

Universidade Estadual Paulista

Wagner Ribeiro Messias Junior

VINHAÇA NA PLANTAÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR: MODELO DE
ANÁLISE PARA IDENTIFICAR A
APLICAÇÃO MAIS FAVORÁVEL
ENTRE A TÉCNICA DE VINHAÇA
CONVENCIONAL E A OTIMIZADA

Jaboticabal

2024

WAGNER RIBEIRO MESSIAS JUNIOR

VINHAÇA NA PLANTAÇÃO DE CANA-DE-
AÇÚCAR: MODELO DE ANÁLISE PARA
IDENTIFICAR A APLICAÇÃO MAIS
FAVORÁVEL ENTRE A TÉCNICA DE
VINHAÇA CONVENCIONAL E A OTIMIZADA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como exigência
parcial para obtenção do grau de Mestre em
Administração.

Área de Concentração: Economia e Finanças Aplicadas
nas Organizações Agroindustriais

Orientador: Prof. Dr. Adriano dos Reis Lucente

Jaboticabal

2024

M585v	Messias Junior, Wagner Ribeiro Vinhaça na plantação de cana-de-açúcar: modelo de análise para identificar a aplicação mais favorável entre a técnica de vinhaça convencional e a otimizada / Wagner Ribeiro Messias Junior. -- Jaboticabal, 2024 92 p. : tabs., fotos Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Adriano dos Reis Lucente 1. Vinhaça. 2. Inovações tecnológicas. 3. Cana-de-açúcar. 4. Resíduos agrícolas. 5. Agronegócio. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: VINHAÇA NA PLANTAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR: MODELO DE ANÁLISE PARA IDENTIFICAR A APLICAÇÃO MAIS FAVORÁVEL ENTRE A TÉCNICA DE VINHAÇA CONVENCIONAL E A OTIMIZADA

AUTOR: WAGNER RIBEIRO MESSIAS JUNIOR

ORIENTADOR: ADRIANO DOS REIS LUCENTE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Administração, área: Gestão de Organizações Agroindustriais pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ADRIANO DOS REIS LUCENTE (Participação Virtual)
Departamento de Economia Administracao e Educacao / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO DOS REIS LUCENTE**
Data: 23/04/2024 18:53:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. LUIS FERNANDO SOARES ZUIN (Participação Virtual)
Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

Documento assinado digitalmente
 **LUIS FERNANDO SOARES ZUIN**
Data: 19/04/2024 16:31:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ELTON EUSTAQUIO CASAGRANDE (Participação Virtual)
Departamento de Economia / FCLAr UNESP Araraquara

Documento assinado digitalmente
 **ELTON EUSTAQUIO CASAGRANDE**
Data: 21/04/2024 12:08:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 12 de março de 2024

*Dedico este trabalho aos meus pais e a todos
que me ajudaram ao longo desta caminhada.*

Agradecimentos

A presente dissertação de mestrado não poderia ficar sem os agradecimentos, pois não poderia ser possível chegar até aqui sem o apoio incondicional que várias pessoas me deram.

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por tudo que me fizeste, em todos os momentos em que eu coloquei o pé, ele me colocou o chão. Isso foi fundamental para conseguir concluir esse mestrado.

Dentro na UNESP agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Adriano dos Reis Lucente por toda a paciência, empenho e ajuda nos momentos mais difíceis; aos meus colegas de Mestrado em Administração pelo apoio no dia a dia e a todos os funcionários e docentes que faz o câmpus ser simplesmente incrível.

Por último e não menos importante, quero agradecer aos meus pais, irmãs, namorada e amigos, em especial meu amigo Albson Mercês de Souza, nos momentos que eu acreditava que não ia conseguir concluir o mestrado, eles estavam prontos para me ajudar.

Resumo

Objetivo

O presente estudo parte do princípio de que há distintos tipos de aplicação do subproduto vinhaça, a vinhaça convencional e a vinhaça otimizada, e que cada método de aplicação é mais favorável para determinadas realidades. Diante disso, o objetivo deste estudo é desenvolver uma proposta de modelo de análise que permita os leitores identificarem a técnica de aplicação mais vantajosa, seja a V.C ou a V.O, com base em sua situação específica.

Metodologia / Procedimentos de Pesquisa

Trata-se de uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem predominantemente qualitativa, mas sem excluir a característica quantitativa, com o objetivo exploratória/descritiva. O primeiro procedimento técnico utilizado foi a pesquisa documental e o segundo estudo de caso. Neste trabalho, foram utilizadas técnicas de coletas de dados através de observação de campo, análise documental, entrevistas em profundidade, ou seja, foram utilizadas múltiplas fontes. E por fim, esta pesquisa definiu como forma de interpretação a análise de conteúdo (AC).

Resultados e Discussões

Os resultados alcançados após completar todas as etapas do modelo de análise (Quadro 19, 20 e 21), permitirão que você, leitor, chega à conclusão sobre a melhor decisão de aplicação de vinhaça para a sua realidade específica, ou seja, você poderá escolher entre a vinhaça convencional ou vinhaça otimizada com base nos dados e análises realizadas.

Implicações Gerenciais

A construção de um modelo de análise para identificar a técnica aplicação mais favorável entre as diferentes abordagens traz para o setor sucroenergético uma nova ferramenta para avaliação e tomada de decisão. Isso contribui para melhorar a lucratividade no setor. No entanto, a escassa literatura sobre os tipos de aplicações dificulta o entendimento amplo delas.

Conclusões e Limitações da Pesquisa

Conclui que não há uma aplicação melhor ou pior entre as duas; nenhuma veio com o intuito de substituir a outra, mas sim para se complementarem. Para uma determinada realidade, uma técnica de aplicação pode ser mais adequada, enquanto, para outra realidade, a escolha recai sobre a outra técnica. A baixa disponibilidade de informações sobre os dois métodos de aplicação representa uma limitação deste trabalho, pois limitou a amplitude da revisão bibliográfica.

Originalidade

Por ainda faltar muitas informações teóricas sobre as aplicações V.O e V.C., este estudo teve uma abordagem inovadora ao explorar áreas pouco discutidas até então. Consequentemente, a pesquisa contribuiu significativamente para preencher uma lacuna no conhecimento existente sobre o tema. Além disso, foi desenvolvido um modelo de análise diferenciado, adaptado especificamente para o setor sucroenergético, visando oferecer uma ferramenta diferenciada para avaliação e tomada de decisões nesse campo.

Palavras-chaves: Vinhaça, Inovações Tecnológicas, Cana-de-açúcar, Resíduos Agrícolas, Agronegócio.

Abstract

Purpose

The present study assumes that there are different types of application of the vinasse by-product, conventional vinasse and optimized vinasse, and that each application method is more favorable for certain realities. Therefore, the objective of this study is to develop a proposed analysis model that allows readers to identify the most advantageous application technique, whether V.C or V.O, based on their specific situation.

Design/methodology

This is an applied research, with a predominantly qualitative approach, but without excluding the quantitative characteristic, with an exploratory/descriptive objective. The first technical procedure used was documentary research and the second case study. In this work, data collection techniques were used through field observation, document analysis, in-depth interviews, i.e., multiple sources were used. And finally, this research defined content analysis (CA) as a form of interpretation.

Findings and Discussions

The results achieved after completing all stages of the analysis model (Tables 19, 20 and 21), will allow you, the reader, to reach the conclusion about the best decision to apply vinasse for your specific reality, that is, you will be able to choose between conventional vinasse or optimized vinasse based on the data and analyzes carried out.

Management Implication

The construction of an analysis model to identify the most favorable application technique among the different approaches brings to the sugar-energy sector a new tool for evaluation and decision-making. This contributes to improving profitability in the sector. However, the scarce literature on the types of applications makes it difficult to understand them broadly.

Conclusion and Research limitations

It concludes that there is no better or worse application between the two; Neither came with the intention of replacing the other, but rather to complement each other. For a given reality, one application technique may be more appropriate, while, for another reality, the choice falls on the other technique. The low availability of information about the two application methods represents a limitation of this work, as it limited the scope of the bibliographic review.

Originality

As there is still a lack of theoretical information about V.O and V.C. applications, this study took an innovative approach by exploring areas little discussed until then. Consequently, the research contributed significantly to filling a gap in existing knowledge on the topic.

Furthermore, a differentiated analysis model was developed, specifically adapted for the sugar-energy sector, aiming to offer a differentiated tool for evaluation and decision-making in this field.

Keywords: Vinasse, Technological Innovations, Sugarcane, Agricultural Waste, Agribusiness.

Lista de Abreviaturas

AC – Análise de Conteúdo

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

GEE - Gases de Efeito Estufa

IFA – International Fertilizer Industry Association

IL – Índice de Lucratividade

ROI – Retorno do Investimento

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária

MPB - Mudas Pré-Brotadas

NPK - Nitrogênio, Fósforo e Potássio

Secex – Secretaria de Comércio Exterior

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

TIR – Taxa Interna de Retorno

EUA – Estados Unidos da América

VPL – Valor Presente Líquido

V.C. – Vinhaça Convencional

V.O. – Vinhaça Otimizada

Lista de Figuras

Figura 1. Estágio de crescimento da cana-de-açúcar.....	26
Figura 2. Processo de plantio manual versus plantio mecanizado	29
Figura 3. Fluxograma da produção de etanol hidratado e anidro	34
Figura 4. Bagaço da cana-de-açúcar obtido após processo de moagem.....	38
Figura 5. Torta de Filtro a ser utilizada como fertilizante.....	40
Figura 6. Vinhaça obtida durante a produção de etanol	41
Figura 7. Fórmula do retorno sobre investimento	56
Figura 8. Fórmula do valor presente líquido	57
Figura 9. Fórmula da taxa interna de retorno	57
Figura 10. Fórmula do índice de lucratividade.....	58
Figura 11. Análise de conteúdo	66

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Produção de Etanol derivada da cana-de-açúcar desde o ano de 2017	24
---	----

Lista de Quadros

Quadro 1. Catalogação dos resíduos da usina de etanol e sua origem	37
Quadro 2. Quantidades de macronutrientes (kg) contidos na parte aérea da cana, para a produção de 100 t de colmo (peso verde).....	46
Quadro 3. Quantidades de macronutrientes (g) contidos na parte aérea da cana, para a produção de 100 t de colmo (peso verde).....	47
Quadro 4. Diferenças entre os sistemas de irrigação mais utilizados quanto à irrigação e eficiência dos fertilizantes	52
Quadro 5. Ponderações sobre a distância econômica possível para cada tipo de vinhaça.....	54
Quadro 6. Todos os critérios analisados para desenvolver o modelo	55
Quadro 7. Instrumento para observação.....	63
Quadro 8. Definição dos informantes	64
Quadro 9. Todos os critérios, quantitativos e qualitativos	68
Quadro 10. Critérios de avaliação econômica de investimentos.....	69
Quadro 11. Somente os critérios quantitativos, expressos em reais (R\$) e relacionados a receitas, custos e despesas	70
Quadro 12. Somente os critérios qualitativos.....	71
Quadro 13. Quadro de funcionários: Enriquecimento de vinhaça	71
Quadro 14. Quadro de funcionários: Aplicação por aspersor	71
Quadro 15. Quadro de funcionários: Cultivo	71
Quadro 16. Projeto vinhaça enriquecida	72
Quadro 17. Vinhaça Aspersor	72
Quadro 18. Cultivador em área de vinhaça.....	72
Quadro 19. Cultivador sem aplicação de vinhaça.....	73

Lista de Símbolos

B: Boro

C: Carbono

Ca: Cálcio

CO₂: Gás Carbônico

Cu: Cobre

Fe: Ferro

H: Hidrogênio

K: Potássio

Mg: Magnésio

Mn: Manganês

N: Nitrogênio

OH: Hidroxila

P: Fósforo

S: Enxofre

Zn: Zinco

Sumário

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Contextualização da Pesquisa	17
1.2. Problema de Pesquisa	19
1.3. Objetivos	20
<i>1.3.1. Objetivo Geral</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos</i>	<i>20</i>
1.4. Justificativa da Pesquisa.....	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1. A Cana-de-açúcar.....	25
2.2. Processo de Produção do Etanol.....	28
<i>2.2.1. Plantio da cana-de-açúcar</i>	<i>29</i>
<i>2.2.2. Corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar</i>	<i>30</i>
<i>2.2.3. Recepção, preparo e moagem.....</i>	<i>32</i>
<i>2.2.4. Tratamento e filtragem do caldo</i>	<i>32</i>
<i>2.2.5. Fermentação, destilação e desidratação do caldo</i>	<i>33</i>
2.3. Avanços na Produção de Etanol	35
2.4. Resíduos Gerados na Produção de Álcool: Obtenção e Destinação	36
<i>2.4.1. Bagaço</i>	<i>38</i>
<i>2.4.2. Torta de filtro.....</i>	<i>39</i>
<i>2.4.3. Vinhaça</i>	<i>41</i>
2.5. Fertilizantes Orgânicos: Conceito e Ponderações	44
2.6. Necessidades Nutricionais do Cultivo da Cana-de-açúcar	45
2.7. Vinhaça Pura como Fertilizante	48
2.8. Aplicação Localizada de Vinhaça Enriquecida com Fertilizantes	51
2.9. Critérios Utilizados no Modelo	55

3. METODOLOGIA	61
3.1. Caracterização da Pesquisa.....	61
3.2. Técnicas de Coleta e Análise de Dados.....	62
3.2.1. <i>Técnicas de Coleta</i>	62
3.2.1.1 Observação de campo.....	62
3.2.1.2 Análise documental	63
3.2.1.3 Entrevistas em profundidade.....	64
3.2.2. <i>Análise de Dados</i>	65
3.2.2.1 Análise de Dados Para a Abordagem Qualitativa	66
3.2.2.2 Análise de Dados Para a Abordagem Quantitativa	66
3.3. Descrição do Objeto de Estudo	67
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
4.1. Resultados	68
4.2. Discussão dos Resultados.....	73
4.3. Implicações Gerenciais	76
5. CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS	80

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização da Pesquisa

A produção de etanol no cenário brasileiro vem crescendo significativamente desde a década de 70 por vários fatores, primeiramente a crise do petróleo impulsionou a exportação desse produto, pois as refinarias de produção de combustíveis a partir de matéria-prima fóssil passaram a adicionar etanol à gasolina devido às oscilações constantes no preço do barril de petróleo. Logo após, o governo lançou o Programa Nacional de Álcool (Proálcool) que incentivou o avanço do setor automobilístico voltado para a produção de automóveis flex e também a utilização de energia limpa e renovável. Além da produção de etanol e açúcar, que são os principais produtos da matéria-prima cana-de-açúcar, várias unidades industriais estão aumentando sua eficiência ao gerar energia elétrica (SILVA, 2021).

A cada ano que passa, a agricultura do país apresenta ótimas perspectivas de crescimento. No entanto, é importante destacar que o país ainda é dependente da importação de fertilizantes químicos, recentemente, os importadores anteciparam suas compras devido a preocupações com a escassez global desse insumo, em decorrência da invasão da Ucrânia pela Rússia, esse cenário provocou um aumento significativo nas importações em comparação ao ano anterior, levando a um expressivo aumento nos preços médio, que mais que dobraram de valor, segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (Secex), os preços passaram de US\$ 280,3 (R\$ 1.368) por tonelada em abril de 2021 para US\$ 634,5 (R\$ 3.0397) em abril de 2022 (FORBES, 2022). Por mais que ações governamentais se esforcem para aumentar a produção interna de fertilizantes, a uma dependência externa de cerca de 85% de seu consumo, por questão dessa elevada demanda, torna o custo dos fertilizantes cada vez maior (ALMEIDA, 2022).

Outra informação preocupante é a redução das reservas de nutrientes economicamente viáveis para exploração. De acordo com estimativas da IFA – International Fertilizer Industry Association, essas reservas ainda teriam uma duração de aproximadamente 50 anos, enquanto as reservas mais impuras ou difíceis de explorar poderiam durar até 200 anos. O que fica claro é a movimentação das principais empresas mundiais de mineração e produção de fertilizantes, que estão buscando explorar novas áreas, muitas vezes com custo de produção elevados, que inevitavelmente serão repassados ao consumidor final.

Por esses motivos, torna-se crucial a implantação e a implementação de novas técnicas no cultivo, plantio, colheita e manufatura, a fim de alcançar um crescimento

constante da produtividade para atender à demanda do mercado. Este setor é propício para inovação devido aos subprodutos que gera, podemos listar alguns, tais como: palha/palhiço, bagaço, vinhaça, águas residuárias e torta de filtro. O foco desta pesquisa é a vinhaça, também conhecida como vinhoto, tiborna ou restilo, sendo pastoso e com mal cheiro. Ela é gerada em grande escala, produzindo aproximadamente de 10 a 18 litros para cada litro de etanol, dependendo da tecnologia da indústria (CRUZ et al., 2008).

Com o Proálcool, foram avaliados os impactos causados pela contaminação do descarte desse resíduo (vinhaça) de forma descontrolada sobre o solo e cursos de águas, estudando a lixiviação de alguns elementos presentes. O maior impacto identificado foi a presença significativa de potássio, que pode alcançar águas subsuperficiais (SILVA et al., 2007; RIBEIRO et al., 2007; JUNQUEIRA et al., 2009; ROLIM et al., 2013). Esses estudos provocaram grande mudança na legislação. RAMESH & ELANGO, 2012, estudaram nas últimas décadas a concentração natural de íons e metais nas águas subterrâneas para estabelecer as fontes antropogênicas e geogênica que afetam a qualidade das águas subterrâneas, bem como as reações que ocorrem dentro do aquífero. Com isso, a vinhaça foi avaliada mais técnica, observando melhor seus benefícios. Ao estudar mais a fundo, foi observado que os nutrientes que a cultura da cana-de-açúcar extraia do solo durante o ciclo, uma parte deles é encontrada novamente nesse subproduto, sendo eles Ca^{++} , Mg^{++} e K^{+} (SILVA et al., 2007; JIANG et al., 2012).

Então, por um lado ela é caracterizada como efluente líquido de destilarias com alto poder poluente. Dentre todos os efluentes, ela é a que possui a maior carga poluidora, com um poder cerca de cem vezes maior do que o esgoto doméstico. Isso se deve à sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), variando de 20.000 a 35.000 mg L⁻¹, além da alta temperatura na saída dos destiladores, entre 85 a 90° C (SALOMON & LORA, 2005). Ela é considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem às costas brasileiras para procriação (FREIRE & CORTEZ, 2000; ROSSETTO, 1987).

Por outro lado, Giachini & Ferraz (2009) a caracterizam a vinhaça como um efluente líquido que traz benefícios nas esferas agrônômica, financeira e social. No âmbito agrônômico, ela pode substituir parcialmente os fertilizantes tradicionais, devido ao seu alto valor como fertilizante (Junqueira et al., 2009). Essa substituição pode resultar em ganhos financeiros, tornando evidente que, quando utilizada de maneira adequada, esse subproduto

tem o potencial de aumentar os lucros. Além desses benefícios, é importante mencionar o impacto social positivo, como a geração de empregos e renda.

