Voláteis (mg/l)      | 60000       | 20000        | 40000      |
| Sólidos Fixos (mg/l)         | 21500       | 3700         | 12700      |
| Nitrogênio (mg/l N)          | 450-1610    | 150-700      | 480-710    |
| Fósforo (mg/l P)             | 100-290     | 10-210       | 9-200      |
| Potássio (mg/l K)            | 3740-7830   | 1200-2100    | 3340-4600  |
| Cálcio (mg/l Ca)             | 450-5180    | 130-1540     | 1340-4600  |
| Magnésio (mg/l Mg O)         | 420-1520    | 200-490      | 580-700    |
| Sulfato (mg/l SO 4)          | 6400        | 600-760      | 3700-3730  |
| Carbono (mg/l C)             | 11200-22900 | 5700-13400   | 8700-12100 |
| Relação C/N                  | 16-16,27    | 19,7-21,07   | 16,4-16,43 |
| Matéria Orgânica (mg/l)      | 63000       | 19500        | 3800       |
| Substâncias Redutoras (mg/l) | 9500        | 7900         | 8300       |

Fonte: Marques (2006)

A importância da vinhaça dentro do setor sucroalcooleiro se dá pelas suas características com potencial de aproveitamento nas atividades agrícolas (MARTINS *et al.*, 2017). Dentre as vantagens da sua aplicação em doses adequadas pode-se citar uma melhoria nas condições gerais de fertilidade do solo, aumento da matéria orgânica e da microflora, facilita a mineralização do nitrogênio, elevação do pH, acréscimo na disponibilidade de nutrientes, aumento da atividade microbiana e da capacidade de retenção da água, culminando no aumento da produtividade da cana (ROSSETTO *et al* 2008 e FUESS, 2013).

No entanto, a importância do assunto se deve também a possibilidade de o mau uso da vinhaça causar impactos negativos ao meio ambiente, como poluição ou contaminação de recursos hídricos subterrâneos (MARCATO, 2019). Isso porque em sua composição pode haver a presença de componentes tóxicos, como vestígios de açúcares e de etanol e compostos menos voláteis, além de uma elevada carga orgânica, o que a torna danosa quando descartada de forma inadequada. Freire e Cortez, 2000, afirmam que, em decorrência da riqueza de matéria orgânica e alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a vinhaça apresenta alto poder poluente, cerca de 100 vezes maior que o esgoto doméstico.

Do ponto de vista econômico, quando a cana é fertirrigada com vinhaça, principalmente por aspersão, o custo da adubação fica inferior quando não fertirrigada. Nesse sentido, desde que mantida uma rotina de aplicação adequada, o uso da vinhaça pode substituir total ou parcialmente a adubação mineral, não ocasionando problemas sanitários, como a proliferação de insetos e a geração de odores desagradáveis (CETESB, 2015). O custo tecnológico depende do tamanho da área a ser fertirrigada, antes utilizada com caminhões-tanque e atualmente através de motobombas, tubulações e canais-mestres revestidos nos canaviais, através de redes adutoras com tubos em PVC.

Existe um constante avanço em tecnologias que visam diminuir a produção de vinhaça, porem em decorrência de novos produtos canavieiros que estão surgindo, a geração desse efluente continuará sendo de grande quantidade. É importante que haja esforços para uma correta destinação desse efluente. Uma opção já praticada é a aplicação em lavouras por meio da fertirrigação. Ainda assim, um grande volume da vinhaça mantém-se sem destinação. Nesse contexto é fundamental o investimento em estudos que visam sanar ou minimizar os efeitos e danos ambientais, bem como o desenvolvimento de aplicações empregando-se esse efluente (ELIA NETO, 2016).

### 2.3 Legislação e o Plano de Aplicação de Vinhaça

A vinhaça é atualmente classificada como Resíduo CLASSE IIA – NÃO INERTE, por conter concentrações de substâncias solubilizadas que excedem o máximo permitido pelos padrões de potabilidade da água conforme o anexo G da norma da ABNT 10.004/2004 (ROCHA et. al., 2012). Até os anos 70, o despejo da vinhaça nos mananciais superficiais nas proximidades das usinas de açúcar e álcool era comum. Após décadas de lançamento nos corpos d'água ou nas chamadas áreas de sacrifício provocando a sua contaminação, em 1978 o Ministério do Interior aprovou a portaria número 323 que proíbe o lançamento de vinhaça nos cursos d'água (GONÇALO, 2009).