Portanto, podemos concluir que, por um lado, a vinhaça é vista como poluidora ambiental, mas por outro, representa uma vantagem para o setor. Em resumo, o setor sucroalcooleiro, ao saber utilizar bem esse subproduto, despontará nesse cenário (Primo et al., 2015).

Vamos destacar dois cenários de aplicação, o da técnica conhecida como Vinhaça Convencional (V.C.) e a técnica chamada de vinhaça otimizada (V.O.). No cenário da V.C., a vinhaça é aplicada sem nenhum enriquecimento e é transportada por meio de um bombeamento diretamente da indústria para uma piscina impermeabilizada, em seguida, é enviada aos canhões de aspersão ou é transportada da indústria até a lavoura por valas, onde são acoplados os canhões de aspersão. Já a técnica denominada V.O. consiste em enriquecer a vinhaça com elementos químicos ausentes naturalmente, após esse processo, ela é transportada por caminhão e aplicada no tanque off road de irrigação agrícola, que é acoplado a um trator utilizando a agricultura de precisão.

Apesar de ambas as aplicações da vinhaça ainda serem amplamente utilizadas, a escolha entre elas depende das necessidades específica da localidade. Portanto, este estudo visa desenvolver um modelo de análise que permita a leitores, produtores rurais, técnicos agrícolas, pesquisadores e outros identificar a técnica de aplicação, seja a V.O. ou a V.C., que oferece as maiores vantagens em suas situações específicas.

1.2. Problema de Pesquisa

O potássio desempenha um papel essencial no metabolismo das plantas, e o Brasil é responsável por consumir 18% da produção mundial de potássio, atualmente, ele é obtido através da mineração em reservas concentradas no Canadá, Rússia e Bielorrússia, no entanto, a crise geopolítica tem comprometido a oferta futura desse insumo (VILARINO, 2021).

Devido à concentração de potássio na vinhaça, ela está se tornando cada vez mais relevante como biofertilizante na cultura de cana-de-açúcar, por este motivo surge a necessidade de estabelecer critérios e um modelo de análise que permita, os leitores, os produtores rurais, técnicos agrícolas, pesquisadores e outros, identificar a técnica de aplicação, seja a V.O. ou a V.C., oferece maior vantagem, com base em sua situação específica.

A pergunta problema deste trabalho é: Qual é a melhor técnica de aplicação para otimizar o uso desse subproduto na fertilização da cana-de-açúcar com base em uma situação específica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Desenvolver uma proposta de modelo de análise que permita os leitores identificarem a técnica de aplicação mais vantajosa, seja a V.C ou a V.O, com base em sua situação específica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Compreender as características e propriedades da matéria-prima, no caso, a cana-de-açúcar.
- Explorar o processo de transformação dessa matéria prima e a geração dos subprodutos.
- Analisar os diferentes métodos de aplicação da V.C. e da Vinhaça V.O. no contexto da agricultura e da fertilização do solo.
- Desenvolver um modelo de análise prático e acessível que permita aos leitores avaliarem e determinarem qual técnica de aplicação (V.C. ou V.O.) é mais vantajosa com base em sua localização, recursos disponíveis e objetivos.

1.4. Justificativa da Pesquisa

A realização deste trabalho é de grande relevância, pois busca compreender em detalhes a cana-de-açúcar, seu processo de transformação em produtos e a geração de subprodutos, com foco especial na vinhaça. Além disso, será proposto um modelo de análise que permita os leitores identificarem a técnica de aplicação mais vantajosa, seja a V.C ou a V.O, com base em sua situação específica.

A vinhaça apresenta duas faces e é de suma importância saber utilizar a técnica mais eficiente e eficaz, pois tendo uma utilização adequada traz consigo muitas vantagens, porém,

quando empregada de maneira inadequada, pode transformar em uma séria ameaça à saúde pública (ALBUQUERQUE, 2021).

A partir de uma utilização adequado, podemos destacar várias vantagens. Primeiramente, é a melhoria da lucratividade da organização na esfera financeira, a segunda visa aprimorar a eficiência da aplicação, evitando o seu descarte inadequado e, conseqüentemente, aumentando a produtividade dos canaviais ao aproveitar os nutrientes já existentes, isto abrange a esfera agronômica, simultaneamente, ele desempenha um papel crucial na geração de empregos e renda, destacando a esfera social. Vale ressaltar que essa pesquisa tem como objetivo proporcionar uma contribuição acadêmica significativa, oferecendo um modelo a ser utilizado por acadêmicos e pesquisadores em estudos futuros. É por esses e outros motivos que é importante ela ser estudada (FREIRE & CORTEZ, 2000; ALBUQUERQUE, 2021)

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É evidente que, em comparação com países como Estados Unidos, Alemanha e China, o Brasil está defasado no que diz respeito a tecnologia e a inovação. No entanto, assume uma posição de destaque quando se trata da produção de biocombustíveis. Esse assunto é de suma importância tanto em nível nacional quanto mundial, abrangendo diversas áreas do conhecimento, como o meio ambiente, economia, aspectos sociais, entre outras. A procura em massa por fontes energéticas que associem o crescimento econômico com baixos impactos ambientais, como é o caso do etanol, representa um avanço significativo para as atuais e futuras gerações (GIMENEZ *et al*, 2018).

A utilização de recursos não renováveis para a geração de energia já ultrapassa dois séculos de implementação. Apesar desde longo período, a inclusão desse tipo de exploração e seus impactos na sociedade e no meio ambiente ganhou destaque global apenas nas últimas décadas. Entre as principais pautas está relacionada ao alto poder poluente dessas fontes – frente a emissão intensificada de gases de efeito estufa (GEE) – associado ao esgotamento iminente das fontes não renováveis. Além das questões ambiental, a busca por novas fontes e maneiras de produção de energia está associada à instabilidade dos preços do petróleo, por exemplo (SILVA *et al*, 2018; WHEELER *et al*, 2021).

Ao longo dos anos, foram descobertas diversas maneiras para a produção energia, sendo uma delas Biomassa. Por definição, a Biomassa é um recurso renovável obtido a partir de matérias orgânicas, podendo ser de origem vegetal ou animal. No Brasil, a utilização mais comum é a Biomassa de origem vegetal, sendo em especial as gramíneas (AQUINO *et al*, 2014).

Um dos componentes de maior destaque derivados da Biomassa é o Etanol – nomenclatura atribuída ao álcool etílico - classificado como fonte renovável e limpa. Na química orgânica, compõe a família dos álcoois, e sua composição é caracterizada pela presença de átomos de carbono, hidrogênio e hidroxila, formando a molécula com a seguinte fórmula: C_2H_5OH (FONSECA, 2016; WHEELER *et al*, 2021).

Para a produção do Etanol, podem ser utilizadas diversas matérias-primas, que são subdivididas em três categorias: as sacaríneas, compostas por fontes ricas em açúcar sacarose, como é o caso da cana-de-açúcar, beterraba, entre outras; as amiláceas, compostas por fontes ricas em amido, como a mandioca, os cereais em geral, a batata, entre outros; e, por fim, as celulósicas, sendo as fontes mais comuns o eucalipto e o bagaço de cana. (FONSECA, 2016; ANTERO *et al*, 2019).

Quanto às suas características físicas, o Etanol pode ser descrito da seguinte forma: é incolor, transparente, volátil, cheiro etéreo, e solúvel tanto em água quanto em outros líquidos, sendo que sua solubilidade é inversamente proporcional ao teor de água em sua composição. Ele pode ser classificado em dois tipos, dependendo da concentração de água na mistura: hidratado (contendo cerca de 5% de água) e anidro (com cerca de 0,5% de água). Com diversas aplicações, algumas das mais conhecidas incluem seu uso como combustível, aditivo em gasolinas, componente em produtos cosméticos e farmacêuticos, assim como em produtos de limpeza (CARVALHO *et al*, 2013).

Sem dúvidas, o Etanol apresenta uma relevância significativa tanto em termos econômicos quanto ambientais, especialmente por sua distinção dos combustíveis derivados do petróleo. Por possuir um elevado teor de oxigênio (aproximadamente 35%), ele promove a combustão menos poluente e um desempenho superior nos motores dos automóveis, mesmo quando usado em conjunto com a gasolina, o que permite substituir outros aditivos que foram proibidos em muitos países (ABDALA, 2017).

Desde 1925, os brasileiros tinham conhecimento do potencial de produção de combustível a partir da cana-de-açúcar, no entanto, esse conhecimento era pouco incentivado devido aos valores atrativos dos combustíveis fósseis. Foi somente com a primeira crise do petróleo, ocorrida em meados de 1973, que a produção de etanol ganhou destaque, esse cenário estimulando a criação do Programa Nacional do Alcool, conhecido como PROÁLCOOL, instituído em 14 de novembro de 1975 através do decreto nº 76.593, gerando fomento à produção e comercialização deste produto no país (TOGNETI, 2016; TAMARA; BARBOSA; OLIVEIRA, 2018).

Devido ao elevado índice de exportação de petróleo (cerca de 80% na época), associado a alta capacidade de geração de empregos no campo, a produção de Etanol ganhou destaque. Entre os anos de 1980 e 2002, houve uma queda na produção em decorrência da redução nos preços do petróleo, o que acabou desestimulando a produção de Etanol. O setor conseguiu recuperar seu destaque em 2003, quando foram introduzidos no mercado os carros flex (MONTES, 2017).

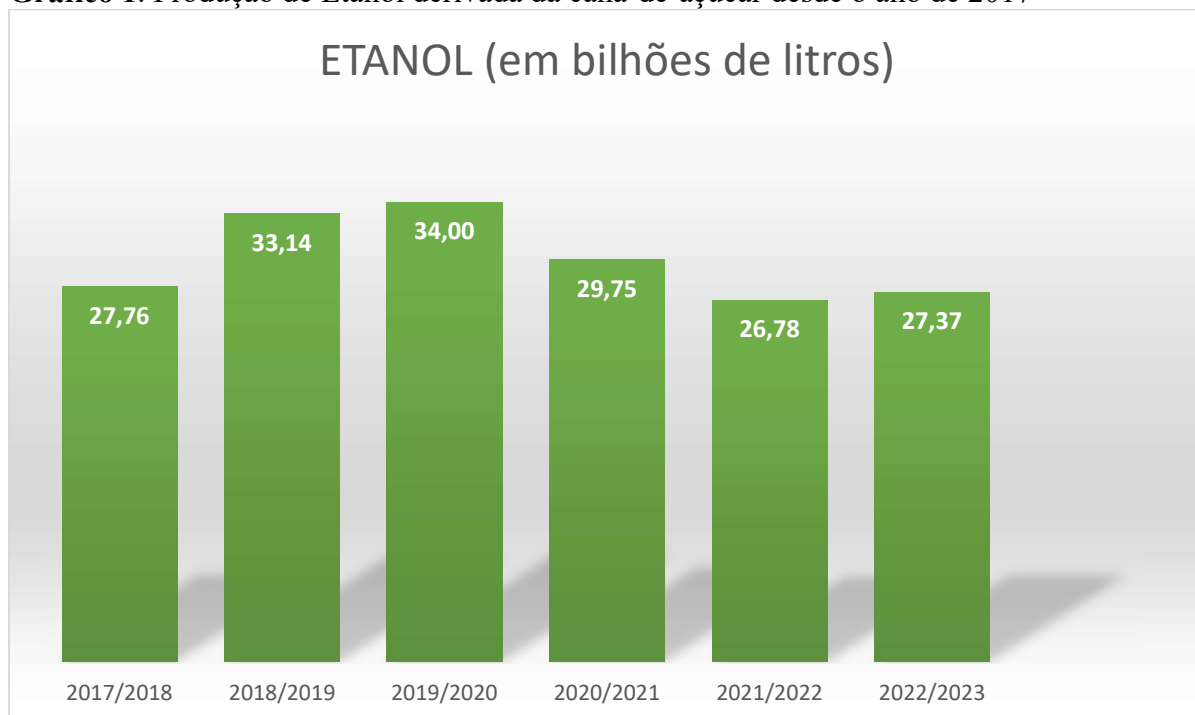
A valorização deste tipo de combustível está associada ainda à sua capacidade ilimitada perante a sua característica principal - fonte de energia renovável - enquanto o petróleo sofre com flutuações de preço e disponibilidade limitada. Diante dessas características e com base em pesquisas e novas tecnologias, o Brasil ganhou destaque nesse segmento (CARVALHO *et al*, 2013; MARESTONI, 2020).

No ranking de produtores mundiais, o Brasil ocupa a segunda posição, representando aproximadamente 30% da produção global de etanol, ficando atrás somente dos Estados Unidos da América (EUA), que detêm uma parcela aproximada de 53%. Apesar de possuir um potencial significativo para uma produção ainda maior de biocombustível, o Brasil ainda importa cerca de 15% do etanol total produzido pelos EUA (MONTES, 2017; RFA, 2022).

No Brasil, na safra de 2022/2023 – conforme o 4º levantamento, a produção total de biocombustível foi estimada em 31,3 bilhões de litros, sendo a cana-de-açúcar a principal matéria-prima para essa obtenção, sendo utilizados cerca de 610.1 milhões de toneladas. Dentre as diferentes regiões brasileiras, destaca-se o Sudeste (MG, ES, RJ, SP) (CONAB, 2023).

A partir da compilação dos dados das safras a partir de 2017, dispostos no portal online da CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (por meio de seus boletins de monitoramento agrícola da cana-de-açúcar), tornou-se viável a elaboração do Gráfico 1 que correlaciona a quantidade de Etanol derivada da cana-de-açúcar produzido com as respectivas safras, conforme apresentado abaixo:

Gráfico 1. Produção de Etanol derivada da cana-de-açúcar desde o ano de 2017



Fonte: Autoria Própria (2023)

A demanda por energias renováveis, que causam menos impactos à saúde e ao meio ambiente, tem impulsionado o uso do Etanol como combustível. Antes do PROÁLCOOL, a

produção da cana-de-açúcar ainda era considerada uma área sem grande desenvolvimento e possibilidades no que diz respeito ao biocombustível no país (CARVALHO *et al*, 2013; TOGNETI, 2016; TAMARA; BARBOSA; OLIVEIRA, 2018).

2.1. A Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil pelos portugueses entre os anos de 1530 e 1532. Com a construção do primeiro engenho por Martin Afonso de Souza, em São Vicente, no litoral do Estado de São Paulo, especialmente durante esse período intensificou-se o processo de desenvolvimento da região e a criação de novos vilarejos, dando a cultura um destaque como a primeira atividade organizada em todo o território brasileiro. Além disso, extensas áreas de mata foram desmatadas para atender à nova fonte econômica, o que provocou mudanças ambientais significativas e, consequentemente, nos costumes locais (SILVA *et al*, 2013; TOGNETI, 2016; MORINI *et al*, 2017).

Atualmente, a cana assume um lugar de destaque como uma das produções mais relevantes no âmbito do setor agrícola, tanto nacional quanto internacionalmente (SILVA *et al*, 2013; TOGNETI, 2016).

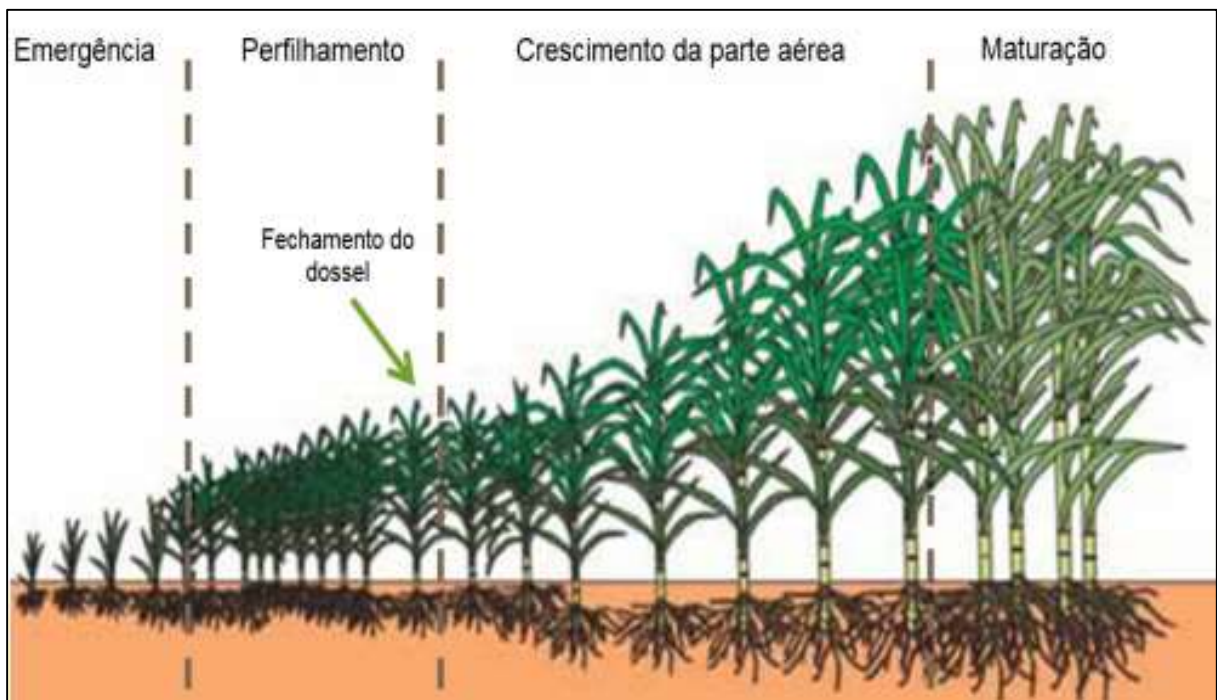
Ela é uma herbácea de origem asiática, pertencente à família das angiospermas *Poaceae* e do gênero *Saccharum L.*, é uma monocotiledônea que apresenta características físicas peculiares, como uma estrutura cilíndrica composta por nós e entrenós, flores monoclinas, folhas alternadas e opostas que se fixam nos nós, sua altura pode facilmente ultrapassar 1,40 metros. Atualmente, a maioria dos plantios de cana-de-açúcar utiliza espécies híbridas, que possuem menor susceptibilidade a pragas e doenças, além de proporcionarem maior produtividade. Elas podem ser cultivadas em regiões tropicais e subtropicais devido à sua notável adaptabilidade a variados tipos de clima e solo (SILVA, 2015; GONÇALVES, 2018; ALMEIDA, 2019).

Além disso, é uma planta semiperene, capaz de atingir até quatro ou cinco estágios de corte. Em sua forma natural, a reprodução é sexuada. Contudo, para fins comerciais, a multiplicação ocorre por meio de clones, por propagação vegetativa. O plantio pode ser realizado em duas épocas, originando a cana-planta de um ano e de um ano e meio (correspondente a 12 e 18 meses, respectivamente). Após o primeiro corte, os demais são conhecidos como cana-soca. A cada estágio, a produtividade reduz significativamente (GONÇALVES, 2018; MARIN, 2022).