No Brasil ainda não existe uma política nacional específica para o uso de água residuária, mesmo em detrimento de algumas leis e decretos que devem ser obedecidos para a utilização de resíduos agroindustriais na agricultura. Deste modo, podem ser citados o código das águas (Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934) que, entre outros, resguarda os corpos hídricos livres da disposição de poluentes (ABREU JÚNIOR et al., 2005). Existe, ainda, a lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente; a Lei n. 7.960, de 21/12/89, que dispõe sobre a prisão temporária para crime de envenenamento de água potável, dentre outros.

Em 14 de agosto de 1975 é aprovado o decreto-lei N°.1413, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais, e em agosto de 1980 o Ministério do Interior institui a portaria N° 124, que baixa as normas no tocante à prevenção de poluição hídrica, para a localização de indústrias, construções ou estruturas potencialmente poluidoras. E a mais recente resolução, instituída pelo CONAMA, N°. 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e estabelece, ainda, as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências.

Ainda que não exista no Brasil nenhuma norma federal acerca dos critérios para a disposição da vinhaça alguns estados procuraram estabelecer parâmetros para sua aplicação, transporte e armazenamento, tendo em vista a sua nocividade ao meio ambiente se aplicada de forma indevida. São os casos da norma técnica CETESB 4.231/ 2015 em São Paulo e da Deliberação Normativa COPAM N°164 /2011 em Minas Gerais, que estabelece normas complementares

para usinas de açúcar e destilarias de álcool, referentes ao armazenamento e aplicação de vinhaça e águas residuárias no solo agrícola.

Desse modo, nas licenças ambientais de operação das indústrias sucroenergéticas são exigidos pelos órgãos ambientais licenciadores, a apresentação de um relatório técnico anual sobre a utilização da vinhaça na adubação dos solos. Este relatório técnico é conhecido como Plano de Aplicação de Vinhaça (PAV) e visa garantir que a vinhaça seja aplicada corretamente, evitando os danos ambientais da sua disposição em excesso. O PAV é composto de vários tópicos que abordam a caracterização da vinhaça e do solo, bem como informações sobre a localização dos tanques de armazenamento e dos canais mestres ou primários permanentes de distribuição, localização dos cursos d'água, poços utilizados para abastecimento, dados de geologia e hidrogeologia local, forma e dosagem de aplicação de vinhaça, etc. (ANDRADE, 2012).

O cálculo da dosagem de aplicação da mistura para enriquecimento do solo agrícola é realizado com base no resultado analítico do solo de cada módulo, coletado de acordo com o art 7º da DN 164/2011, e no resultado da amostragem da mistura utilizando-se a fórmula contida no art 8º da deliberação normativa. Os valores de CTC (Capacidade de Troca Catiônica) e teor de potássio no solo, são anexados ao PAV de acordo com as recomendações de doses de cada área, ambos em  $\text{cmol}/\text{dm}^3$  utilizados para determinação da dose máxima da mistura a ser aplicada, com base na fórmula apresentada a seguir:

$$D = \frac{[(CTC_{potencial} \times 94) + 185]}{TK}$$

Onde:

D = Dose de vinhaça (em  $\text{m}^3/\text{ha}$ );

CTC potencial = Capacidade de troca catiônica, obtida pela análise do solo; potencial do solo a pH 7 ( $\text{cmol}/\text{dm}^3$ );

94 = fator obtido considerando 5 a 6 % da CTC e uma profundidade de solo potencial de 40 cm;

185 = capacidade de extração da cana-de-açúcar (K<sub>2</sub>O, em Kg/ha), obtido considerando uma produtividade média do corte de uma soca (cerca de 80 t/ha), e uma extração média de K<sub>2</sub>O de 2,33 Kg/t cana-de-açúcar;

TK = Teor de K<sub>2</sub>O da vinhaça (Kg/m<sup>3</sup>), considerando-se as doses máximas de mistura permitidas calculada (DN COPAM N°164 /2011).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da pesquisa

Quanto á natureza, este estudo se classifica como uma pesquisa básica estratégica. Gil (2010) e Marconi e Lakatos (2017) mencionam que esse tipo de pesquisa tem por finalidade aprofundar o conhecimento científico sobre um determinado tema, sem ambição de resolver um problema prático, mas servindo como base para o desenvolvimento de outros trabalhos. Em relação ao objetivo do estudo, essa pesquisa se classifica como descritiva exploratória, já que se baseia em assuntos teóricos que já existem em outras pesquisas e são demonstrados principalmente no referencial teórico. Segundo Gil (1999), a pesquisa descritiva visa descrever características de um determinado fenômeno, bem como estabelecer relações entre variáveis. Com o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados. Já a pesquisa exploratória é conduzida com o objetivo de fornecer uma perspectiva geral acerca de um fato específico.

O presente estudo foi desenvolvido pelo método hipotético dedutivo e se utilizou da abordagem qualitativa. Nesse tipo de abordagem o estudo se preocupa com o nível de realidade que não pode ser quantificado, já que ela é trabalhada com o universo de significados, de motivações, aspirações, crenças, valores e atitudes (MINAYO, 2014). Por fim, quanto aos procedimentos técnicos, esta pesquisa pode ser considerada um estudo de caso bibliográfico documental. Se trata de um tipo de pesquisa caracterizada pelo estudo aprofundado e exaustivo de um ou de poucos objetos, permitindo um conhecimento amplo e detalhado. Pode ser adotado na investigação de fenômenos das mais diversas áreas do conhecimento (LEÃO,2019). As etapas da metodologia são descritas na tabela 2.

Tabela 2- Etapas da metodologia

| Ordem | Etapas | Descrição |
|-------|--------|-----------|
|-------|--------|-----------|

|   |                         |  |
|---|-------------------------|--|
| 1 | Caracterização          | Caracterização operacional e da Unidade Industrial |
| 2 | Distribuição de vinhaça | Descrição Tanques e sistemas de distribuição       |
| 3 | Análises                | Descrição das análises exigidas no PAV             |

Fonte: Autora (2025)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização da Unidade Industrial

Para a safra 2024/2025 a unidade realizou uma moagem de 2.211.748 toneladas de cana-de-açúcar, cultivadas em áreas arrendadas e de fornecedores, que foram processadas aproximadamente em 180 dias de safra. Desta operação foi obtido em torno de 78.250 m<sup>3</sup> de Etanol e 162.318 toneladas de Açúcar. O volume de vinhaça produzido foi de aproximadamente 668.880 m<sup>3</sup>/safra e foi devidamente aplicado em solo agrícola canavieiro, que foram aplicados em seu grande volume como vinhaça *in natura*, outra parte foi aplicada com vinhaça concentrada e vinhaça localizada. Também foram gerados 2.350.399 m<sup>3</sup> de efluentes líquidos residuários, que foram incorporados à vinhaça e usados na fertirrigação.

### 4.2 Características Operacionais

#### 4.2.1 Aplicação de vinhaça via aspersão

Um dos sistemas utilizado nas operações de aplicação de vinhaça é por aspersão. O transporte é realizado por canal ou adutora, e a aplicação é realizada por sistema autopropelido. O sistema de bombeamento da indústria para as áreas agrícolas ocorre através de uma caixa de captação de vinhaça localizada na área do site industrial (destilaria) e com apoio dos sistemas de turbo bombas que bombeiam para os canais em pontos de distribuição conforme planejamento técnico operacional.

O Sistema de recebimento e de aplicação da vinhaça para fertirrigação utiliza-se dos canais existentes e/ou das tubulações, onde a vinhaça é drenada para os tanques – reservatórios onde ocorre a distribuição para as frentes de trabalho, que poderá ocorrer por caminhões ou pelo sistema de perfil de tubulação previamente montado. A aplicação é realizada através dos

equipamentos autopropelido, tendo como monitoramento a velocidade do recolhimento da mangueira do carretel para controle do trabalho, bem como as taxas hidráulicas.

A área atual de fertirrigação pelo sistema de aplicação por aspersão, abrange um total de 10.081,83 hectares. Esta aplicação é realizada em todo ambiente de produção dentro da área da bacia de vinhaça previamente preparada para receber tal prática.

Imagem 1- Tanque de armazenamento de vinhaça



Fonte: Autora (2025)

Imagem 2- Carretel de irrigação



Fonte: Autora (2025)

Imagem 3- Irrigação via aspersão



Fonte: Autora (2025)

#### 4.2.2 Aplicação de Vinhaça Localizada

Em paralelo ao sistema de fertirrigação por aspersão, é utilizado em algumas áreas, o sistema de aplicação de vinhaça localizada, que se refere a uma técnica utilizada para adubação do solo. O produto da aplicação consiste na mistura da vinhaça propriamente dita de forma concentrada misturada com adubos foliares. Sua distribuição ocorre utilizando-se caminhões que transportam esta mistura até o campo, sendo 9 caminhões e 11 conjuntos de tanques para o transporte. Quando se chega no local a ser aplicado, tanques acoplados aos tratores são abastecidos e a aplicação é realizada diretamente na linha da cana.

A aplicação de forma localizada tem como vantagens a diminuição de eventuais odores causados pela degradação da matéria orgânica contida na vinhaça e deslocada pela ação do vento, dentre outros aspectos. Com esta técnica, busca-se atingir uma maior facilidade e flexibilidade operacional, que implica em maior segurança e controle técnico, econômico e ambiental. Utilizando esta técnica, não será necessário instalação, nem construção de sistemas de distribuição fixos como canais que transportam o produto para o campo, nem de sistemas de armazenamento fixos como por exemplos, reservatórios. A mistura (vinhaça + adubo foliar) é realizada em 02 pontos de carregamento localizados, na planta industrial e em uma das fazendas próximas.