Essa cultura necessita de um período específico, marcado por clima quente e úmido, com incidência intensa radiação solar durante o estágio vegetativo, seguido por um período seco durante as fases de maturação e colheita. Assim, seu desenvolvimento completo e favorável à produção de açúcar, etanol e outros produtos dependem da disponibilidade térmica, índice de pluviosidade e disponibilidade de luz. Dessa maneira, principalmente no que tange a períodos de estresse hídrico durante seu desenvolvimento, as plantas são sujeitas a perdas produtivas consideráveis (ALMEIDA, 2017; NASCIMENTO, 2017; SUMIKAWA, 2019).

Juntamente com os fatores climáticos, existem outras ferramentas e metodologias que podem ser aplicadas durante o plantio e nas demais fases para promover o aumento da produtividade desse tipo de vegetação. Entre essas, destaca-se a prática da irrigação como uma técnica excelente para incrementar o rendimento e a produção do cultivo. Além de aumentar a produtividade, essa prática acarreta benefícios como a otimização no uso de fertilizantes, possibilitando uma ordenação de plantio, ou seja, a realização de duas ou mais colheitas por ano, com a inserção de cultivares de alto custo e de menor risco de investimento no setor (SILVA *et al*, 2013; CRUZ, 2022).

Figura 1. Estágio de crescimento da cana-de-açúcar



Fonte: Thomas (2016)

Como ilustrado na Figura 1, de maneira geral, o crescimento e desenvolvimento do cultivo da cana-de-açúcar é composto por quatro etapas distintas e sequencias, que são: emergência dos brotos, perfilhamento, crescimento da parte aérea e a maturação (THOMAS, 2016; MARIN, 2022).

Segundo Thomas (2016), para um desenvolvimento ideal da cana-de-açúcar, é recomendável que as temperaturas entre 25°C e 35°C, atrelada à irrigação (por chuva ou por mecanismos para este fim). Já o processo de maturação, que é o processo em que ocorre a concentração de sacarose nos colmos, requer temperaturas inferiores a 20°C e/ou estiagem prolongada. De maneira extrema, temperaturas muito altas ou muito baixas podem prejudicar tanto o desenvolvimento quanto a maturação, provocando até mesmo à morte das plantas.

A fase de desenvolvimento fisiológico da planta que gera retornos significativos de investimento é a fase de maturação, que pode ocorrer de maneira natural ou ser induzida com maturados químicos. Para fins de produção de etanol, açúcares e subprodutos, destes a fase de maturação se concretiza quando os colmos atingem seu maior potencial de armazenamento de sacarose. Para identificar essa fase, são feitos testes a partir porcentagem em massa de sacarose da cana, bem como a porcentagem em massa de sólidos solúveis, níveis de pureza e açúcares redutores (MANHÃES *et al*, 2015; THOMAS, 2016; GONÇALVES, 2018).

Com o passar dos anos, vem sendo alvo de estudos e investimentos em tecnologia, visando à modernização dos processos de plantio e colheita, bem como ao aprimoramento genético desse tipo de vegetação. Entre os tipos desenvolvidos, a mais utilizada no país é a cana-energia (*Saccharum spontaneum*), que devido a sua robustez e maior quantidade de fibras, é mais produtiva, e se adapta em áreas já degradadas. O sistema radicular deste tipo de cana, devido ao seu vigor e densidade, resulta em maior absorção de nutrientes e água. Sua rusticidade proporciona uma resistência significativa a estresses hídricos, baixa disponibilidade de nutrientes e a choques mecânicos (NORONHA, 2018).

Essas características a torna ideal para a produção de biocombustíveis, como o etanol. Além destes fatores, a época de colheita, o grau de maturação e os tratos culturais influenciam de maneira expressiva na produtividade (SILVA *et al*, 2020).

A capacidade produtiva da cana-de-açúcar está diretamente relacionada à tecnologia adotada, à espécie selecionada, ao manejo e às condições ambientais, sendo que o uso de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar se apresenta como um método alternativo que possibilita uma multiplicação associado a menor quantidade de mudas, promovendo melhoras em todo o plantio. Esse método é usado desde o ano de 1980, passando por diversas

adaptações e aprimoramento até atingir ao nível de tecnologia e reprodução atual (NORONHA, 2018).

Enfim, ela pode ser utilizada para diversos fins dos produtos e subprodutos, entre os quais os mais comuns e em maior escala, como açúcar e etanol, além, claro, a produção de doces típicos como a rapadura e o melado, garapa, fabricação de cachaças (bebidas alcoólicas), geração de eletricidade, biomassa para alimentação animal, papéis, fármacos, mel, ácidos, fertilizantes e inúmeros outros que derivam dos grandes grupos citados. Durante o processamento, os resíduos podem receber diversas destinações, sendo as mais comuns a produção secundária de açúcar, ou de etanol de segunda geração (OGATA, 2013; ALMEIDA, 2017; SUMIKAWA, 2019; GOMES, 2021; MARTINS, 2013).

A área de produção dessa cultura atingiu cerca de 8.288,9 mil hectares na safra de 2022/2023, sendo que desta safra foram produzidas cerca de 37 milhões de toneladas de açúcar, 11,65 bilhões de litros de etanol, além de outros produtos e subprodutos não contabilizados, em volume de exportação, atingiu aproximadamente um total de 9,6 bilhões de dólares em produtos da indústria sucroalcooleira, o que representa um total de 8,53% do total de exportações do país (AGROSTAT, 2022; CONAB, 2023).

2.2. Processo de Produção do Etanol

A produção do Etanol de Primeira Geração (E1G) é influenciada pelo período de plantio e colheita da cana-de-açúcar. No Brasil, são descritos dois períodos de safra por regiões, onde no Norte e Nordeste, ocorre de setembro a março, enquanto no Centro-sul do país abrange os meses de abril a novembro. Durante os demais meses, as usinas que não realizam produções mistas acabam por desempenhar funções administrativas e manutenção de equipamentos e estrutura física da empresa (MONTES, 2017; SILVA, 2021).

O ciclo produtivo da cana-de-açúcar se inicia e segue um conjunto de etapas denominada Fase Agrícola, que une os processos de plantio, cultivo e colheita, que será a matéria prima para os próximos passos de produção. Em seguida a cana é destinada as usinas, utilizando caminhões transportadores como meio de deslocamento (SUMIKAWA, 2019; SILVA, 2021).

As fábricas que recebem a cana-de-açúcar como matéria prima, quanto ao tipo, podem ser classificadas da seguinte maneira: usinas, usinas com destilarias associadas e destilarias. As usinas têm foco na produção de açúcar; as usinas com destilarias associadas se dedicam à

produção tanto de etanol quanto de açúcar; enquanto as destilarias são especializadas exclusivamente na produção de etanol (SENNA; ANSANELLI, 2016; SUMIKAWA, 2019).

2.2.1. *Plantio da cana-de-açúcar*

Para o sucesso produtivo desta matéria-prima, é indispensável a análise de alguns fatores que precedem o plantio propriamente dito. Portanto, é fundamental que se tenha em mãos uma análise do solo sobre a fertilidade (e necessidade ou não do preparo do solo), o tipo de cana a ser plantada e a época adequada de plantio a depender da região (SANTIAGO; ROSETTO, 2022b).

A fase do plantio pode ser subdividida em algumas etapas, conforme descrito a seguir: limpeza para a destruição da soqueira e/ou gradeamento do terreno (subsolagem), calagem (quando necessário), distribuição dos sulcos, adubação, manejo e, finalmente, o plantio das mudas. Este processo rende, em média, de cinco a seis cortes, sendo necessário o replantio ou a reforma do canavial (SILVA, 2021; SANTIAGO; ROSETTO, 2022b).

Para Raveli (2013), assim como as operações posteriores, o plantio da cana-de-açúcar pode ser classificado em dois sistemas: semimecanizado ou mecanizado. No tipo semimecanizado, as etapas de sulcação, adubação e cobertura dos sucros são realizadas por máquinas, enquanto a distribuição e o alinhamento das mudas ainda são executados manualmente. No processo mecanizado, todas as etapas são realizadas por máquinas. Contudo, é importante citar que no processo mecanizado os produtores precisam ser capazes de realizar tais investimentos, devido aos custos iniciais elevados. A Figura 2 demonstra os dois sistemas.

Figura 2. Processo de plantio manual versus plantio mecanizado



Fonte: Portal do Agronegócio (2022)

Para o sucesso da mecanização parcial ou total do plantio, é fundamental que sejam observadas algumas condicionantes ambientais e técnicas que permitam a eficácia do uso das máquinas, a fim de não encarecer o processo. Isso ocorre porque para o uso do sistema mecanizado, é preciso dispor de modificações no processo de plantio, terrenos relativamente planos, extensas áreas de cultivo, solos homogêneos, bem como outros fatores de ordem técnico-ambientais (RAVELI, 2013).

2.2.2. Corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar

Para alcançar maior produtividade, a cana deve ser colhida no auge da sua maturação, quando os teores de açúcares estão mais elevados. Essa maturação será alcançada em diferentes períodos a depender do sistema de cultivo, da variedade escolhida, da região no qual o canavial está inserido e outras variáveis relevantes (TOGNETI, 2016; SUMIKAWA, 2019).

É necessário, então, realizar amostras do plantio, para que seja extraído o caldo e quantificados os níveis de sacarose, e informações como quantidade de bagaço gerado, níveis de impurezas de origem vegetais e minerais e outros fatores. Quanto ao grau de impurezas, a cana recepcionada nas indústrias precisa conter teores abaixo de 0,6% quanto a concentração de impurezas, para ser classificada como “cana limpa”. Se a amostra realizada apresentar teores de sacarose e pureza dentro dos limites estabelecidos, já pode ser realizado o processo de corte (SENNA; ANSANELLI, 2016; TOGNETI, 2016; SUMIKAWA, 2019).

De maneira geral, a seleção do sistema de produção no plantio pode ser dividido em 12 meses, 18 meses, ou ambos, o que influencia de maneira direta o período de corte e, quando necessário, o replantio da cana. Durante o processo de corte, carregamento e transporte é fundamental avaliar as previsões climáticas, o acesso ao canavial, o grau de mecanização do processo de colheita e o prazo necessário para a realização do serviço (ROSSETTO, 2022a-b; SANTIAGO; ROSETTO, 2022a).

Segundo Sumikawa (2019), o processo de colheita pode ser realizado de diversas maneiras, entre as quais as relacionadas abaixo:

- Colheita manual da cana-de-açúcar crua: caracterizado pela baixa eficiência, onde o colaborador retira de forma manual a ponta da cana e a palha. Caiu em desuso há algumas décadas pelo baixo rendimento e necessidade de mão-de-obra em massa;

- Colheita manual da cana-de-açúcar queimada: Muito utilizado até meados de 2005. Exige menos mão-de-obra que o processo anterior, mas devidos aos problemas ambientais gerados durante a queima da cana, também está sendo abandonado;

- Colheita da cana-de-açúcar (inteira ou picada) mecanizada: vem ganhando destaque neste mercado devido à alta eficiência e menores impactos ambientais quando comparado à colheita manual da cana queimada. Entretanto, apresenta desvantagens como o alto custo de implantação, a impossibilidade de operar em terrenos inclinados, a compactação excessiva do solo e como consequência a redução de empregos no campo.

A deterioração biológica é uma das preocupações de maior destaque para a produção de açúcar e etanol, uma vez que podem causar aumento de gomas, variações no teor de acidez, coloração indesejada, redução da pureza, aumento do Brix e das quantidades de fibras, entre outras alterações capazes de impactar negativamente a produtividade. Dependendo da técnica utilizada na colheita, diferentes procedimentos de preparação devem ser adotados para evitar tais problemas (MONTEIRO; ROSA; REIS, 2016; ROSSETTO, 2022).

Nas usinas, as canas provenientes da colheita manual podem ser processadas de início, ou armazenadas por períodos curtos. Contudo, no caso da colheita mecanizada, que resulta em toletes, é fundamental que estas sejam utilizadas o mais rápido possível após a colheita, devido ao risco considerável de contaminação (MONTEIRO; ROSA; REIS, 2016; SUMIKAWA, 2019; ROSSETTO, 2022).

Existem diversos fatores que devem ser levados em consideração no processo de corte e transporte desta matéria-prima. A queima antecipada – quando utilizada a técnica da colheita manual, o corte tardio, a cana exposta pós corte por mais de 1 dia, transporte com muitas impurezas e elementos estranhos podem prejudicar o resultado final. Nestes casos, em especial, resultam em uma cana impregnada de cinzas, fuligem e terra, que são removidos a partir da lavagem da cana - que limpa a cana, mas é responsável por perda de sacarose da cana queimada (TOGNETI, 2016; SUMIKAWA, 2019).

Em casos em que se utiliza a colheita mecanizada, o material resultante não pode ser lavado, já que a cana se encontra picada e os colmos muito expostos, o que causariam perdas inviáveis de sacarose a altos índices de contaminação. Nesse contexto, torna-se necessário utilizar o sistema de insuflamento de ar, uma espécie de “lavagem” a seco (TOGNETI, 2016).

Quanto ao transporte da cana colhida até as usinas, predomina-se a modalidade rodoviária, por meio de caminhões, é a mais comum. Quando a usina se encontra no mesmo terreno onde ocorre o plantio, não são utilizadas as vias regulares, as vias internas são

preferencialmente. Este último citado, pode influenciar diretamente nos custos de produção do etanol, visto que reduz gastos com combustível, manutenção da frota e outros fatores relacionados ao transporte de cana em longas distâncias (MONTEIRO; ROSA; REIS, 2016).

2.2.3. Recepção, preparo e moagem

A chegada da cana-de-açúcar às indústrias é sucedida da pesagem da matéria-prima e a análise de amostras, a fim de avaliar a porcentagem em massa de sacarose (denominada Pol), a porcentagem em massa de sólidos solúveis (denominada Brix) e a porcentagem de fibra. Estando em conformidade estes parâmetros, o carregamento prossegue para a etapa posterior: a lavagem. Esta tem o objetivo de remover quaisquer materiais que podem deteriorar os equipamentos de corte e moagem (TONON FILHO, 2013; SILVA, 2021).

A etapa de preparo visa seccionar a cana para maior rendimento do processo de extração da sacarose. Nesse sentido, a cana é submetida à picagem entre os colmos, permitindo assim uma moagem mais eficaz através dos rolos trituradores e extração do caldo (gerando dois subprodutos: o bagaço – correspondente a cerca de 30% e o melado/caldo – cerca de 70%). Durante esse processo, é possível utilizar a técnica de embebição, na qual água é adicionada ao bagaço da moagem, visando extrair o caldo residual, o que acaba aumentando a produtividade de etanol. (TONON FILHO, 2013; SILVA JÚNIOR, 2019; SUMIKAWA, 2019).

2.2.4. Tratamento e filtragem do caldo

O caldo obtido da moagem pode ser tratado de diferentes maneiras, sendo a mais comum o aquecimento seguido da decantação. Antes do aquecimento, a fim de obter um etanol de qualidade, é imprescindível realizar a calagem, através da adição de leite de cal ao caldo, resultando na elevação do pH, obtendo valores entre 5,0 a 5,5. Valores fora desses padrões podem prejudicar o processo de fermentação (SUMIKAWA, 2019).

O aquecimento é realizado para esterilizar o caldo, que passa de uma temperatura média de 35°C para 105°C, o que resulta na eliminação dos microrganismos presentes. Ao alcançar a temperatura ideal, é possível decantar (clarificar) o caldo, com tempo reduzido e eficiência aumentada quando comparado a decantação do caldo resfriado (TONON FILHO, 2013; SILVA, 2021).

Após a decantação, o caldo precisa permanecer no decantador por aproximadamente de três horas, para que o material floculado no processo precipite. Esse material floculado se denomina torta de filtro, que pode ser utilizado como fertilizante em lavouras. Depois deste processo, é obtido o melado puro denominado caldo clarificado (TONON FILHO, 2013; NOVA CANA, 2017; SUMIKAWA, 2019; SILVA, 2021).

Quando o foco da produção é outro, como é o caso da fabricação de açúcar, podem ser utilizados outros aditivos antes do processo de aquecimento. Para a produção de açúcar branco, é necessário utilizar a técnica de sulfitação associada a adição de ácido fosfórico à mistura (TONON FILHO, 2013; SILVA JÚNIOR, 2019; SUMIKAWA, 2019).

2.2.5. *Fermentação, destilação e desidratação do caldo*

O caldo puro, após pronto, é transferido para tanques e misturado com leveduras, dando início ao processo de fermentação. A fermentação deve ser um processo contínuo e agitado, composta por 4 estágios (3 dornas no 1º, 2 dornas no 2º, 1 dorna no 3º e 1 dorna no 4º), sendo as três últimas equipadas com agitador mecânico. Cada dorna possui, em média, o volume de 400.000 litros (UDOP, 2016; SUMIKAWA, 2019; SILVA, 2021).

Neste processo, utiliza-se uma levedura para fermentação alcoólica, a *Saccharomyces Uvarum*, que são microrganismos que se alimentam do açúcar presente no caldo e, como consequência, produzem etanol e gás carbônico. É regulada com uma temperatura entre 28 e 30°C, e após 6-8 horas, obtém-se o vinho fermentado, que é composto por leveduras, açúcar e um teor aproximado de 10% de etanol (TONON FILHO, 2013; UDOP, 2016; NOVA CANA, 2017; SUMIKAWA, 2019; SILVA, 2021).

Ao todo, o processo de fermentação pode ser subdividido em três fases, conforme exposto por Góes-Favoni (2018):

- Fase preliminar: caracterizada pela baixa elevação de temperatura, e baixa produção de álcool e gás carbônico;
- Fase tumultuosa: caracterizada pelas elevações de temperaturas (controladas por resfriadores), formação de espuma, liberação alta de gás e maior produção de álcool;
- Fase complementar: caracterizada pela redução na liberação de gás carbônico, redução de temperatura, redução no teor de açúcar e desaparecimento da espuma. Após obter o mesmo valor de BRIX (Escala numérica que mede a quantidade de sólidos solúveis em uma

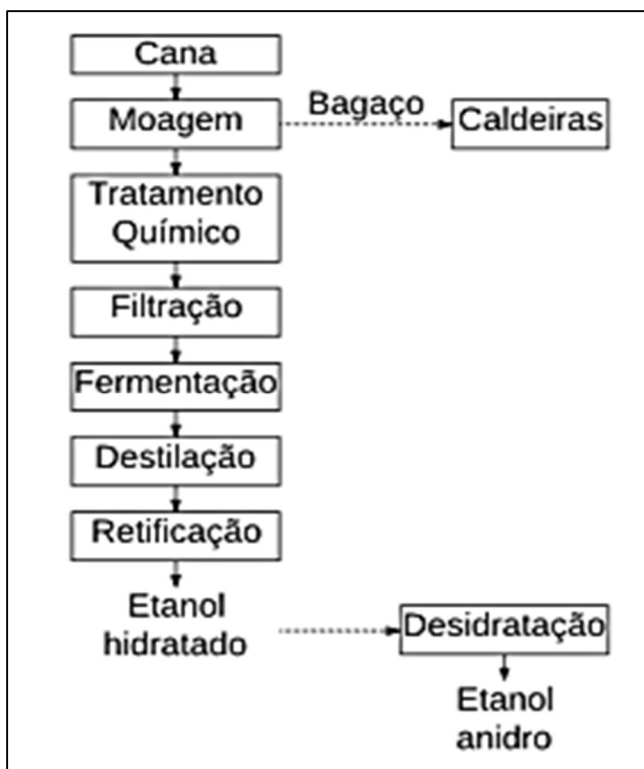
solução de sacarose) em três leituras consecutivas, o vinho obtido pode ser encaminhado ao processo de destilação.