Imagem 4- Aplicação de vinhaça localizada



Fonte: Autora (2025)

Imagem 5- Tanque de transporte de vinhaça



Fonte: Autora (2025)

Imagem 6- Fluxograma da geração, transporte e aplicação de vinhaça + adubo foliar em campo



### 4.3 TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE VINHAÇA

Com relação aos tanques de armazenamento de vinhaça a empresa possui 14 tanques revestidos com geomembrana PEAD e todos providos de dreno testemunhos. Os reservatórios e canais foram instalados anteriormente a norma regulamentadora para instalação de reservatórios, bem como a medição de nível de lençol freático, conforme preconiza a DN 164 de 2011. A empresa possui reservatórios na área industrial e agrícola, podendo ser utilizados para armazenamento de água, vinhaça, mistura ou água residuária. Para armazenamento de água residuária, foi construído 02 reservatórios com capacidade máxima de armazenamento de 10.000 m<sup>3</sup> cada (totalizando 20.000 m<sup>3</sup>) sendo que a área industrial tem uma geração máxima de água residuária de cerca de 13.057m<sup>3</sup> por dia.

Na área industrial para controle do fluxo e geração de água residuária e vinhaça está instalado medidor de vazão individual conforme. A empresa possui reservatórios suficientes para regularização do fluxo de vinhaça, águas residuárias e mistura, com volume útil mínimo correspondente a 1 (um) dia de geração, considerada a capacidade máxima instalada da unidade industrial.

Imagem 7 e 8: Medidores de vazão individual



Fonte: Autora (2025)

## 4.2 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

No tocante aos canais secundários instalados, é importante destacar que os canais de distribuição são estruturas utilizadas para transportar a vinhaça dos tanques aos talhões onde será aplicada no solo, havendo dois tipos principais de canais: os canais primários e os secundários. Ao chegar ao ponto de aplicação a vinhaça é direcionada para aplicação através de aspersores, na dosagem estabelecida no Plano de Aplicação de Vinhaça – PAV. É utilizado para conduzir a vinhaça nesta área o canal secundário. Este canal caracteriza-se por ser especificamente construído para o momento da aplicação da lâmina de fertilizante, sendo, portanto, muito pouco tempo utilizado, além do fato de que após o término da irrigação da área podem ser tamponados, ou substituídos por outra logística de distribuição, dependendo da sistematização do solo agrícola. Como o tempo de utilização do canal secundário é praticamente o mesmo da aplicação na área, não se faz necessário monitoramento adicional, sendo a área avaliada através do acompanhamento das áreas de aplicação de vinhaça.

## 4.5 APLICAÇÃO DE VINHAÇA/ÁGUA RESIDUÁRIA/MISTURA

Para definição das áreas de aplicação de vinhaça, de águas residuárias ou de sua mistura, é respeitado às recomendações abaixo:

- Distanciamento mínimo de 6 (seis) metros a partir dos limites das Áreas de Preservação Permanente – APPs;
- Declividade máxima de 15% para aplicação;
- A profundidade assegurada do nível do lençol freático mínima de 1,5 metros, determinada antes do início da safra no período de março a abril;
- O distanciamento mínimo de 1.000 metros de núcleos populacionais compreendidos na área do perímetro urbano;
- A faixa de domínio das ferrovias e rodovias federais ou estaduais;
- A faixa de proteção no entorno de poços de abastecimento para consumo humano, cuja largura nunca inferior a 15 metros em relação à borda do poço;
- As áreas com substrato rochoso vulnerável, tais como rochas calcárias com canais de dissolução, dolinas ou cavernas.

#### 4.6 VINHAÇA, ÁGUAS RESIDUÁRIAS E MISTURA

Em atendimento à DN 164/2011 foram realizadas campanhas de amostragem para caracterização dos efluentes industriais em maio e outubro de 2023. Os resultados das análises são demonstrados na tabela 3.

Tabela 3- Resultados das análises realizadas no Tanques de Vinhaça, Tanque de Águas Residuárias e no Tanque de Mistura

| Parâmetro             | Unid                    | Vinhaça     |                | Ref           | Águas residuárias |              | Ref          | Mistura       |               |
|-----------------------|-------------------------|-------------|----------------|---------------|-------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                       |                         | Mai/23      | Out/23         |               | Mai/23            | Out/23       |              | Mai/23        | Out/23        |
| Calcio Total          | mg/l                    | 1056,23     | 1564,81        | 863,9         | 74,8              | 572,2        | 214,4        | 76,5          | 468,77        |
| Cond. Elétrica        | $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 13460       | 10100          | 6553          | 758,8             | 1192         | 1086,1       | 1051          | 2600          |
| DBO                   |                         | 29717,1     |                | 11331,        | 1110,5            | 1519,9       |              | 1474,8        | 3880,1        |
|                       | mg/l                    | 2           | 29717,12       | 1             | 8                 | 6            | 5050,5       | 7             | 7             |
| DQO                   |                         |             |                | 31504,        |                   |              | 10575,       | 3759,3        |               |
|                       | mg/l                    | 42152       | 76034          | 6             | 2878,5            | 4286,1       | 8            | 5             | 9911,5        |
| Fosforo total         | P/l                     | 123,17      | 47,36          | 32            | 25,53             | 3,6          | 12,1         | 26,33         | 7             |
| Magnésio total        | mg/l                    | 482,85      | 530,17         | 535           | 45,77             | 31,54        |              | 32,55         | 80,78         |
| Ph                    |                         | 3,85        | 4,04           | 4,8           | 4,38              | 5,74         | 5,8          | 4,2           | 4,56          |
| <b>Potássio total</b> | <b>mg/l</b>             | <b>4886</b> | <b>5296,04</b> | <b>2666,6</b> | <b>101,44</b>     | <b>425,5</b> | <b>312,1</b> | <b>151,06</b> | <b>1377,4</b> |
| Sulfato               | mg/l                    | 2237,78     | 1049,17        | 861,2         | 18,73             | 16,47        | 41,4         | 53,65         | 221,68        |
| N Amoniacal           | mg/l                    | 36,4        | 8,4            | 36,6          | 28                | 37,52        | 10,6         | 42            | 10,08         |
| Óleos e graxas        | mg/l                    | 28,13       | 23,02          |               | 15,47             | $\leq 10$    |              | 26,29         | $\leq 10$     |
| Tem. Amostra          | °C                      | 42          | 47             |               | 39,8              | 47,4         |              | 39,9          | 39,6          |

Fonte: Plano de aplicação de Vinhaça (2024)

Para a análise desses resultados, a faixa de referência para os parâmetros analisados foi retirada do trabalho publicado por Elia Neto & Zotelli (2008), no qual foram estipulados valores de referência a partir de levantamentos realizados pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Os resultados das análises laboratoriais mostram a vinhaça e as águas residuárias com parâmetros físicos e químicos em geral acima das faixas médias utilizadas como referência, com algumas exceções, como DBO, DQO e Sulfato nas águas residuárias (Tabela 3).

Para esses compostos, é interessante que os parâmetros não apresentem concentrações muito acima dos valores médios, pois tais resultados podem ser indicativos de eventuais

contaminações do meio ao qual serão destinadas, já que concentrações demasiadamente elevadas de alguns parâmetros podem estar acima do poder de assimilação das lavouras, podendo acarretar a contaminação de recursos hídricos superficiais e subterrâneos (Elia Neto & Zotelli 2008).

Em relação aos óleos e graxas, as concentrações indicadas na campanha de amostragem em maio de 2023 foram elevadas em todos os compostos de fertirrigação (Tabela 3). Esta ocorrência deve ser alvo de maior atenção nos próximos monitoramentos

Ainda, em relação à vinhaça, a concentração média de potássio considerando as duas campanhas de amostragem esteve bem acima do valor de referência. Este parâmetro é o elemento chave para o cálculo do volume de fertirrigação por hectares de cana no Plano de Aplicação de Vinhaça – PAV e deve ser avaliado com ressalvas.

#### **4.7 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

A análise das águas subterrâneas na área de plantio teve enfoque na região da lagoa utilizada como reservatório para a fertirrigação de águas residuárias nas lavouras de cana de açúcar. Além disso, a lagoa está próxima a Área de Preservação Permanente – APP do rio Santana, tornando necessário o monitoramento das águas subterrâneas no local.

A malha de amostragem é composta de 1 (um) poço de monitoramento localizado a montante da lagoa e de 3 (três) poços de monitoramento a jusante, entre a lagoa e a APP do rio Santana, nomeados como pontos P01 JUS, P02 JUS e P03 JUS. Os resultados das análises laboratoriais realizadas em março e outubro de 2023 constam na Tabela 4. Para a análise das águas subterrâneas foi considerada a Resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, e a Deliberação Normativa COPAM nº 164/2011, que prevê a avaliação da qualidade das águas subterrâneas em áreas fertirrigadas.