A destilação pode ser conceituada como a etapa em que o álcool dissolvido no vinho fermentado é separado. Para isso, o vinho fermentado é introduzido em colunas de destilação até evaporar, sendo posteriormente condensado, o que separa o etanol do vinho. Este é denominado etanol hidratado, com um teor alcoólico em torno de 96% (NOVA CANA, 2017; SUMIKAWA, 2019; SILVA, 2021).

O processo de desidratação é realizado para a obtenção do etanol anidro. Pode ser realizado através da adição de solventes, que se misturam com a água da mistura e evaporam juntos, ou pelo uso de peneiras que retêm somente as moléculas de água. Ambas as técnicas devem ser capazes de produzir um Etanol com teor alcoólico próximo de 99,5%, atendendo às normativas para seu uso em conjunto com a gasolina (NOVA CANA, 2017; SUMIKAWA, 2019; SILVA, 2021).

A Figura 3 apresenta o processo de produção do etanol hidratado e anidro de maneira sintetizada:

Figura 3. Fluxograma da produção de etanol hidratado e anidro



Fonte: Montes (2017)

2.3. Avanços na Produção de Etanol

O etanol, como biocombustível limpo e renovável, se apresenta uma excelente alternativa frente aos problemas ambientais e energéticos que o mundo tem enfrentado nos últimos tempos, principalmente aos fatores relacionados à escassez de matéria-prima, o caráter não-renovável e a instabilidade dos preços recorrente. O uso desse biocombustível resulta em emissões menores de gás carbônico na atmosfera, e quando comparado aos índices da gasolina, pode reduzir em até 90% a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, como o CO₂ (BASTOS *et al*, 2013; SILVA, 2021).

Devido a sua importância nas variadas esferas na sociedade, as espécies de cana-de-açúcar estão constantemente no centro de pesquisas de melhoramento genético, a fim de desenvolver características que atendam aos aspectos agrônômicos como resistência a pragas, vírus, a herbicidas, e principalmente modificações que aumentem os índices de sacarose. Além disso, também se busca atender os aspectos ambientais, com o objetivo de gerar plantios com menores impactos ambientais e sociais (MORINI *et al*, 2017).

Mas nem sempre foi assim, no início, o processo de colheita gerava um potencial poluente muito expressivo, causado pela colheita manual da cana-de-açúcar queimada, onde a plantação era submetida à queima para posterior colheita. A quantidade de gases emitidas durante esse processo fez com que essa atividade se destacasse em discussões ambientais, além do perigo constante de queimadas fora de controle. Após o ano de 2005, essa técnica foi sendo abandonada, sendo adotada a colheita mecanizada das plantações (ECKARDT; BREU, 2017; SUMIKAWA, 2019).

A substituição da colheita manual pela colheita mecanizada, no entretanto, apresenta pontos negativos, como a redução de vagas de trabalho na perspectiva social e a compactação do solo sob perspectiva ambiental. Aos poucos, com o avanço deste setor, estão sendo estudadas formas de reduzir os impactos da compactação, seja a partir de metodologias de tráfego, ou a partir da criação de máquinas que causem menos impacto ao solo (TEIXEIRA, 2015).

Outra preocupação levantada no início da produção de etanol no país foi a quantidade de água necessária para o sucesso do processo produtivo do biocombustível. No entanto, graças às evoluções tecnológicas e à criação de maquinários e processos mais eficientes, o uso excessivo de água foi aos poucos sendo eliminado (DI DONATO; TARGA; ALMEIDA, 2021).

Ainda sobre os avanços na produção do álcool, um fator imprescindível a ser considerado é que, em usinas mais desenvolvidas, a energia necessária para o processamento (seja elétrica, térmica ou mecânica) é gerada a partir de um sistema que utiliza o bagaço da cana como fonte energética, não sendo necessária o uso de outras fontes de energia no processo de produção (ROSA; MARTINS, 2013).

Apesar do que foi discorrido anteriormente, a produção do etanol ainda se mostra mais vantajosa do que a produção de combustíveis fósseis, principalmente devido aos baixos efeitos colaterais causados durante todo o processo, assim como durante seu uso final. Entre os benefícios, frente a outras fontes, destacam-se: o uso e reuso de uma pequena parcela de áreas cultiváveis; perda reduzida de solo em relação a outras culturas, como a soja; redução da emissão de GEE – Gases de Efeito Estufa – na atmosfera; melhorias no setor para redução no uso de água, bem como a sua reutilização nos processos. Diante das perspectivas de crescimento deste biocombustível no mundo, pressupõe-se que ainda será alvo de muitos avanços e estudos acerca do processo produtivo e da utilização de subprodutos para outros fins (SENNA; ANSANELLI, 2016; SILVA, 2021).

2.4. Resíduos Gerados na Produção de Álcool: Obtenção e Destinação

A produção de etanol se apresenta como um ótimo aliado quando se pensa na redução do uso de combustíveis fósseis e a emissão de gases de efeito estufa. Desde a sua introdução no país, a cana-de-açúcar se destaca no setor do agronegócio, principalmente após o estabelecido pelo Programa Nacional do Álcool - PROÁLCOOL, que incentivou sua produção em todo o território nacional. Esse incentivo, entretanto, não contemplou o controle e destinação de resíduos gerados durante o processo de colheita e produção do etanol (SEIXAS; GIMENES; FERNANDES-MACHADO, 2016; SANTOS, 2021).

A imagem dos avanços, lucros e crescimento deste setor contrasta de maneira significativa até hoje com os impactos gerados ao meio ambiente. Isso porque, antes das modernizações e mudanças vivenciadas no setor, a reserva e a destinação da grande quantidade de resíduos gerados eram incorretos e causadoras de diversos impactos ambientais, ou seja, poluidores ambientais (TOGNETI, 2016; PRIMO et al., 2015).

Mesmo após o desenvolvimento de ferramentas e planos de gestão de resíduos, atualmente as áreas de produção em grande escala de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, a quantidade de geração de resíduos ainda se apresentam de maneira alarmante. Analisando sob esse ponto de vista, pode-se dizer que a produção de álcool pode gerar três tipos distintos de

resíduos: sólidos – como o bagaço, torta de filtro, impurezas minerais e cinzas; líquidos – como as águas residuais e a vinhaça; e os gasosos – como os gases da combustão, os vapores d'água, os vapores diversos e os particulados (ROSA; MARTINS, 2013).

Conforme catalogado no Quadro 1, existem sete tipos mais expressivos de resíduos gerados durante a produção:

Quadro 1. Catalogação dos resíduos da usina de etanol e sua origem

RESÍDUOS	PROCESSO DE ORIGEM
a. Palha/Bagaço da cana	Resultante da limpeza e extração do caldo da cana-de-açúcar.
b. Cinzas e fuligem	Resultante da queima do bagaço para gerar vapor nas caldeiras.
c. Torta de filtro	Resultante do filtro a vácuo ou de prensa do lodo proveniente do decantador de caldo.
d. Leveduras	Resultante do processo de fermentação, dos quais são retidas 10% a 11%.
e. Vinhaça	Resultante da destilação do vinho.
f. Águas de lavagens	Resultante da lavagem da cana.
g. CO ₂	Resultante através da fermentação.

Fonte: Cavalcanti et al (2019)

As preocupações com os impactos gerados ao meio ambiente acabam por mobilizar inúmeros pesquisadores na busca por metodologias e processos que possam atender às demandas de mercado e, ao mesmo tempo, minimizar o impactar sobre a natureza. Sabe-se que, independentemente da atividade exercida, os resíduos industriais precisam receber a destinação adequada, e sempre que possível, devem ser avaliadas as possibilidades de uso e reuso destes subprodutos. Acompanhando o crescimento do setor sucroalcooleiro, pesquisadores têm buscado destinações benéficas para esses resíduos (MORAES *et al*, 2013).

As etapas de produção do etanol possuem vantagens que outros setores não têm, já que os subprodutos são ricos em micronutrientes que podem ser agregar na própria cultura da cana, ou em outras culturas, destacam-se o uso para a produção de energia, o uso como fertilizantes e até mesmo a produção do etanol de segunda geração, ou seja, sabendo utilizar bem seus subprodutos, despontará nesse cenário (GONÇALVES *et al*, 2015; SUMIKAWA, 2019; SILVA, 2021).

Dos inúmeros resíduos apresentados, trataremos aqui de maneira mais descritiva três tipos: Bagaço, Torta de Filtro e Vinhaça.

2.4.1. Bagaço

O bagaço pode ser conceituado como um resíduo fibroso, obtido no processo de moagem da cana-de-açúcar. Caracterizado por sua consistência fibrosa e sólida, equivale a 25% do volume da matéria-prima do etanol. Dentre as variedades mais cultivadas no Brasil, o rendimento deste resíduo atinge valores entre 270 e 290 kg por tonelada de cana processada (CHRISTOFOLETTI *et al*, 2017).

Entre seus diversos usos, destaca-se, portanto, a produção de energia elétrica, e a capacidade de produzir etanol de segunda geração, devido aos seus compostos orgânicos complexos e em grandes quantidades, além de outros fins como produção de papéis e ração animal - quando hidrolisado (MORAES *et al*, 2013; UDOP, 2016; MONTES, 2017; SANTOS *et al*, 2018; SILVA, 2021).

Figura 4. Bagaço da cana-de-açúcar obtido após processo de moagem



Fonte: Nascimento (2021)

Como é possível observar na Figura 4, a quantidade de bagaço de cana resultante do processo de moagem é expressiva. As fibras contidas nesse subproduto são constituídas

basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, sendo constituído de proporções próximas a 50%, 25% e 25%, respectivamente, a depender do tipo de cana-de-açúcar utilizada (CHRISTOFOLETTI *et al*, 2017).

A hemicelulose e a celulose são os componentes que dão estrutura aos gomos da cana-de-açúcar, sendo ricas em açúcares como xilose e glicose, a extração destes açúcares envolve processos distintos e específicos. A lignina, por sua vez, possui altos índices de energia, sendo fundamental para a geração de calor e eletricidade, sendo componentes fundamentais em produtos aromáticos, compostos fenólicos e diversos outros produtos cosméticos e farmacêuticos (SANTOS *et al*, 2018; SILVA, 2021).

Existem ainda usos alternativos para o bagaço, entre os quais o consumo como alimento, devido ao seu alto teor nutritivo, sendo fundamental o tratamento físico e químico necessário para se atingir os índices de segurança alimentar. Sendo assim, devido as altas quantidades geradas, é possível desenvolver um processo paralelo com a produção do etanol, a fim de evitar desperdícios de matéria-prima e reduzir os impactos ambientais associados ao descarte incorreto desse resíduo (MORAES *et al*, 2013; MONTES, 2017).

2.4.2. Torta de filtro

A torta de filtro é obtida a partir do processo de filtração mecânica e tratamento do caldo (conhecido como clarificação, no qual as impurezas são removidas), extraído com o uso de um filtro rotativo (a partir da moenda). Esteticamente, possui características semelhantes às de um lodo. Seu rendimento e composição variam conforme o tipo de cana utilizada, o grau de maturação, o processo de clarificação utilizado entre outras características que definem o rendimento de torta de filtro por tonelada de cana-de-açúcar extraída, bem como suas propriedades físicas e químicas específicas (UDOP, 2016; SILVA, 2021).

No processo de extração desse subproduto, o rendimento médio pode variar de 25 a 40 kg para cada tonelada de cana-de-açúcar processada. Durante a produção do etanol e/ou açúcar, este subproduto, é comum que seja depositado diretamente sobre o solo e a céu aberto, até que se acumule quantidades suficientes para ser destinada aos plantios para reaproveitamento como adubo (MIALICHI JÚNIOR *et al*, 2020).

A Figura 5 exemplifica a reserva de torta de filtro, a qual é utilizada, entre outros fins, para adubação de plantios e lavouras. Sob essa perspectiva e ao analisar tais propriedades, Mialichi Júnior *et al* (2020) descreve que o uso da torta de filtro nos canaviais, tem por

consequência o aumento da produtividade por área plantada, principalmente devido ao fornecimento dos nutrientes apresentados anteriormente.

Figura 5. Torta de Filtro a ser utilizada como fertilizante



Fonte: Alves, Abdala e Lima (2017)

Devido a algumas propriedades, como altos teores de matéria orgânica, cálcio e fósforo, que influenciam na disponibilidade de nitrogênio e nos teores de Al trocável, vêm sendo utilizada como um excelente substituto para os adubos convencionais (MORAES *et al*, 2013, 2013; MIALICHI JÚNIOR *et al*, 2020).

De maneira mais eficaz, seu uso no sulco de plantio se destaca, já que o alto teor de umidade da torta (cerca de 75%) contribui para o processo de brotação da cana, além disso, o fósforo em sua composição se aproxima das raízes, se apresentando como excelente alternativa para plantio não irrigados ou em períodos de estiagem (MIALICHI JÚNIOR *et al*, 2020).

Entretanto, devido às suas altas concentrações de metais como ferro, zinco, alumínio e manganês, além de outras propriedades químicas e orgânicas como a alta Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, tornam este subproduto em potencialmente poluidor do solo e corpos hídricos, principalmente pelo fato de que os metais não utilizados pelas plantas percolam no solo, podendo atingir o lençol freático da região. Logo a sua conservação e

formas de aplicação no solo, devem ser avaliadas e estudadas, a fim de mitigar os impactos negativos gerados por tal subproduto no ambiente (ROSA; MARTINS, 2013).

2.4.3. Vinhaça

Entre os resíduos mais expressivos no que tange a produção do etanol, tem-se a vinhaça. Além do termo vinhaça, em outras regiões ela pode ser conhecida por outros nomes, como vinhoto, caldo, vinhote, restilo, garapão, entre outros. Esse subproduto é obtido durante o processo de destilação do caldo da cana (vinho) que foi tratado e fermentado para a produção dos produtos principais (UDOP, 2016; ANDRADE, 2017; SANTOS, 2021).

Quanto às características físico-químicas, podem ser mencionadas a cor marrom escuro, a alta acidez, que durante o processo de extração atinge temperaturas aproximadas de 107°C, um odor adstringente e, devido aos resíduos de açúcar, libera constante odores desagradáveis (MARTINS; OLIVEIRA, 2016).

Após a destilação, sua destinação se dá através da reserva em lagoas, que são equipadas com tubulações para descarga e posterior transporte, conforme apresentado na Figura 6 a seguir.

Figura 6. Vinhaça obtida durante a produção de etanol



Fonte: Chiappini (2022)

A vinhaça é utilizada durante a safra canavieira, onde no Norte e Nordeste ocorre de setembro a março, e no Centro-sul do país ocorre nos períodos de abril a novembro, como adubo de origem vegetal. Por padrão, deve possuir riqueza nula de álcool, sendo composta por água, matéria orgânica e nutrientes, como potássio, fósforo, cálcio, magnésio e nitrogênio, que pode variar conforme o tipo de cana e as técnicas aplicadas durante o plantio, maturação e colheita. De maneira geral, a cada quantidade de vinhaça produzida, sua composição se subdivide em valores de aproximadamente 93% de água e 7% de sólidos (SANTOS, 2021; TEIXEIRA, 2022).

Durante a produção da indústria de etanol, o rendimento médio de vinhaça atinge valores entre 10 e 14 litros para a produção de um litro do produto final. Ela se torna um dos resíduos mais volumosos do processo de produção. Devido ao seu teor de matéria orgânica e nutrientes, sua utilização como fertilizante para as lavouras tem ganhado destaque no cenário nacional, bem como possui destinações secundárias, como a produção de proteínas, de gás metano e componente para ração animal (SEIXAS; GIMENES; FERNANDES-MACHADO, 2016; UDOP, 2016; ANDRADE, 2017; SANTOS, 2021; SILVA, 2021).

No que tange ao seu uso como fertilizante, esse processo tem sido alvo de investimentos em tecnologias e estudos, com o objetivo de melhorar o rendimento, qualidade final dos produtos e consequentemente influenciar de forma positiva na produtividade por área plantada. Isso se deve à composição físico-química da vinhaça, atrelada aos percalços técnicos e econômicos relacionados ao seu tratamento e destinação final, se apresenta como solução para a fertilização e irrigação do solo, bem como para a destinação eficaz e menos invasiva ao meio ambiente, quando realizada de maneira adequada (BALDACIN; PINTO, 2015; ANDRADE, 2017).

Diante de suas propriedades, este resíduo pode substituir parcialmente o uso de adubação mineral durante o ciclo da cana-de-açúcar, sempre será parcialmente, pois, especificamente, a quantidade de nitrogênio encontrada nesse resíduo é baixa quanto às necessidades nutricionais do plantio, sendo fundamental a complementação com fertilizantes ricos em nitrogênio, como é o caso da ureia. Mas antes de qualquer aplicação, é necessária uma análise das necessidades do solo e da plantação, evitando a aplicação excessiva (BARBOSA *et al*, 2013; GOMES, 2021; ROSA; MARTINS, 2013; TAMARA; BARBOSA; OLIVEIRA, 2018; TEIXEIRA, 2022).

Em contrapartida, possui características especiais que exigem atenção, como a grande quantidade de matéria orgânica, a alta DBO, que varia entre 6-25 gramas por litro, o pH ácido

(valores entre 3,5 e 5), e poder corrosivo, além de características físicas desagradáveis como a cor escura e o odor forte. Pode ser considerada um dos resíduos mais poluentes originados do processo de produção do etanol, alcançando valores de até 100 vezes mais do que o esgoto doméstico (UDOP, 2016; SANTOS, 2021; WHEELER *et al*, 2021).

Devido a tais propriedades, não basta apenas aplicar a vinhaça no plantio, é preciso uma série de análises e cuidados a fim de evitar ocorrências de salinização, lixiviação de substâncias e o contato desses produtos com corpos hídricos e lençóis freáticos (que causa, entre outros problemas a eutrofização e morte de peixes), da modificação do pH do solo devido à sua alta acidez, além claro do desequilíbrio de macro e micronutrientes presentes no solo (SEIXAS; GIMENES; FERNANDES-MACHADO, 2016).

O uso como fertilizante não é recente, e há relatos do seu uso desde a década de 70, no entanto os meios de conservação e destinação desse resíduo vêm sofrendo modificações, de forma a gerar menos impactos e problemas, já que no início o descarte era realizado no leito dos rios e canais próximos às usinas, comprometendo a fauna e flora da região (MORAES *et al*, 2013; ROSA; MARTINS, 2013).

Esse modelo de destinação começou a despertar na sociedade a consciência sobre os efeitos negativos deste sistema de exploração, uma vez que apresentava descontrolado e características não sustentáveis. Além disso, devido as suas propriedades, se aplicadas no solo em quantidades superiores às necessárias, pode se apresentar como prejudicial ao solo e contaminar o lençol freático (ANDRADE, 2017; SANTOS, 2021).

Devido às suas peculiaridades e o seu risco potencial, a conservação e a aplicação de vinhaça nas plantações deverão ser realizadas mediante uma avaliação criteriosa realizada por especialistas, a fim de estimar a quantidade ideal frente aos macronutrientes (que se apresentam em proporções diferentes nesse subproduto), atentando-se também a características desagradáveis advindas da aplicação, como o odor e a presença de moscas (BALDACIN; PINTO, 2015; UDOP, 2016; WHEELER *et al*, 2021).

O problema da quantidade de vinhaça produzida não diz respeito somente às suas características, mas inclui o cuidado com o armazenamento e transporte deste subproduto. Os custos com o armazenamento e transporte ainda são altos, visto que em sua maioria é composta por água, o que reduz o rendimento da aplicação por área (SILVA *et al*, 2013; SILVA *et al*, 2018; TEIXEIRA, 2022).

Podemos concluir que a vinhaça possui dois aspectos distintos, um benéfico e o outro maléfico. A decisão sobre qual desses lados iremos escolher depende de nossas ações e responsabilidades.

2.5. Fertilizantes Orgânicos: Conceito e Ponderações

Em qualquer plantio e culturas, o acompanhamento das propriedades físico-químicas do solo torna-se indispensável, a fim de garantir o tratamento e o fornecimento das substâncias necessárias para o desenvolvimento e produtividade das espécies cultivadas. É comum que seja necessário adotar a adubação como mecanismo de equilíbrio e manutenção destes aspectos. Entre os processos mais comuns utilizados, especialmente no plantio de cana-de-açúcar, tem-se a fertirrigação, que se caracteriza pela aplicação de fertilizantes solúveis em água (CRUZ, 2022).

É evidente que a demanda por nutrientes de cada cultivo se relaciona com as exigências metabólicas de cada espécie, o que caracteriza os tipos de nutrientes e as quantidades necessárias para a absorção pelas células radiculares. Entre as características físico-químicas de suma importância para um solo de qualidade é a capacidade de troca de cátions, que ajuda na retenção de substâncias e nutrientes de maneira absorvível pelas plantas. Devido a essas características, é fundamental o desenvolvimento de análise e estudos que identifiquem a interação existente no solo e a associem com as necessidades nutricionais do plantio (GOMES, 2021).

Em todo o processo de adubação, especialmente o da fertirrigação, é fundamental realizar uma análise minuciosa das necessidades e carências do solo que serão aplicados os fertilizantes. Isso se justifica pelo fato de que a nutrição vegetal adequada é essencial para o crescimento, desenvolvimento e incremento da produtividade nas lavouras, e o excesso ou a falta de macro e micronutrientes podem impactar de maneira catastrófica o rendimento e a produção por área plantada (CHRISTOFOLETTI *et al*, 2017).

Atualmente, no país, ainda predomina o uso de fertilizantes NPK - Nitrogênio, Fósforo e Potássio – industrializados e importados. Entretanto, existem outras técnicas que podem ser adotadas, reduzindo a dependência destes insumos e, em soma, reduz o descarte inadequado e desenfreados de resíduos agroindustriais no meio ambiente. O uso de fertilizantes orgânicos ou organominerais vem ganhando destaque na agroindústria e se mostrando eficiente no que tange à adubação e incremento da produção (MARTINS; OLIVEIRA, 2016; CRUZ, 2022).

Por definição, os fertilizantes orgânicos são adubos naturais provenientes de origem animal ou vegetal, caracterizados pela presença de carbono degradável, o que promove a reciclagem de nutrientes do ecossistema, ao passo que diminui o descarte de resíduos de maneira inadequada e prejudicial ao meio ambiente. Estes tipos de adubação vêm sendo cada

vez mais alvo de estudos e análises, principalmente sobre o viés tecnológico e ambiental (MARTINS; OLIVEIRA, 2016; ANDRADE, 2017).

Apesar de ser benéfico, a aplicação dos resíduos orgânicos como fertilizantes na agricultura precisa seguir orientações e especificações desenvolvidas a partir de uma análise físico-química e biológica do solo em questão, e do cultivo, a fim de aplicar quantidades e proporções adequadas para as necessidades encontradas, além claro do tratamento e a verificação da presença de substâncias que podem ser tóxicas e prejudiciais ao solo e ao plantio (ANDRADE, 2017).

Em especial ao que se relaciona com os canaviais, os autores Martins e Oliveira (2016, p. 5) complementam o exposto relatando que, devido “ao aumento dos preços dos fertilizantes químicos, os projetos de fertirrigação estão se tornando economicamente mais vantajosos e com retorno garantido devido à redução de gastos com fertilizantes, do aumento de produtividade e à longevidade dos canaviais.”

2.6. Necessidades Nutricionais do Cultivo da Cana-de-açúcar

Atualmente, a cultura da cana-de-açúcar agrega um elevado índice de tecnologia, incluindo o controle químico e biológico frente a pragas e ervas daninhas, análise do índice de compactação do solo, emprego de novas variedades com melhoramento genético, emprego de substâncias maturadoras, entre outras alternativas que possibilitam o desenvolvimento deste setor. No entanto, todas essas técnicas, sem a associação da adubação e à irrigação, podem afetar negativamente a capacidade produtiva e a quantidade de biomassa por hectare de plantio (NASCIMENTO, 2017).

O percentual de nutrientes extraídos do solo pelas plantas pode variar de acordo com o tipo de cana plantada, o nível do ciclo, o tipo de manejo utilizado e a disponibilidade dos nutrientes no solo em questão. Frente a essas variáveis, é fundamental as ferramentas de análise físico-química do solo e sua interação com o tipo de vegetação adotada, a fim de recomendar o tipo de adubação ideal, frequência, quantidade e outros aspectos relevantes (GOMES, 2021).

Sob essa perspectiva, é possível dizer que a cana-de-açúcar, assim como qualquer outra planta, precisa de níveis equilibrados de alguns nutrientes no solo, principalmente na sua fase de desenvolvimento e maturação, como é o caso do nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). A deficiência de algum desses nutrientes, seja ele macro ou micronutrientes,

pode tornar deficiente o desenvolvimento completo da cultura, sendo fundamental a realização de análises e a reposição por adubação (LIRA, 2018).

Segundo Gonçalves (2018), a qualidade da cana-de-açúcar, e consequentemente de seus produtos e subprodutos, está diretamente associada ao processo de adubação. Esse processo, quando rico em nitrogênio proporciona o acréscimo de umidade, maior crescimento da planta e maior desenvolvimento foliar. A absorção deste macronutriente, no entanto, só é possível quando os índices de fósforo estão adequados.

Apesar da cana-de-açúcar exigir quantidades reduzidas de fósforo (P), em comparação com as quantidades de nitrogênio, o fósforo é imprescindível para o metabolismo da planta, no que tange ao processo de fotossíntese, o desenvolvimento celular e, posteriormente, na produção de sacarose. Uma adubação rica em fósforo promove o desenvolvimento acentuado dos colmos, resultando em uma maior produtividade por área plantada (TEIXERA; SOUSA; KONDÖRFER, 2014).

O nitrogênio é um dos macronutrientes mais exigidos pela cana-de-açúcar e se torna fundamental para o perfilhamento crescimento máximo das plantas. O fósforo, por sua vez, é importante na fase de crescimento das raízes, assim como no início do perfilhamento e na fase de rebrota. O potássio é necessário na fase de máximo crescimento, com a necessidade de grandes quantidades, em rápida velocidade. Já na fase de desenvolvimento são exigidas doses de cálcio significativas, que auxiliam no processo de enraizamento e no desenvolvimento das células de maneira integral. Doses de enxofre e o magnésio são necessárias nas fases finais, responsáveis pela qualidade e produtividade da cana (YARA BRASIL, 2020).

Em relação as necessidades de macronutrientes, é possível relacioná-las conforme estabelece o Quadro 2:

Quadro 2. Quantidades de macronutrientes (kg) contidos na parte aérea da cana, para a produção de 100 t de colmo (peso verde)

MACRO NUTRIENTES	CANA-PLANTA			SOQUEIRA		
	COLMOS	FOLHAS	TOTAL	COLMOS	FOLHAS	TOTAL
N	92	62	154	73	58	131
P	10	8	18	13	8	21
K	64	89	153	71	102	173

Ca	59	48	107	35	32	67
Mg	34	17	51	31	14	45
S	28	19	47	23	16	39

Fonte: Adaptado de Yara Brasil (2020)

Quanto aos micronutrientes, apesar deste serem exigidos em quantidade muito inferior aos macronutrientes, a deficiência pode prejudicar o desenvolvimento inicial e rendimento da cana frente a cadeia produtiva de interesse, como o etanol. Entre os micronutrientes extraídos do solo, os de maior expressividade são o Ferro (Fe) e o Manganês (Mn) (MELLIS *et al*, 2016; LIRA, 2018; YARA BRASIL, 2020).

De maneira secundária e não menos importante, o Boro (B) e o zinco (Zn) são fundamentais para o desenvolvimento de novos tecidos vegetais e são requisitados na fase de rebrota. O cobre, por sua vez, é menos requisitado, entretanto, atua em funções específicas e de suma importância, como modulador de diversas enzimas, da fotossíntese e na resistência a várias doenças (MELLIS *et al*, 2016; LIRA, 2018; YARA BRASIL, 2020).

Em relação as necessidades de micronutrientes, é possível relacioná-las conforme estabelece o Quadro 3:

Quadro 3. Quantidades de macronutrientes (g) contidos na parte aérea da cana, para a produção de 100 t de colmo (peso verde)

MICRONUTRIENTES	CANA-PLANTA	SOQUEIRA
B	160	234
Cu	50	80
Fe	6977	6626
Mn	1526	1015
Zn	282	179

Fonte: Adaptado de Yara Brasil (2020)

Devido à necessidade reduzida dos micronutrientes, é comum que estes sejam ignorados ou negligenciados por parte dos produtores. Entretanto, a falta destes na nutrição do

plantio pode gerar reduções drásticas na produtividade e até mesmo a morte de espécies, frente ao fenômeno denominado “fome oculta” – onde a planta não demonstra de maneira visível suas necessidades nutricionais, sendo possível notar somente após a análise de produtividade e durante a ocorrência de mortes de algumas amostras (LIRA, 2018).

Sob a perspectiva da necessidade de avaliação e acompanhamento da nutrição do plantio de cana-de-açúcar, é indicado realizar análises e amostras a fim de estabelecer as necessidades nutricionais e a maneira correta de realizar o processo de adubação e fertilização do plantio. Essa técnica, em sua maioria, é associada com a irrigação, atendendo a duas necessidades em uma única aplicação, objetivando a redução de custos. Entre as práticas mais comuns está a associação da irrigação com nitrogênio e potássio, mas pode incluir ou ser modificada conforme as necessidades (NASCIMENTO, 2017).

2.7. Vinhaça Pura como Fertilizante

Como abordado anteriormente, o cultivo da cana-de-açúcar se destaca no cenário nacional e, devido à sua alta capacidade de geração de biomassa, necessita de altas disponibilidades de nutrientes do solo, bem como condições propícias ao seu desenvolvimento (CONAB, 2023).

Para cada 100 toneladas de cana produzida, o acúmulo médio de macronutrientes na cana se apresenta da seguinte maneira: cerca de 154 kg de nitrogênio (N), 18 kg de fósforo (P), 153 kg de potássio (K), 107 kg de cálcio (Ca), 51 kg de magnésio (Mg) e 47 kg de enxofre (S). Quanto aos micronutrientes, estima-se valores médios de 7 kg de ferro (Fe), 1,6 kg de manganês (Mn), 0,3 kg de zinco (Zn), 0,05 kg de cobre (Cu), e 0,16 kg de boro (B) (GONÇALVES, 2018; YARA BRASIL, 2020).

Para suprir as necessidades nutricionais do plantio e da rebrota, é fundamental o uso de fertilizantes. No entanto, os custos associados à aquisição de fertilizantes industriais (também conhecidos como fertilizantes químicos) são elevados e podem se tornar inviáveis, dependendo das necessidades nutricionais do solo do plantio (NASCIMENTO, 2017).

Sob essa perspectiva, é possível analisar que a agroindústria canavieira é responsável pela produção de quantidades expressivas de resíduos orgânicos, com alta capacidade fertilizante, mas que também possuem características poluentes. Isso incentiva o estudo e a análise desses resíduos como alternativas viáveis de fertilizantes, associando um descarte menos agressivo ao meio ambiente e o aumento da produtividade dos plantios com custos menores se comparados aos fertilizantes industriais (MIALICHI JÚNIOR *et al*, 2020).

Assim, vem se destacando no cenário sucroenergético a aplicação da vinhaça no plantio, como forma de adubação. Essa destinação vem ganhando adeptos, já que este resíduo produzido em alta escala é rico em matéria orgânica, água, bem como em nutrientes fundamentais ao desenvolvimento do plantio da cana-de-açúcar, como o Potássio, Cálcio e Magnésio, que influenciam diretamente na produtividade por área plantada de cana. As formas mais utilizadas da vinhaça são a aplicação in natura, a aplicação concentrada, e a enriquecida. Existe ainda uma forma em desenvolvimento, que é a vinhaça em pó, que não é muito utilizada devido aos altos investimentos necessários para a sua produção (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2017).

Suas características físico-químicas proporcionam a elevação do pH do solo, a biodisponibilidade de íons fundamentais, o aumento da troca catiônica e a elevação da retenção de água no solo, o que confere características propícias ao processo de adubação e enriquecimento nutricional do solo do plantio (BASSO *et al.*, 2013; ANDRADE, 2017; CRUZ, 2022).

A aplicação da vinhaça é realizada a partir de um processo denominado fertirrigação, onde os fertilizantes são dissolvidos em água e distribuídos no plantio através de sistemas de irrigação, sendo o mais comum a irrigação por gotejamento. A fertirrigação, independentemente se realizada com fertilizantes químicos ou com resíduos como a vinhaça, é um método que garante a destinação de nutrientes às raízes, a partir da sua aplicação direta no solo, o que pode fornecer maior produtividade do que a adubação convencional (NASCIMENTO, 2017).

Em especial, a fertirrigação com a vinhaça pura, devido à sua composição rica em potássio, matéria orgânica e água, vem se destacando, já que associa economia e reutilização de recursos. Quando os canaviais estão próximos às usinas, a vinhaça é transportada através de canais condutores até os pontos de aplicação. Em locais distantes, são transportadas por caminhões, que a buscam nos tanques de destinação da usina e a levam até os canaviais (ANDRADE, 2017; CRUZ, 2022).

De maneira comum, este tipo de fertirrigação é realizado pelo sistema de aspersão, que atinge toda a área do plantio, sua eficiência é influenciada pelo grau de uniformidade e pela ação dos ventos na região de aplicação. No entanto, esse sistema apresenta algumas desvantagens, como a ação negativa quando entra em contato com o sistema foliar da cana-de-açúcar, ou ainda pelo menor aproveitamento dos nutrientes e da água. Outras formas de aplicação da vinhaça também estão sendo aplicadas, como é o caso da aplicação por sulcos ou a aplicação por gotejamento (MARTINS; OLIVEIRA, 2016).

Uma série de cuidados nesse tipo de adubação é exigida. Apesar dos seus potenciais, a vinhaça possui alta capacidade de poluição do solo, quando percolada, atinge corpos hídricos e mananciais. Essa poluição pode afetar negativamente a fauna, a flora e os solos da região de aplicação, logo, devem ser evitadas quantidades excessivas ou reaplicações com curto espaço de tempo (CRUZ, 2022).

De maneira inicial, a vinhaça era aplicada em grandes quantidades no plantio, sem nenhum tipo de análise ou controle. Somente a partir do ano de 1975 é que se observou a necessidade de estudar esse resíduo e suas influências (positivas e negativas) quando em contato com o solo do plantio (TOGNETI, 2016).

A aplicação em excesso pode causar, além dos fatores mencionados anteriormente, o desequilíbrio de macro e micronutrientes no solo em questão, em relação às quantidades de cálcio, magnésio e sódio, que interferem diretamente na fertilidade do solo quando em excesso. A qualidade da cana pode ser afetada, principalmente quando destinada à fabricação de açúcar, além de provocar o processo de salinização do solo, reduzir a biodisponibilidade de manganês e, conseqüentemente, a redução da germinação de sementes (CRUZ, 2022).

Por volta do ano de 2005, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, elaborou uma Norma Técnica P4.231, intitulada “Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola”, que estabelece padrões e instruções para a aplicação da vinhaça no solo, bem como a sua conservação, transporte e formas de aplicação a depender da região de destino. Atualmente, a norma encontra-se na Terceira Edição (2ª versão), atualizada no ano de 2015 (ROSA; MARTINS, 2013; CETESB, 2014).

Como exposto por Martins e Oliveira (2016), com base nessa normativa, os municípios da região adequam a sua produção e o processo de fertirrigação, promovendo o uso racional da vinhaça. Isso associa os fatores ambientais (reduzindo o acúmulo de resíduos e descarte inadequado), agronômicos (a partir da fertirrigação) e financeiros (economia frente ao uso de fertilizantes e adubos industriais).

O processo de fertirrigação com a vinhaça pura provoca, portanto, modificações benéficas no solo, como acréscimo de umidade nos colmos e a regulação da concentração de lignina, a fertirrigação dos canaviais também provoca modificações interessantes na fisiologia da cana-de-açúcar, tais como: aumento da umidade dos colmos, redução dos teores de lignina e elevação da presença de potássio. Observa-se também que a aplicação deste resíduo pode, quando em doses equilibradas, aumentar o rendimento de açúcares, o número de perfilhos e a produtividade/planta. Esses benefícios se relacionam diretamente com o aumento da disponibilidade de K^+ e Mg^+ no solo, bem como a alterações benéficas no pH, que

associados a umidade no solo promovem efeitos já relacionados (BARBOSA *et al*, 2013; MARTINS; OLIVEIRA, 2016; SILVA *et al*, 2018).

2.8. Aplicação Localizada de Vinhaça Enriquecida com Fertilizantes

O plantio e a manutenção de uma cultura de cana-de-açúcar necessitam de um investimento constante. O fato é que os custos se apresentam elevados devido ao fator rendimento, quanto mais o plantio rende, mais ele retira nutrientes do solo. Dessa forma, analisar o solo e identificar as necessidades nutricionais, bem como escolher a forma de adubação que mais se adequa, é fundamental para a perpetuidade do rendimento e produtividade por área plantada (CARDOSO *et al*, 2021).

Entre os diversos tipos de fertilizantes existentes, os fertilizantes organominerais, devido à sua composição e formas de estabilização em contato com o solo, promovem liberações gradativas de nutrientes, umidade, e consequentemente proporcionam melhorias frente ao processo de absorção de nutrientes através das raízes, melhorando os processos metabólicos (como a respiração e a fotossíntese). Além disso, são capazes de fornecer os macros e micronutrientes que este tipo de plantio necessita, como o nitrogênio, o fósforo, o magnésio e o potássio, influenciando a produtividade e rendimento destas plantas (GONÇALVES, 2018).