Tabela 4 – Resultados das análises realizadas nos poços de monitoramento de água subterrânea

| Parâmetro             | Unid   | Conama<br>396<br>Consumo<br>Humano | Poços de Monitoramento - Águas Subterrâneas |          |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|--------|------------------------------------|---|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                       |        |                                    | P   | P01      | P02    | P03    | P      | P01    | P02    | P03    |
|                       |        |                                    | MONT  | JUS      | JUS    | JUS    | MONT   | JUS    | JUS    | JUS    |
| Març/2023             |        |                                    |   | Out/2023 |        |        |        |        |        |        |
| Profund. Nível d'água | m      | ..                                 | 3   | 5,08     | 2,88   | 4,54   | 4,14   | 6,67   | 2,62   | 5,75   |
| Calcio Total          | mg/l   | ..                                 | 48,59                                       | 16,14    | 50,92  | 20,14  | 55,73  | 51,83  | 46,72  | 31,71  |
| Magnésio total        | mg/l   | ..                                 | 15,76                                       | 2,7      | 13     | 3,89   | 32,67  | 7,19   | 23,74  | 5,54   |
| Manganês Total        | mg/l   | 0,1                                | 0,27  | 0,125    | 6,460  | 0,065  | 0,107  | 0,032  | 0,032  | ≤0,03  |
| Potássio total        | mg/l   | ..                                 | 3,11  | 15,25    | 4,99   | 5,78   | 10,33  | 51,83  | 14,3   | 4,7    |
| Sódio total           | mg P/l | 200                                | 3,82  | 17,67    | 7,519  | 4,42   | 8,92   | 39,21  | 23,76  | 16,61  |
| Sólidos Dissolvidos   | mg/l   | 1000                               | 204   | 130      | 274    | 82     | 172    | 162    | 248    | 100    |
| Sulfato               | mg/l   | 250                                | ≤0,8  | ≤0,8     | ≤0,8   | ≤0,8   | 3,78   | 1,95   | ≤0,8   | 1,13   |
| Cond. Elétrica        | µS/cm  | ..                                 | 376,00                                      | 240,00   | 640    | 145,00 | 413,00 | 334,00 | 679,00 | 173,00 |
| Fenóis Totais         | mg/l   | 0,003                              | ≤ 0003                                      | ≤ 0003   | ≤ 0003 | ≤ 0003 | ≤ 0003 | ≤ 0003 | ≤ 0003 | ≤ 0003 |
| Nitrato               | mg/l   | 10                                 | 0,23  | 0,64     | 0,45   | ≤0,2   | 0,74   | 2,04   | 4,04   | 0,87   |
| Nitrogênio Amoniacal  | mg/l   | ..                                 | ≤0,2  | ≤0,2     | 6,16   | ≤0,2   | 3,64   | ≤0,2   | 8,40   | ≤0,2   |
| Ph                    | ..     | ..                                 | 6,59  | 5,08     | 6,43   | 6,31   | 6,81   | 5,63   | 6,50   | 6,27   |
| Tem. Amostra          | °C     | ..                                 | 27,24                                       | 25,24    | 25,60  | 25,33  | 25,90  | 26,10  | 23,50  | 24,00  |

Fonte: Plano de Aplicação de Vinhaça (2024)

Vale ressaltar que a área de monitoramento é predominantemente agrícola, composta por lavouras de cana de açúcar e pasto para pecuária, sendo que o limite estabelecido para consumo humano é um cenário hipotético com maior restrição nas concentrações de determinados parâmetros e conseqüentemente maior segurança na gestão ambiental. Ainda, em relação ao manganês as concentrações encontradas não se constituem em motivos para alardes, já que deve ser considerada a presença deste parâmetro no subsolo local, sendo esperada a presença desse mineral nas águas subterrâneas.

As análises dos nutrientes nitrato, potássio e cálcio (Tabela 4), utilizados como sinalizadores de um eventual incremento nas águas subterrâneas por águas residuárias apresentaram resultados distintos. As maiores concentrações de potássio foram encontradas no poço P01 JUS e as maiores de cálcio no poço P MONT, a concentração de nitrato esteve mais elevada no poço P02 JUS durante a campanha de outubro de 2023. A princípio os resultados não apontam para impacto da lagoa na qualidade das águas subterrâneas.

As concentrações de cálcio estiveram altas praticamente em todos os poços de monitoramento analisados, em ambas as campanhas de amostragem, tanto no poço a montante como nos poços à jusante da lagoa (Tabela 4). Por conta das características de um solo calcário na região, as concentrações de cálcio nas águas estão correlacionadas principalmente a geomorfologia local.

Os resultados mostram que do conjunto de poços de monitoramento de águas subterrâneas avaliados, o ponto P02 JUS apresentou águas com maiores concentrações de manganês, sólidos dissolvidos e as frações de nitrogênio (nitrato e nitrogênio amoniacal) do que os demais pontos monitorados. Já o poço P01 JUS indicou as maiores concentrações de sódio e potássio (Tabela 4).

Os resultados das análises laboratoriais e também dos dados coletados em campo durante as campanhas de entressafra em março de 2023 e no período de safra em setembro de 2023 permitiram aumentar o conhecimento de cada corpo hídrico, em momentos hidrológicos distintos.

Os resultados mostraram águas com boa e média qualidade, com apenas alguns desvios aos limites previstos na DNC COPAM/CERH 08/2022 para os parâmetros fósforo total, óleos e graxas, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos e turbidez (Tabela 3). As águas subterrâneas apresentaram boa qualidade nos quatro poços de monitoramento avaliados, sem nenhum indício de contaminação bacteriológica. Os resultados também mostram que do conjunto de poços de monitoramento de águas subterrâneas avaliados, P02 JUS apresentou águas com maiores concentrações de manganês, sólidos dissolvidos e as frações de nitrogênio (nitrato e nitrogênio amoniacal) do que os demais pontos monitorados. Já o poço P01 JUS indicou as maiores concentrações de sódio e potássio.

## **5. CONCLUSÃO**

A partir dos estudos bibliográficos e documentais foi possível analisar e compreender como de fato, o Plano de Aplicação de Vinhaça é elaborado e aplicado na unidade produtora em foco nesse estudo, alinhado com as exigências da DN 164 do COPAM.

Conclui-se que a empresa em questão atendeu de forma satisfatória a legislação, com informações claras e detalhadas. Foi possível compreender o processo de fabricação da vinhaça, desde a sua liberação na indústria até o seu retorno, nas áreas de plantio da cana de açúcar. Por fim, a estruturação do PAV demonstra ao órgão competente, a capacidade que a empresa possui

de destinar de forma ambientalmente correta e sustentável os resíduos gerados a partir da produção do etanol e do açúcar.

Como proposta de novos estudos sugere-se uma investigação de como os órgãos ambientais atuam para garantir que as indústrias cumprem na prática, o que é exigido na legislação. É de grande importância entender de que forma as empresas são auditadas e a eficiência dessas auditorias. É imprescindível garantir que um efluente tão danoso seja descartado adequadamente visando a preservação do meio ambiente e a saúde da população.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; FERREIRA, M. E.; BORKERT, C. M. **Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre.** In: FERREIRA, M. E. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, 2001. p.125-15.

ALMEIDA, Jéssica Nayara Silva; Rizzatto, Márcia luzia. **Biogás de vinhaça: uma revisão.** Scientific Electronic Archives, [S. l.], v. 15, n. 6, 2022.

ANDRADE, J. M. F. de; DINIZ, K. M. Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: subsídios para a gestão. ESALQ. Piracicaba, 2007.

BARBOSA, E. A. A. et al. **Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 952-958, 2006.

BRANDÃO, A. **Cana-de-açúcar: álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil.** Brasília: Horizonte Editora, 1985. 269 p.

BRASIL. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 164, de 30 de março de 2011.** Estabelece normas complementares para usinas de açúcar e destilarias de álcool, referentes ao armazenamento e aplicação de vinhaça e águas residuárias no solo agrícola. Diário do Executivo, Minas Gerais, 12 abr. 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br>. Acesso em: 5 jan. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2020/21 a 2030/31: projeções de longo prazo. Brasília, DF, 2021.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio>. Acesso em: 27 dez. 2024.

CETESB. **Norma Técnica: P4.231: Vinhaça - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. 3. ed. 2. versão. São Paulo: Cetesb, fev. 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v. 12 – safra 2024/25, n. 3 – Terceiro levantamento | novembro 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: dez. 2024.

ELIA NETO, A. **Estado da arte da vinhaça**. In: 2º workshop resíduos urbanos e agrícolas: energia, reciclagem de nutrientes e produção de fertilizantes, 2016, Campinas.

FILHO, L. L. et al. **Panorama do setor sucroalcooleiro brasileiro: da produção ao processamento dos resíduos associados à cadeia de cana-de-açúcar**. Observatório de la Economía Latinoamericana, v. 22, n. 6, e5076, 2024.

Freire, W. J.; Cortez, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203 p.

FUESS, L. T. **Potencial contaminante e energético da vinhaça: riscos de contaminação ao solo e recursos hídricos e recuperação de energia a partir da digestão anaeróbica**. 2013. 161 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

FUESS, Lt; Rodrigues, Ij; Garcia, Ml. **Fertirrigation with sugarcane vinasse: foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization**. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 52(11), 2017.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019b.

GRANGEIA, C.; SANTOS, L.; LAZARO, L. L. B. **The Brazilian biofuel policy (RenovaBio) and its uncertainties: An assessment of technical, socioeconomic and institutional aspects**. Energy Conversion and Management: X, v. 13, p. 100156, jan. 2022.