Neste cenário, a vinhaça se destaca devido à sua capacidade de substituir parcialmente o uso de adubação química do tipo industrial, principalmente as fosfatadas. De maneira geral, a vinhaça possui altos índices de matéria orgânica e potássio, médios índices de cálcio e sulfato, e é relativamente pobre em nitrogênio, fósforo e magnésio. Em relação aos micronutrientes, a presença de ferro é abundante, enquanto a concentração de manganês, cobre e zinco é baixa (MARTINS; OLIVEIRA, 2016; CARDOSO *et al*, 2021).

Desses componentes que constituem quimicamente a vinhaça, uma atenção especial deve ser dada ao Nitrogênio. Este macronutriente, tão importante para o plantio da cana-de-açúcar, apresenta-se em quantidade baixa frente às necessidades nutricionais em cada etapa de desenvolvimento. Dessa forma, a sua complementação é fundamental. Entre os fertilizantes mais utilizados para suprir essa necessidade está a ureia, que possui custo relativamente baixo e é rica em Nitrogênio (ROSA; MARTINS, 2013; TAMARA; BARBOSA; OLIVEIRA, 2018; TEIXEIRA, 2022).

Para Silva *et al* (2018) a combinação entre a vinhaça e os fertilizantes químicos nitrogenados podem apresentar resultados ímpares quanto ao aumento da produtividade do

plantio. Isso está relacionado ao aumento de fertilidade do solo ocasionado pela vinhaça, associado a uma maior disponibilidade de Nitrogênio, que influencia na biodisponibilidade de nitrato e de amônio no decorrer do tempo na área de aplicação.

Quadro 4. Diferenças entre os sistemas de irrigação mais utilizados quanto à irrigação e eficiência dos fertilizantes

CARACTERÍSTICAS	LOCALIZADA	ASPERSÃO	SULCO
USO DE ÁGUA	Maior Eficiência	Menor Eficiência	Menor Eficiência
FREQUÊNCIA DE APLICAÇÃO	Maior	Menor	Menor
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	Homogênea	Homogênea	Não Homogênea
DISTRIBUIÇÃO DE ADUBO	Próximo às Raízes	Área Toda	Variável
VARIAÇÕES CLIMÁTICAS	Menor Limitação	Maior Limitação	Maior Limitação

Fonte: Adaptado de Martins e Oliveira (2016)

Quanto à forma de aplicação conhecida como localizada, esta é realizada na linha de plantio da cana-de-açúcar. A quantidade ideal de vinhaça enriquecida será determinada somente após a análise do solo, a fim de conhecer suas necessidades nutricionais, bem como avaliar o tipo de cana do plantio, o período de colheita, o tempo de rebrota e outros fatores. Além do Nitrogênio, podem ser necessárias outras complementações à vinhaça, a fim de atender necessidades específicas e pontuais de cada região e de cada solo (CANA ONLINE, 2021; MOURA, 2022).

Após a referida análise, é possível estabelecer a lâmina indicada de vinhaça para aquele plantio, bem como a quantidade dos demais nutrientes a serem diluídos na vinhaça para a fertirrigação localizada, associando os benefícios já descritos desse resíduo com a atuação dos nutrientes usados como enriquecedores da solução. Com base nos testes de solo, é possível ainda estabelecer a frequência de fertirrigação (CETESB, 2014; CANA ONLINE, 2021; NOBILE, 2022).

Com a adoção da aplicação localizada, é possível alcançar áreas distantes e evitar excessos, desperdícios, a saturação do solo, bem como a redução significativa da erosão e da

lixiviação com o uso deste fertilizante. O uso desta metodologia possibilita ainda a necessidade de menor estrutura física, devido à ausência de necessidade de lagoas de reserva de vinhaça, tubulações, canais, bombas e mecanismos de aspersão (NOBILE, 2022).

É importante ressaltar que, independentemente do tipo de solo e das necessidades nutricionais exigidas, o valor de aplicação de vinhaça no solo não pode ultrapassar 30 m³ por hectare, conforme norma da CETESB. De qualquer forma, a aplicação deste fertilizante organomineral pode promover acréscimos significativos, em torno de 3 a 5 toneladas por hectare (CETESB, 2014; CANA ONLINE, 2021).

É relevante pontuar que a vinhaça pode ser aplicada por este sistema, mesmo após o crescimento da planta, com impactos mínimos ao solo e nas touceiras. Destaca-se também o fato de que a aplicação e distribuição mecanizada reduzem a necessidade de mão de obra especializada, diminuindo os custos nesse sentido. Atrelado a este fator, o rendimento de aplicação com um maquinário formado por um trator e duas carretas aplicadores gira em torno de 500 a 800 m³ de vinhaça por dia (NOBILE, 2022).

Devido ao grande volume de água na vinhaça, o que encarece sua reserva e transporte, vêm sendo adotada um processo denominado de concentração, que evapora grande percentual de água da mistura, mantendo ali os nutrientes e a matéria orgânica. Quando concentrada, é classificada pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) como fertilizante orgânico, com o devido registro, destacando-se, portanto, como um subproduto do processo de produção do etanol de grande relevância neste setor. Quando recebe a adição de minerais/nutrientes, é denominado fertilizante organomineral (ROSSETTO, 2019; VITAL, 2022).

É importante ressaltar que, a médio e longo prazo, o manejo dessa fertirrigação se apresenta mais vantajosa quando são tomadas medidas para a produção de vinhaça mais neutra. A sustentabilidade na destinação deste resíduo permeia o uso localizado deste fertilizante, seja concentrado ou não, de maneira a satisfazer os aspectos econômicos do setor (reduzindo gastos com fertilizantes industriais), aspectos agronômicos (fornecendo matéria orgânica e nutrientes essenciais ao plantio, associado ao processo de irrigação) e aspectos ambientais (destinando aquele resíduo, antes descartado de qualquer maneira, para aumentar a rentabilidade e produtividade por área plantada) (CANA ONLINE, 2021).

Quadro 5. Ponderações sobre a distância econômica possível para cada tipo de vinhaça

TIPO DE VINHAÇA	CARACTERÍSTICAS	DISTÂNCIA ECONÔMICA
VINHAÇA PURA	<i>IN NATURA</i> , SEM PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO OU ADIÇÕES	CERCA DE 20 KM
VINHAÇA PRÉ-CONCENTRADA ENRIQUECIDA	PROCESSO DE PRÉ-CONCENTRAÇÃO/ OU VINHAÇAS PROVENIENTES DE MELAÇO E CALDO EM DESTILARIAS ANEXAS A FÁBRICAS DE AÇÚCAR	CERCA DE 40 KM
VINHAÇA CONCENTRADA E ENRIQUECIDA	PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO PROPRIAMENTE DITO, A CERCA DE 20° BRUX	ATÉ 80 KM

Fonte: Adaptado de Cana Online (2021)

O setor canavieiro em geral vem investindo em tecnologias de aprimoramento da técnica de aplicação de vinhaça, em especial a vinhaça localizada. Muitos equipamentos foram desenvolvidos para conduzir e distribuir a vinhaça na linha de cana nos plantios. Em especial, destaca-se o transporte a aplicação por um conjunto composto por trator e tanques de fibra de vidro, que transporta a vinhaça até o local de aplicação e conduz o processo de fertirrigação, seja com a vinhaça pura ou concentrada, com ou sem adição de fertilizantes minerais. O uso deste método tem possibilitado a aplicação da vinhaça enriquecida em todo o canavial alvo (CANA ONLINE, 2021).

A aplicação de vinhaça localizada (seja ela concentrada, enriquecida ou não) pode ser realizada com o uso de tanques com capacidades que variam de 15 a 35 m³, os quais podem ser transportados por tratores e plataformas de arrasto ou acoplados em chassis especiais de caminhão. Em qualquer dos casos, a dosagem é controlada a partir de válvulas de despejo, associada à velocidade adotada pelo caminhão diretor (HENRIQUE, 2019; NOBILE, 2022).

A vantagem destes equipamentos é que o seu investimento inicial compensa, frente à redução de gastos na compra e aplicação de fertilizantes industriais. A aplicação de vinhaça localizada enriquecida pode ser realizada em todos os períodos do plantio, aumentando ainda mais a relação custo-benefício deste sistema. Outro benefício a ser listado está na possibilidade de controlar as doses aplicadas, determinar o quantitativo de vinhaça e fertilizantes minerais necessários, e alcançar áreas isoladas (HENRIQUE, 2019).

O mesmo autor lembra ainda que é necessário se atentar a qualidade do terreno e a inclinação deste (o que facilita ou dificulta o processo de aplicação), a regularidade do plantio das mudas, o enquadramento dos tratores e tanques entre fileiras de plantio, avaliar o risco de tombamento e os gastos com manutenção e o transporte até os canaviais. Analisando esses fatores, é possível colher os frutos da aplicação da vinhaça localizada enriquecida a médio e longo prazo (HENRIQUE, 2019; CANA ONLINE, 2021; MOURA, 2022).

2.9. Critérios Utilizados no Modelo

É fundamental nesta pesquisa examinar criteriosamente os principais critérios, pois são eles que comporão o modelo e indicarão o método de aplicação mais eficaz para uma determinada realidade. Os principais utilizados para avaliar e selecionar um projeto são: Investimentos em equipamentos, retorno do investimento (ROI), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), payback efetivo, índice de lucratividade (IL), custos fixos da aplicação, custos variáveis da aplicação, despesas fixas da aplicação, despesas variáveis da aplicação, manejo sustentável e impacto ambiental. O quadro 6 mostra de forma ilustrada.

Quadro 6. Todos os critérios analisados para desenvolver o modelo

CRITÉRIOS
Investimentos em Equipamentos
Retorno sobre Investimento (ROI)
Valor Presente Líquido (VPL)
Taxa Interna de Retorno (TIR)
Payback efetivo
Índice de lucratividade (IL)
Receitas
Custos fixos da aplicação
Custos variáveis da aplicação
Despesas fixas da aplicação
Despesas variáveis da aplicação
Manejo Sustentável
Impacto Ambiental

Fonte: Elaborado pelo autor

Investimentos em equipamentos: Para a implementação de cada método, seja V.O. ou V.C., são necessários equipamentos específicos, envolvendo investimentos em reais (R\$). Entretanto, ninguém investirá se não obter benefícios futuros (NETO, 2014).

Retorno sobre investimento (ROI): Mede o retorno, ou então, o desempenho da empresa na utilização do investimento (GITMAN, 2007). Sua formulação é:

Figura 7. Fórmula do retorno sobre investimento

(I)	$ROI = \frac{\text{Margem de lucro líquido}}{\text{Ativo total}}$
(II)	$ROI = \frac{\text{Receita} - (\text{Custo} + \text{Despesa})}{\text{Investimento com o produto}}$
Margem de lucro líquido = receita das vendas restantes após a dedução de todos os custos e despesas, incluindo juros, impostos e dividendos de ações preferenciais Ativo = tem como característica o potencial de geração de benefícios econômicos futuros. Logo, uma ideia, um projeto de desenvolvimento de produtos e serviços são ativos”.	

Fonte: Gitman (2007)

Vale lembrar que para transformar o ROI em porcentagem (%) é necessário pegar o resultado obtido pela fórmula e multiplicar (x) por 100.

Valor presente líquido (VPL): Para Souza e Clemente (2009), o VPL é a concentração de todos os valores previstos de um fluxo de caixa (entradas e saídas) para a data zero do investimento. Segundo Neto (2014), ele é obtido pela diferença entre o valor presente dos benefícios líquidos de caixa, e o valor presente do desembolso de caixa. Sua formulação é:

Figura 8. Fórmula do valor presente líquido

$$(I) \quad VPL = \left[\frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \frac{FC_3}{(1+i)^3} + \frac{FC_4}{(1+i)^4} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \right] - FC_0$$

$$(II) \quad VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0$$

FC_0 = Fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial),
 podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento.
 FC_j = Fluxos de caixa previstos no projeto para cada intervalo de tempo
 i = taxa de desconto
 n = período de tempo

Fonte: Rebelatto (2004)

Após encontrar o resultado obtido pela fórmula, ele irá indicar, se esse tipo de investimento gera benefícios suficientes que consiga pagar o valor desembolsado mais a taxa de retorno exigida pela empresa anual, vale destacar que quanto maior for essa taxa, maior tem que ser o benefício gerado pelo investimento, se não ele se tornará algo economicamente desaconselhável, pois o resultado do VPL será negativo (NETO, 2014).

Taxa interna de retorno (TIR): É uma taxa de retorno anual (exemplo 20%), que a empresa consegue adquirir caso realize o projeto e recebesse a entrada de caixa prevista pelo mesmo (GITMAN, 2007). Sua formulação é:

Figura 9. Fórmula da taxa interna de retorno

$$(I) \quad 0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0$$

FC_0 = Fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial),
 podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento.
 FC_j = Fluxos de caixa previstos no projeto para cada intervalo de tempo
 i = taxa de desconto
 n = período de tempo

$$(II) \quad FC_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j}$$

Fonte: Gitman (2007)

Lembrando que a TIR corresponde à taxa cujo VPL é zero.

Payback efetivo: Segundo Neto (2014), consiste em determinar o tempo necessário para que o capital investido seja recuperado por meio dos benefícios ao fluxo de caixa promovido pelo investimento, para realizar este cálculo basta dividir um pelo outro. Segundo Rebelatto (2004), payback corresponde ao tempo necessário para que o reembolso se iguale ao desembolso, visando recuperar o capital investido. Existem duas metodologias de cálculos de payback, e este modelo adotará a abordagem efetivo por ser considerada mais realista. Vou dar um exemplo para ficar mais fácil, o valor do investimento foi de R\$ 300.000,00, no primeiro ano o fluxo de caixa foi de R\$ 90.000,00, no segundo R\$ 50.000,00, no terceiro R\$ 60.000,00, no quarto R\$ 50.000,00 e no quinto R\$250.000,00. Ou seja, são necessários 4,20 anos para recuperar os R\$ 300.000,00 investidos, em outras palavras o payback efetivo é de 4,20 anos.

Índice de lucratividade (IL): Segundo Neto (2014), é uma variante do método do valor presente líquido, é determinado por meio da divisão do valor presente dos benefícios líquidos de caixa pelo valor presente dos desembolsos de caixa, ou seja, sua formulação é:

Figura 10. Fórmula do índice de lucratividade

$$(I) \quad VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0$$

FC_0 = Fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial),
 podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento.
 FC_j = Fluxos de caixa previstos no projeto para cada intervalo de tempo
 i = taxa de desconto
 n = período de tempo

$$(II) \quad IL = \frac{VP_{\text{entradas de caixa}}}{VP_{\text{saídas de caixa}}}$$

IL = Índice de lucratividade
 $VP_{\text{entradas de caixa}}$ = Valor presente das entradas
 $VP_{\text{saídas de caixa}}$ = Valor presente das saídas

Fonte: Neto (2014)

Após encontrar o resultado obtido pela fórmula, ele irá indicar, em termos de valor presente, quanto o investimento em uma determinada aplicação irá oferecer de retorno para cada real investido (NETO, 2014).

Receitas: Receita ou faturamento é o valor total referente as vendas de produtos e serviços da empresa em um determinado período, esse resultado é em expressão monetária (IUDICIBUS, 2000).

Custos fixos da aplicação: Sua característica é a de se manter inalterada face ao volume de atividade, ou seja, não se modificam em razão do aumento ou da diminuição do volume de produção. Por exemplo, o aluguel de um espaço para armazenamento, depreciação, conta de telefones etc. (MARTINS; ROCHA, 2003).

Custos variáveis da aplicação: Sua característica é a de se manter alterada face ao volume de atividade, ou seja, se modificam em relação direta com o volume vendido. Por exemplo, materiais diretos utilizados na aplicação da vinhaça etc. (MARTINS; ROCHA, 2003).

Despesas fixas da aplicação: Sua característica é a de se manter inalterada face ao volume de atividade, ou seja, não se modificam em razão do aumento ou da diminuição do volume de produção. Por exemplo, salários da administração, juros, encargos de empréstimo, despesas administrativas etc. (MARTINS; ROCHA, 2003).

Despesas variáveis da aplicação: Sua característica é a de se manter alterada face ao volume de atividade, ou seja, se modificam em relação direta com o volume vendido. Por exemplo, despesas de entrega, descontos de duplicatas e etc (MARTINS; ROCHA, 2003).

De modo geral, tanto os custos como as despesas fixas ou variáveis são provocados pelo esforço de produzir receita, em outras palavras, os custos e despesas estão associados às receitas (IUDICIBUS, 2000).

Manejo Sustentável: Considere práticas de manejo sustentável, visando a longo prazo, como a melhoria da qualidade do solo (fatores físicos, químicos e biológicos). Estudos na literatura indicam que, se as atividades biológicas do solo fossem interrompidas, a vida no planeta deixaria de existir em algumas décadas. Os principais indicadores incluem biomassa microbiana, a respiração basal, o quociente metabólico, os processos enzimáticos, bem como a macrofauna e os processos que envolvem o ciclo do carbono e do nitrogênio. Com esses pontos, conseguimos avaliar a qualidade do solo (DE OLIVEIRA, 2021).

Impacto Ambiental: É qualquer alteração no meio ambiente em um ou mais de seus componentes, como solo, água, entre outros, provocado pelo ser humano (SÁNCHEZ, 2020). Para avaliar a contaminação do solo e da água, utilizaremos a norma técnica da CETESB: “Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola”.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, trataremos dos procedimentos, das ferramentas e dos caminhos, ou seja, do passo a passo para atender os objetivos da dissertação. Em outras palavras a metodologia desenvolve a preocupação em torno de como alcançar aos objetivos propostos pelo trabalho.

3.1. Caracterização da Pesquisa

De acordo com Markoni e Lakatos (2011, p. 109), “a especificação da metodologia da pesquisa abrange o maior número de itens, pois responde, a um só tempo, a questões como: como? com o quê? onde? quanto?”.

Do ponto de vista de sua natureza, esta dissertação é uma pesquisa aplicada, pois concentra-se em questões relacionadas à aplicação do subproduto vinhaça. O principal objetivo deste estudo é desenvolver uma proposta de modelo de análise que permita os leitores identificarem a técnica de aplicação mais vantajosa, seja a V.C ou a V.O, com base em sua situação específica. Portanto, estou empenhado na elaboração de diagnósticos, identificação do problema e na busca de soluções (THIOLLENT, 2009, p.36).

A abordagem do problema desta pesquisa segue predominantemente uma linha qualitativa, ou seja, por meio de dados descritivos, sem excluir a característica quantitativa. De modo geral, esse trabalho envolve hipóteses e variáveis estabelecidas, com a preocupação de quantificar resultados com precisão (GODOY, 1995, p.57-63).

Desta forma, a pesquisa qualitativa e a quantitativa foi adequada ao objetivo geral desta pesquisa. A primeira tem o papel de compreender o tema estudado, enquanto a segunda visa mostrar o método de análise mais vantajoso para uma determinada realidade, essa combinação é considerada uma forma robusta de se produzir conhecimento, já que uma complementa a outra (RICHARDSON, 1989).

De acordo com Gil (2002), do ponto de vista de seus objetivos, as pesquisas são classificadas em exploratórias, descritivas e explicativas. Pesquisas exploratórias são “todas aquelas que buscam descobrir ideias e soluções, na tentativa de adquirir maior familiaridade com fenômeno de estudo” (SELLTIZ; JAHODA; DEUTSCH, 1974); pesquisa descritiva “expõe características de determinada população ou de determinado fenômeno” (VERGARA, 2004, p.47) e a pesquisa explicativa vem com o intuito de explicar a razão dos acontecimentos (GIL, 2007; VERGARA, 2004).

Desta maneira, considera-se esta pesquisa como predominantemente exploratória/descritiva, pois foram realizadas descrições precisas do tema estudado, iniciando a partir de esquemas teóricos, mas sempre com atenção aos novos elementos ou dimensões (GODOY, 1995, p.20-29).

O primeiro procedimento técnico utilizado foi a pesquisa documental, por meio de métodos e técnicas, teremos uma apreensão, compreensão e análise de documentos, o uso desses documentos deve ser apreciado e valorizado, pois eles representam fonte importante de dados, a riqueza de informações que podemos extrair e resgatar justifica seu uso, foram utilizados documentos como obras científicas, técnicas, relatórios, imagens, fotografias e outros. Alguns desses documentos foram “primários”, produzidos por mim, e outros foram “secundários”, coletados de outras pessoas que os produziram (GODOY, 1995, p.20-29).

O segundo procedimento foi o estudo de caso, que tem como objetivo analisar profundamente um ambiente, um sujeito ou uma situação em particular, neste trabalho, envolve o estudo em profundidade de técnicas de aplicação da vinhaça em propriedades rurais no interior paulista, buscando responder às questões de “como” e “por quê”, contribuindo para a construção do modelo desejado (GODOY, 1995, p.20-29).

3.2. Técnicas de Coleta e Análise de Dados

3.2.1. Técnicas de Coleta

A coleta de dados é uma tarefa muito importante para a realização de um trabalho, por isso foi necessário um bom planejamento e uma boa execução para que o todo não seja prejudicado (YIN, 2005). Neste trabalho, foram utilizadas técnicas de coletas de dados através de observação de campo, análise documental, entrevistas em profundidade, ou seja, foram utilizadas múltiplas fontes. Após isso, foi realizado a triangulação de dados para aumentar a credibilidade e a confiabilidade dos resultados (ALVES-MAZZOTI; GEWANDSZNAJDER, 2004; MARTINS, 2008; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002; YIN, 2005).

3.2.1.1 Observação de campo

Nesta dissertação, a técnica de observação foi utilizada para atingir os objetivos deste trabalho, dado o caráter pouco explorado da temática, a observação direta se torna crucial, neste caso, visitei propriedades rurais no interior paulista que utilizam a técnica de aplicação V.C. e também a V.O. Com isso, compreendi, por meio da observação, todos os fatores que

envolve a aplicação, identificando as diferenças, similaridades e indicadores a serem analisados, entre outros aspectos, essa técnica me forneceu uma parte descritiva e uma parte reflexiva, gerando mais informações para o meu trabalho final (ZANELLI, 2002; GODOY, 1995, p.20-29).

O Quadro 7 demonstra o principal objetivo desta observação e os itens que foram observados.

Quadro 7. Instrumento para observação

OBJETIVO	ITENS A OBSERVAR
Observar os dois cenários de aplicação, entendendo de forma detalhada os pontos fortes e pontos fracos de cada cenário	a) Observar o modelo de V.C.; b) Observar o modelo de V.O.; c) Tecnologias de precisão do modelo de V.O.; d) Equipamentos utilizados em cada modelo; e) Listar os pontos fortes de cada modelo; f) Listar os pontos fracos de cada modelo; g) Identificar possíveis melhorias a serem implantadas no futuro.

Fonte: Elaborado pelo autor

Depois dessa observação, foi construído um modelo de análise composto por indicadores, de forma quantitativa, o cenário mais favorável entre as técnicas de aplicação para uma determinada realidade.

3.2.1.2 Análise documental

A análise documental foi realizada por meio de documentos primários, que foram produzidos por mim, e documentos secundários, que foram obtidos por meio da empresa prestadora de serviço ao grupo sucroenergético (GODOY, 1995, p.20-29).

Primeiramente, foram utilizados documentos primários, como fotos e vídeos obtidos durante visitas às usinas do interior paulista, esses materiais são importantes para captar informações operacionais do cotidiano, complementando a falta de informação de bibliografia, em seguida, foram utilizados documentos secundários fornecidos pela empresa prestadora de serviço do grupo sucroenergético, os quais contribuíram para o desenvolvimento do modelo de análise proposto. É importante lembrar que a pesquisa documental se refere a materiais que ainda não foram publicados, como documentos das empresas em questão (MARTINS; THEÓPHILO, 2007).

3.2.1.3 Entrevistas em profundidade

“Entrevista é uma das mais comuns e poderosas maneiras que utilizamos para tentar compreender nossa condição humana”, dizem Fontana & Frey (1994, p.361). As entrevistas podem ser classificadas como abertas, semiabertas ou fechadas (DUARTE, 2010).

As entrevistas desta dissertação foram fechadas e conduzidas de forma individual, com o objetivo de buscar informações, percepções e experiências dos informantes relacionados a aplicação de vinhaça, para analisá-los e apresentá-los de forma estruturada. Os critérios de escolha dos informantes foram baseados na relevância que está pessoa tem para a construção da dissertação, tais critérios incluirão: indivíduos diretamente envolvidos na aplicação da vinhaça e que estejam dispostos a colaborar com este estudo. O Quadro 8 apresenta os colaboradores que foram entrevistados e suas respectivas responsabilidades.

Quadro 8. Definição dos informantes

CARGO	ATRIBUIÇÃO
Diretor de Operações	Dirige as operações da empresa, desenvolve o planejamento estratégico, orçamento e plano de investimento empresarial e implanta o projeto de negócios para alcançar os objetivos de rentabilidade, custos e crescimento. Monitora a implementação e aplicação de políticas, processos e procedimentos organizacionais.
Gerente de planejamento Agrícola	Administra unidades produtivas, elabora e executa planejamento anual de plantio, operações agrícolas e entrega do produto ao seu destino final. Desenvolve orçamento, controla custos e acompanha atividades de manejo a colheita.
Supervisor de Planejamento	Acompanha a elaboração das necessidades para o desenvolvimento de projetos. Faz o acompanhamento da contratação de terceiros. Acompanha o progresso de engenharia, suprimentos e demais áreas de suporte. Fiscaliza e interage com as equipes de gerenciamento. Informa e solicita à diretoria sobre recursos e despesas. Direciona conforme solicitações corretivas. Define e acompanha marcos de projeto / procedimentos, elabora relatórios gerenciais mensais e semanais.
Diretor Administrativo Financeiro	Planeja, organiza, dirige e controla as atividades financeiras da empresa, fixando políticas para a gestão dos recursos

	disponíveis e para a estruturação, racionalização e adequação dos serviços de apoio. Implanta processos financeiros, contábeis, fiscais, de controladoria e de escrituração, respondendo pelo planejamento, pela organização e pelo desenvolvimento de curto, médio e longo prazo. Analisa o resultado operacional e elabora relatórios gerenciais demonstrando a eficácia da aplicação dos recursos e o desempenho econômico da empresa.
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com Zanelli (2002, p. 85), é fundamental, após o término da entrevista (online ou presencial), já a transcrever, pois permite uma maior fidelidade à transcrição, ou seja, não deixa de fora nenhum elemento dito pelo entrevistado. Foi exatamente assim que fiz neste instrumento de coleta de dados.

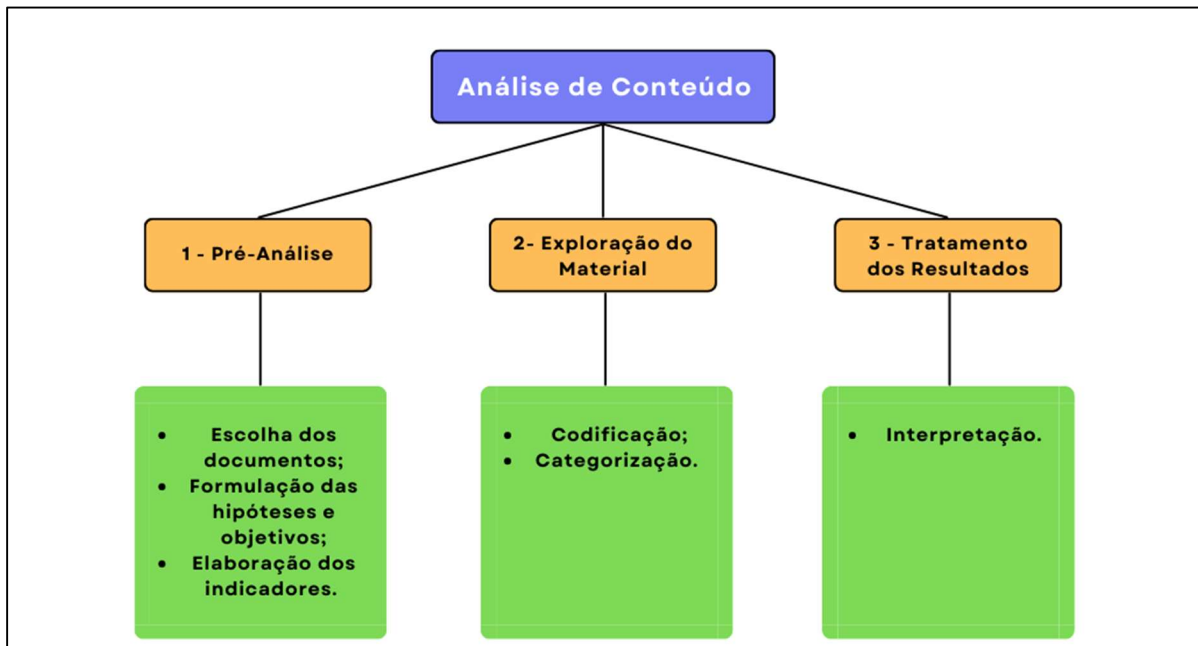
3.2.2. *Análise de Dados*

Essa é uma das últimas etapas, segundo Borges, Hoppen e Luce (2009, p. 886), consiste em “examinar, categorizar, tabular e recombina os elementos”. Este capítulo será dividido em duas etapas, uma demonstrando a análise de dados para a abordagem qualitativa e a outra para a abordagem quantitativa.

Esta pesquisa definiu como forma de interpretação a análise de conteúdo (AC), pois essa técnica pode ser utilizada tanto na abordagem quantitativa quanto na qualitativa. Segundo a perspectiva de Bardin, tem sido uma das técnicas mais utilizadas para esse fim, ela envolve três fases fundamentais: pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados e interpretação (BARDIN, 2011).

Na fase de pré-análise, será realizado a escolha dos documentos, formulação das hipóteses e objetivos, bem como a elaboração dos indicadores; na fase de exploração do material, será feito a codificação e categorização; na terceira fase, será o tratamento dos resultados e a interpretação da dissertação (BARDIN, 2011).

A Figura 7 mostra graficamente essas fases citadas acima e também o que foi realizado em cada uma delas.

Figura 11. Análise de conteúdo

Fonte: Adaptado de Bardin (2011)

3.2.2.1 Análise de Dados Para a Abordagem Qualitativa

Na primeira etapa a análise de dados para a abordagem qualitativa desta dissertação, foram utilizados como instrumentos de coletas: observação de campo, análise documental e entrevistas em profundidade.

3.2.2.2 Análise de Dados Para a Abordagem Quantitativa

Na segunda etapa da análise de dados para a abordagem quantitativa, serão utilizados alguns critérios para compor o modelo de análise, eles vêm para suprir a necessidade de informações quantitativas que contribuirão para concluir com o objetivo geral da dissertação. Os critérios são: Investimentos em equipamentos, retorno do investimento (ROI), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), payback efetivo, índice de lucratividade (IL), custos fixos da aplicação, custos variáveis da aplicação, despesas fixas da aplicação, despesas variáveis da aplicação, manejo sustentável e impacto ambiental.

3.3. Descrição do Objeto de Estudo

A pesquisa foi realizada em uma empresa brasileira com mais de 46 anos, hoje ela tem um papel fundamental no setor sucroenergético, produz e comercializa etanol, açúcar, combustíveis e bioenergia.

Por ser um grupo grande, estudei unidades localizadas no interior do estado de São Paulo, porém seu nome não será divulgado, então vou chamar de “usina hipotética” com capacidade anual de 300.000 toneladas de produção de açúcar, 170.000 m³ de produção de etanol, 3.000.000 toneladas de moagem e 70 MWH de geração de energia, contando mais de 1.000 colaboradores.

A escolha deste grupo empresarial foi por conveniência, pois este trabalho contará com o apoio de uma prestadora de serviço responsável por todos os projetos relacionados ao subproduto vinhaça.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos e, posteriormente, discutidas as evidências da pesquisa com base no modelo proposto. O objetivo é fornecer ao leitor as ferramentas necessárias para identificar o melhor método de aplicação de vinhaça para uma realidade específica.

4.1. Resultados

O modelo de análise proposto oferece duas opções: Vinhaça Convencional (V.C.) e Vinhaça Otimizada (V.O.). O objetivo deste modelo é proporcionar ao leitor escolhas que o capacitem a tomar a melhor decisão, levando em consideração sua realidade específica.

Os critérios para esta decisão abrangem aspectos quantitativos e qualitativos. O Quadro 9 mostra de forma detalhada todos eles e como eles serão avaliados. O modelo é composto em três etapas: Na primeira etapa, são apresentados os critérios referentes à análise do investimento (Quadro 10); na segunda, são abordados os critérios quantitativos, expressos em reais (R\$) e relacionados a receitas, custos e despesas (Quadro 11); e, por fim, na terceira, são detalhados os critérios qualitativos (Quadro 12).

Em princípio (Quadro 9), apresentamos todos os critérios do modelo sem entrar em sua explicação, uma vez que este capítulo não proporciona espaço para tal, em caso de dúvidas, é possível consultar o capítulo 2.9. Aqui, fornecemos apenas uma visão geral dos critérios a serem analisados, indicando se a avaliação será qualitativa ou quantitativa. O propósito deste quadro é proporcionar ao leitor uma visão abrangente dos critérios, sem antecipar a escolha do método de aplicação mais adequado à sua realidade.

Quadro 9. Todos os critérios, quantitativos e qualitativos

CRITÉRIOS	VINHAÇA CONVENCIONAL	VINHAÇA OTIMIZADA
Investimentos em Equipamentos	Quantitativos	Quantitativos
Retorno sobre Investimento (ROI)	Quantitativos	Quantitativos
Valor Presente Líquido (VPL)	Quantitativos	Quantitativos
Taxa Interna de Retorno (TIR)	Quantitativos	Quantitativos
Payback efetivo	Quantitativos	Quantitativos
Índice de lucratividade (IL)	Quantitativos	Quantitativos
Receitas	Quantitativos	Quantitativos

Custos fixos da aplicação	Quantitativos	Quantitativos
Custos variáveis da aplicação	Quantitativos	Quantitativos
Despesas fixas da aplicação	Quantitativos	Quantitativos
Despesas variáveis da aplicação	Quantitativos	Quantitativos
Manejo Sustentável	Qualitativos	Qualitativos
Impacto Ambiental	Qualitativos	Qualitativos

Fonte: Elaborado pelo autor

Agora, a necessidade de envolvimento do leitor se intensifica. Na primeira etapa (Quadro 10) são os critérios quantitativos, ou seja, aqueles passíveis de mensuração numérica. Neste quadro, é necessário que você preencha as colunas referente à V.C. e à V.O. Mas, antes, vou explicar critério por critério.

O primeiro critério é os investimentos em equipamentos, sendo o mais simples do quadro, basta realizar um orçamento de todos os equipamentos necessários para cada aplicação, representado em reais (R\$). A partir do ROI, todos os critérios exigirão cálculos (fórmulas disponíveis no capítulo 2.9), a única coisa que mudará são as representações de cada critério: o ROI é expresso em porcentagem (%); o VPL em R\$; a TIR em porcentagem (%); o payback efetivo é em quantidade de anos; por último, o IL, em número decimal como mostra o Quadro 10. Nesta fase, o processo é mais complexo em comparação às fases posteriores.

Quadro 10. Critérios de avaliação econômica de investimentos

CRITÉRIOS	VINHAÇA CONVENCIONAL	VINHAÇA OTIMIZADA
Investimentos em Equipamentos	R\$	R\$
Retorno sobre Investimento (ROI)	%	%
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$	R\$
Taxa Interna de Retorno (TIR)	%	%
Payback efetivo	Quantidade de anos	Quantidade de Anos
Índice de lucratividade (IL)	Número decimal	Número decimal

Fonte: Elaborado pelo autor

Na segunda etapa (Quadro 11), estão apenas os critérios que serão avaliados quantitativamente e que estão relacionados às receitas, custos e despesas da aplicação, tanto os fixos como variáveis. Partindo do princípio de que esses custos e despesas são gerados no esforço de produzir receitas, por isso todos os campos são representados em reais (R\$). Neste quadro, é necessário que você, leitor, preencha ambas as colunas. Na célula TOTAL, faça

uma subtração entre Receita – Custo – Despesas para obter um valor, que utilizaremos na discussão dos resultados. Nesta fase, o processo é bastante simples, no entanto, é importante ressaltar que ainda há mais uma etapa a ser considerada. A relevância deste quadro se destaca, uma vez que o campo TOTAL é sujeito a interpretação e é de suma importância para calcular um indicador do quadro anterior, o ROI.

Quadro 11. Somente os critérios quantitativos, expressos em reais (R\$) e relacionados a receitas, custos e despesas

CRITÉRIOS	VINHAÇA CONVENCIONAL	VINHAÇA OTIMIZADA
Receitas	R\$	R\$
Custos fixos da aplicação	R\$	R\$
Custos variáveis da aplicação	R\$	R\$
Despesas fixas da aplicação	R\$	R\$
Despesas variáveis da aplicação	R\$	R\$
TOTAL	Receitas – Custos – Despesas = R\$	Receitas – Custos – Despesas = R\$

Fonte: Elaborado pelo autor

Na última etapa, ou seja, na terceira (Quadro 12), encontram-se apenas os critérios que serão avaliados de forma qualitativas, ou seja, aqueles avaliados por palavras. Esses critérios se desdobram em subcritérios; para simplificar, os critérios são Manejo sustentável e Impacto ambiental, enquanto os subcritérios são qualidade do solo e contaminação do solo e da água. São esses subcritérios que realizam as avaliações dos critérios.

Para avaliar o critério manejo sustentável e o subcritério qualidade do solo, utilizaremos as seguintes categorias: ruim, regular e bom. Quanto ao critério impacto ambiental e o subcritério contaminação do solo e água, empregaremos as seguintes categorias: baixo, médio e alto.