LAI ME, E. M. O. et al. **Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão**. Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, Chapadinha, v. 5, n. 3, p. 16-29, 2011.

LEÃO, L. M. **Metodologia do estudo e pesquisa: facilitando a vida dos estudantes, professores e pesquisadores**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2017.

LEITE, G. de F. **Avaliação econômica da adubação com vinhaça e da adubação mineral de soqueiras de cana-de-açúcar na Usina Monte Alegre Ltda.** - Monte Belo – MG. Revista Universidade Alfenas, Alfenas, v. 5, p. 189-191, 1999.

LIMA, A. F. et al. **Revisão sobre a toxicidade e impactos ambientais relacionados à vinhaça, efluente da indústria sucroalcooleira**. Cadernos UniFOA, v. 11, n. 32, p. 27-34, 2016.

LIMA, H. H. S. **Tratamento físico-químico da vinhaça por coagulação e adsorção em carvão ativado do bagaço da cana-de-açúcar**. 2013. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

LINS, C.; SAAVEDRA, R. **Sustentabilidade corporativa no setor sucroalcooleiro brasileiro**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. Acesso em: dez. 2024.

LUDOVICE, M. T. F. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1997. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cana de Açúcar**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: dez. 2024.

MARCATO, A. C. D. C. **Utilização de um sistema híbrido de tratamento para biorremediação da vinhaça e avaliação da sua toxicidade por meio de análises histológicas e moleculares**. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista.

MARCONI, Marina de Andrade; Lakatos, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, M. O. **Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça**. In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 369-375.

MARTINS, PC, de-Oliveira, MC, da-Silva, DM, Mesquita, SA, Oliveira, HC, & Marchesin, WA (2017) **Use of liquid vinasse as a feed additive for Japanese quails**. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 30(4), 278-285.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Nota Explicativa sobre a Proposta de Criação da Política Nacional de Biocombustíveis**. 2017.

Minayo, M. C. S. **Los conceptos estructurantes de la investigación cualitativa**. *Salud Colectiva*, v. 6, n. 3, p. 251-261, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.org.ar>. Acesso em: 17 ago. 2011.

MUTTON, M. A.; ROSSETTO, R.; MUTTON, M. J. R. **Utilização agrícola da vinhaça**. In: CORTEZ, L. A. B. *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, 2010. Capítulo 10. p. 423-440.

NATALE NETTO, J. **A saga do álcool: fatos e verdades sobre os 100 anos do álcool combustível em nosso país**. Osasco: Novo Século, 2007. 343 p.

ORLANDO Filho, J. **Absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) variedade CB41-76, em três grandes grupos de solos no Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1978. 154 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1978.

PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência**. 1. ed. Itu: Ottoni, 2013.

PENATTI, C. P.; Araújo, J. V.; Forti, J. A.; Ribeiro, R. **Doses de vinhaça e nitrogênio aplicadas em cana-soca durante quatro safras em solo LV – Usina São José da Estiva**. STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 19, n. 5, p. 38-41, 2001.

PENATTI, C. P.; Cambria, S.; Boni, P. S.; Arruda, F. C. O.; Manoel, L. A. **Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar**. São Paulo, 1988. p. 32-38. (Boletim Técnico da Coopersucar, 44).

PEIXOTO, Aristeu M. (coord.) et al. **Vinhaça**. In: Enciclopédia Agrícola Brasileira: s-z Vol. 6. 6. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006. p. 554-559.

PEREIRA, L. A. G.; BARRETO, J. B. **Geografia das exportações de açúcar e de etanol no estado de Minas Gerais**. Revista Campo-Território, v. 15, n. 36, p. 230-258, 2020.

ROSA, S.E.S.; GARCIA, J.L.F. **O etanol de segunda geração: limites e oportunidades**. Revista do BNDES, n. 32, p. 117-156, 2009.

SILVA, JLD (2017) **Desenvolvimento de detectores nanoestruturados de óxidos metálicos em grafeno para detecção eletroquímica de aminoácidos em vinhaça de cana-de-açúcar utilizando cromatografia líquida de alta eficiência**. Tese de Doutorado. Instituto de Química, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

Resolução CONAMA nº 503, de 14 de dezembro de 2021. **Define critérios e procedimentos para o reuso em sistemas de fertirrigação de efluentes**. Disponível em: <https://www legisweb.com.br>. Acesso em: 20 dez. 2024.

ROSSETTO, R.; Dias, F. L. F.; vitti, A. C.; Tavares, S. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.de; LANDELL, M. G. de A., (ed.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 289-312.

UNICA – **União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia**. Disponível em: <https://unica.com.br/>. Acesso em: dez. 2024.