É importante destacar que, para analisar o subcritério qualidade do solo, é necessário considerar indicadores biológicos, tais como biomassa microbiana, a respiração basal, o quociente metabólico, os processos enzimáticos, bem como a macrofauna e os processos que envolvem o ciclo do carbono e do nitrogênio. Esses elementos permitem uma avaliação precisa da qualidade do solo, classificando-a como ruim, regular ou bom.

Para avaliar o subcritério contaminação do solo e da água, podemos utilizar a norma técnica da CETESB: “Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola” como apoio para o preenchimento do Quadro 12. Essa norma abrange desde o armazenamento até a aplicação da vinhaça, delineando práticas permitidas e proibidas. Por meio dessa análise,

é possível mensurar se o método de aplicação possui uma contaminação do solo ou da água considerada baixo, médio ou alto.

Neste quadro, é necessário que você, leitor, preencha as colunas correspondentes à V.C. e à V.O. Apesar de ser diferente das anteriores, o procedimento mantém sua simplicidade.

Quadro 12. Somente os critérios qualitativos

CRITÉRIOS	VINHAÇA CONVENCIONAL	VINHAÇA OTIMIZADA
Manejo sustentável		
Qualidade do solo		
Impacto ambiental		
Contaminação do solo e da água		

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir, apresentamos algumas perguntas norteadoras que ajudarão no preenchimento dos Quadros 10, 11 e 12.

Quadro 13. Quadro de funcionários: Enriquecimento de vinhaça

1	Quantas pessoas trabalha no carregamento? Qual o ticket médio de ganho mensal?
2	Quantas pessoas trabalha como motorista, considerando que tivesse 1 aplicador? Qual o ticket médio de ganho mensal?
3	Quantas pessoas fica no local da transferência do tanque de transporte para o tanque aplicador + o operador do equipamento? Qual o ticket médio de ganho mensal?

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 14. Quadro de funcionários: Aplicação por aspersor

1	Quantas pessoas trabalha no carregamento? Qual o ticket médio de ganho mensal?
2	Quantas pessoas trabalha como motorista, considerando que tivesse 1 aspersor aplicador? Qual o ticket médio de ganho mensal?
3	Quantas pessoas fica no local da aplicação? Qual o ticket médio de ganho mensal?

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 15. Quadro de funcionários: Cultivo

1	Quantas pessoas fica dedicada para essa operação no campo? Qual o ticket médio de cada pessoa e sua função na estrutura?
----------	--

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 16. Projeto vinhaça enriquecida

1	% de K ₂ O – Potássio encontrado da vinhaça?
2	Vinhaça é concentrada?
3	Lâmina média aplicada por hectare?
4	Existe variação de lâmina por área? Se sim qual a quantidade N por tonelada produzida é utilizada hoje?
5	Quanto tempo demora para transferir a carga do conjunto de transporte para o aplicador?
6	De quantos litros e o aplicador de 15 m ³ 22,5 m ³ 30 m ³ ou 35 m ³ ?
7	Qual o trator disponível acoplar no aplicador? Quantos Cv tem o trator?
8	Qual o consumo médio de diesel desse trator?
9	Qual o tempo demora para descarregar um tanque do aplicador?
10	Qual o tempo de descanso do operador?
11	O equipamento trabalha os 3 turnos? 7 dias na semana?
12	Existe frequência de manutenção? Qual?
13	Quantos hectare é feito por 1 equipamento aplicador por turno? E por dia? Qual horário o rendimento é menor?
14	Quantas ruas o aplicador de vinhaça consegue aplicar em uma passada?

Fonte: Elaborado pelo autor

Questionário Projeto Vinhaça aplicada por aspersor + Adubação com cultivador**Quadro 17.** Vinhaça Aspersor

1	Qual a lâmina aplicada por hectare em média?
2	Quanto tempo demora para fazer um hectare?
3	Essa operação trabalha 3 turnos? 7 dias na semana?
4	Quantos hectare é feito por dia com essa operação?

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 18. Cultivador em área de vinhaça

1	Após a aplicação é feito a operação de cultivo e geralmente qual fórmula química é utilizada nessa operação?
2	Quantas ruas de cana leva o aplicador de fertilizante do cultivo?

3	Qual o modelo do trator e quantos Cv tem o trator utilizado nessa operação? Qual o consumo de óleo diesel por hora?
4	Quanto kg de fertilizante o equipamento do cultivo consegue levar nos compartimentos?
5	Quanto tempo demora para esse equipamento fazer um hectare?
6	Esse equipamento trabalha 3 turnos? 7 dias na semana?
7	Qual o tempo de descanso dos operadores?

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 19. Cultivador sem aplicação de vinhaça

1	Após a aplicação é feito a operação de cultivo e geralmente qual fórmula química é utilizada nessa operação?
2	Quanto tempo demora para esse equipamento fazer um hectare?
3	Esse equipamento trabalha 3 turnos? 7 dias na semana?
4	Qual o tempo de descanso dos operadores?

Fonte: Elaborado pelo autor

Após o preenchimento de todos os quadros, avançaremos para a discussão dos resultados no próximo capítulo.

4.2. Discussão dos Resultados

Conforme demonstrados nos resultados, agora é essencial ter cautela na interpretação para tomar a melhor decisão, ela é capaz de definir o sucesso da empresa no curto, médio e longo prazo, sendo elas: D1 = aplicação da vinhaça convencional; D2 = aplicação da vinhaça otimizada.

No Quadro 10, o critério investimentos em equipamentos não é inicialmente passível de interpretação. Em outras palavras, no primeiro momento, não importa se uma aplicação demanda mais investimentos que a outra. Aqui, sempre vamos considerar que a empresa terá acesso aos recursos, seja por meios próprios ou de terceiros. Em um segundo momento, ou melhor, ao final de todas as etapas vamos conseguir identificar qual o investimento trará o melhor custo/benefício.

A partir do ROI começa a interpretação, ele é da seguinte maneira: se ele for maior que a taxa média da empresa, o projeto é aceito, se for menor, é rejeitado. Quando comparamos entre D1 e D2, optamos pela decisão que apresenta a taxa mais elevada.

A interpretação do VPL é bastante simples e direta: se ele for maior ou igual a zero, considera-se uma aplicação atraente, já se for negativo, indica retorno inferior à taxa mínima aceitável pela empresa, ou seja, um investimento desinteressante. Assim, caro leitor, a escolha entre D1 e D2 deve recair sobre aquela que apresentar o maior valor, pois o projeto demonstrará ser mais interessante do ponto de vista econômico.

Já a TIR, caso seja superior à taxa de atratividade, devemos aceitar o projeto, por outro lado, se a TIR for inferior, devemos rejeitar. Neste critério, também é crucial escolher entre D1 e D2 aquela que apresentar a maior taxa, indicando ser mais atrativa que a outra.

O payback efetivo é interpretado da seguinte maneira: quanto maior for o prazo, evidentemente, maior será o risco envolvido na decisão de uma determinada aplicação, pois, não sabemos quando serão as épocas de dificuldade e incerteza. Entretanto, é fundamental comparar o payback efetivo com o limite-padrão definido pela empresa, em outras palavras, é a fixação do prazo máximo para recuperação do seu capital investido. Neste critério, a escolha recai sobre o método (D1 ou D2) com o menor payback efetivo, indicando que o retorno do seu dinheiro ocorrerá em um período de tempo mais curto.

Com base no IL, um projeto deve ser aceito ou rejeitado conforme o seu resultado, se o $IL > 1$, o projeto deve ser aceito ($VPL > 0$); $IL = 1$, indica um $VPL = 0$, o projeto é, em princípio, atraente, pois remunera o investidor na taxa requerida de atratividade; caso o $IL < 1$, o projeto deve ser rejeitado. Diante desses dados, a escolha entre as aplicações (D1 e D2) será a qual apresentar o maior número entre elas, indicando maior atratividade.

Este quadro (Quadro 10), acaba tendo um papel eliminatório, dispensando a necessidade de análise do Quadro 12, pois se alguma das aplicações (D1 ou D2) mostrar-se economicamente inviável e for rejeitada, isso nos orienta sobre qual aplicação escolher para a realidade em questão. No entanto, a exclusão não diminui a importância do manejo sustentável e do impacto ambiental, pois esses fatores são regulamentados por leis. Agora se ambas as aplicações forem aceitas e sem grandes discrepâncias de resultados, conseguimos avançar para a próxima etapa (Quadro 12).

Desta forma a interpretação geral do Quadro 10 fica da seguinte forma:

- (I) Se a Vinhaça Convencional receber avaliações melhores que a Vinhaça Otimizada, escolhemos a D1;
- (II) Se a Vinhaça Otimizada receber avaliações melhores que a Vinhaça Convencional, escolhemos a D2.

É relevante destacar que o Quadro 11 complementa o Quando 10, uma vez que as informações de receitas, custos e despesas são necessárias para calcular o critério ROI, presente no Quadro 10. Além desse complemento, o Quadro 11 também é passível de interpretação dos resultados de cada critério.

Vamos começar analisando as receitas, o método que apresentar um valor superior ao outro indica uma aplicação que gera mais faturamento, essa diferença se deve ao potencial de mais ganho de produtividade, em outras palavras, a planta tem um acúmulo maior de açúcar, resultando em uma maior produção na usina, e, conseqüentemente, um retorno financeiro maior. No entanto, precisamos continuar nossa análise, verificando quais são seus custos e despesas, tanto fixos como variáveis. Partindo do princípio de que esses custos e despesas são causados pelo esforço em gerar receitas, quanto maior a receita, maior será a probabilidade de custos e despesas elevadas. Assim, só conseguimos tirar uma conclusão precisa no campo total, onde está o resultado obtido pela subtração da receita pelos custos e despesas. A interpretação fica da seguinte forma:

- (I) Se a Vinhaça Convencional tiver um saldo total positivo maior que a Vinhaça Otimizada, escolhemos a D1;
- (II) Se a Vinhaça Otimizada tiver um saldo total positivo maior que a Vinhaça Convencional, escolhemos a D2.

No Quadro 12, o método de aplicação (D1 ou D2) que receber a melhor avaliação será o escolhido. Neste quadro, abordaremos dois critérios e dentro desses critérios, temos os subcritérios. São os subcritérios que avaliam os critérios, e cada um deles é interpretado diferente, como será explicado a seguir.

No manejo sustentável, que consiste em práticas visando o longo prazo, vamos analisá-lo com o subcritério qualidade do solo, pensando na longevidade da cultura. Neste contexto, utilizaremos as seguintes palavras: ruim, regular e bom. A pior avaliação será “ruim”, enquanto a melhor será “bom”, ou seja, o método de aplicação que apresentar uma qualidade de solo classificada como “bom” será a escolhida neste momento.

No impacto ambiental, que consiste em analisar qualquer alteração no meio ambiente causada por cada método de aplicação, seja no solo, água, entre outros, provocados pelo ser humano, o subcritério analisado é a contaminação do solo e da água e utilizaremos as seguintes palavras como avaliação: baixo, médio ou alto. A interpretação desse subcritério é diferente do anterior, sendo “baixo” a melhor avaliação e “alto” a pior, ou seja, o método de

aplicação que apresentar uma contaminação do solo e água classificados como “baixo” será a escolhida neste momento.

Desta forma a interpretação geral do Quadro 12 fica da seguinte forma:

- (III) Se a Vinhaça Convencional tiver uma avaliação melhor que a Vinhaça Otimizada, tanto no ponto de vista do manejo sustentável como do impacto ambiental, escolhemos a D1;
- (IV) Se a Vinhaça Otimizada tiver uma avaliação melhor que a Vinhaça Convencional, tanto no ponto de vista do manejo sustentável como do impacto ambiental, escolhemos a D2.

Após completar todas as etapas (Quadro 10, 11 e 12), você, leitor, chegará à conclusão da melhor decisão de aplicação de vinhaça para a sua realidade específica, ou seja, a escolha entre D1 ou D2. É importante ressaltar que, em alguns casos, será necessário o apoio de especialistas, como profissionais da área financeira e engenheiros agrônomos para tomar essa decisão de forma mais embasada.

4.3. Implicações Gerenciais

A construção de um modelo de análise para identificar a técnica aplicação mais favorável entre as diferentes abordagens traz para o setor sucroenergético uma nova ferramenta para avaliação e tomada de decisão. Isso contribui para melhorar a lucratividade no setor. No entanto, a escassa literatura sobre os tipos de aplicações dificulta o entendimento amplo delas.

5. CONCLUSÕES

Para iniciar as conclusões, retornarei à pergunta norteadora desse trabalho: Qual é a melhor técnica de aplicação para otimizar o uso desse subproduto na fertilização da cana-de-açúcar com base em uma situação específica?

Para iniciar a busca pela resposta à pergunta norteadora, foi crucial aprofundar-se nos conhecimentos para compreender as características e propriedades da matéria-prima, cana-de-açúcar, e como o subproduto vinhaça é obtido.

Ela é obtida no processo de destilação do caldo da cana (vinho), que passou por tratamento e fermentação para a produção dos produtos principais. Neste processo, são produzidos aproximadamente de 10 a 18 litros para cada litro de etanol, variando de acordo com a tecnologia utilizada pela indústria.

O estudo aprofunda-se no subproduto, buscando um entendimento mais detalhado do mesmo. Por um lado, é caracterizada como um efluente líquido de destilarias com alto poder poluente. Entre todos os efluentes, a vinhaça destaca-se por possuir a maior carga poluidora, possuindo um poder cerca de cem vezes superior ao esgoto doméstico. Este fato se deve à sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), variando de 20.000 a 35.000 mg L⁻¹, além da alta temperatura na saída dos destiladores, entre 85 a 90° C (SALOMON & LORA, 2005). Ela é considerada altamente prejudicial à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem as costas brasileiras para procriação (FREIRE & CORTEZ, 2000; ROSSETTO, 1987).

Por outro lado, Giachini & Ferraz (2009) a caracterizam a vinhaça como um efluente líquido que traz benefícios nas esferas agrônômica, financeira e social. No âmbito agrônômico, ela pode substituir parcialmente os fertilizantes tradicionais, devido ao seu alto valor como fertilizante (Junqueira et al., 2009). Essa substituição pode resultar em ganhos financeiros, tornando evidente que, quando utilizada de maneira adequada, esse subproduto tem o potencial de aumentar os lucros. Além desses benefícios, é importante mencionar o impacto social positivo, como a geração de empregos e renda.

Portanto, podemos concluir que, por um lado, a vinhaça é vista como poluidora ambiental, mas por outro, representa uma vantagem para o setor. Em resumo, o setor sucroalcooleiro, ao saber utilizar bem esse subproduto, despontará nesse cenário (Primo et al., 2015). Ao explorar essa utilização, destaco duas formas de aplicação desse subproduto, denominadas V.C. e V.O. Na técnica V.C., a vinhaça é aplicação sem nenhum

enriquecimento, sendo transportada por bombeamento diretamente da indústria para uma piscina impermeabilizada e, em seguida, enviada aos canhões de aspersão ou transportada da indústria até a lavoura por valas, onde são acoplados os canhões de aspersão. Por outro lado, a técnica V.O. consiste em enriquecer a vinhaça com elementos químicos ausentes naturalmente, após esse processo, ela é transportada por caminhão e aplicada no tanque off-road de irrigação agrícola, acoplado a um trator por meio da agricultura de precisão.

Concluí que não há uma aplicação melhor ou pior; nenhuma veio com o intuito de substituir a outra, mas sim para se complementarem. Para uma determinada realidade, uma técnica de aplicação pode ser mais adequada, enquanto, para outra realidade, a escolha recai sobre a outra técnica.

Por isso, foi necessário desenvolver um modelo de análise para que você, leitor, possa identificar qual a melhor técnica de aplicação a ser utilizada na sua realidade: a V.C. ou V.O. Isso envolve considerações sobre a localização, recursos disponíveis, objetivos e outros fatores específicos do contexto em que você se encontra. Ressalta-se novamente que, em alguns casos, será necessário contar o apoio de especialistas, como profissionais da área financeira e engenheiros agrônomos para tomar essa decisão de forma mais embasada.

Este modelo é composto por indicadores tanto quantitativos quanto qualitativos, abrangendo elementos como investimentos em equipamentos, ROI, VPL, TIR, payback efetivo, IL, receitas, custos fixos da aplicação, custos variáveis da aplicação, despesas fixas da aplicação, despesas variáveis da aplicação, manejo sustentável e impacto ambiental. Alguns desses indicadores são submetidos a uma análise financeira, enquanto outros passam por uma avaliação agronômica.

A baixa disponibilidade de informações sobre os dois métodos de aplicação representa uma limitação deste trabalho, pois limitou a amplitude de revisão bibliográfica. Com uma maior base sobre essa temática, seria possível aprimorar o modelo de análise, talvez até adicionando novos indicadores para uma abordagem mais abrangente. Mas, é importante salientar que a abordagem desse trabalho foi inovadora, explorando aplicações pouco discutidas até então. Assim, a pesquisa preenche uma lacuna no conhecimento existente sobre o tema.

Para trabalhos futuros, é recomendável aplicar esse modelo em uma realidade específica, transformando o trabalho teórico em uma abordagem prática, isso permitirá realizar testes e aprimorar o modelo com base em resultados concretos. Dessa forma, espera-se que este trabalho tenha contribuído com as discussões e estudos relacionados ao tema vinhaça na plantação de cana-de-açúcar: modelo de análise para identificar a aplicação mais

favorável entre a técnica de vinhaça convencional e a otimizada. Em adição, as limitações do presente estudo representam oportunidades de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, Thais Oliveira. **Análise comparativa dos processos de produção de etanol anidro**. 42 p. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21338/5/AnaliseComparativaProcessos.pdf>. Acesso em 04 nov. 2022.
- AGROSTAT. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Exportação Importação**. 2023. Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 10 de out. 2023.
- ALBUQUERQUE, Ellen. **Responsabilidade com os recursos naturais é tema do curso ‘Educação Ambiental no Campo’ do Senar/MS**. [S. l.], 3 fev. 2021. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/responsabilidade-com-os-recursos-naturais-e-tema-do-curso-educacao-ambiental-no-campo-do-senar-ms>. Acesso em: 21 nov. 2021.
- ALMEIDA, F. **Importação de fertilizante pelo Brasil deve saltar quase 200% no 2o trimestre**. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2022/04/importacao-de-fertilizante-pelo-brasil-deve-saltar-quase-200-no-2o-trimestre/>. Acesso em: 27 jul. 2023.
- ALMEIDA, Luciana Tavares S. de. **Boletim do Etanol N° 09/2017**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis - SRP, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/im/boletim-etanol-fev-2017.pdf>. Acesso em 02 nov. 2022.
- ALMEIDA, Pablo Roger Fernandes de. **Determinantes dos custos na produção de cana-de-açúcar no Brasil**. 21p. Artigo (Bacharel em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/25762/1/DeterminantesCustosProducao.pdf>. Acesso em 12 dez. 2022.
- ALVES, D.; ABDALLA, M.; LIMA, A. Aplicação da torta de filtro como adubo em canaviais. In: **I EDEPA - Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustrias**,
- ALVES-MAZZOTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa**. 2 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- ANDRADE, Luís Cláudio Lopes. **Novo paradigma da utilização da vinhaça como adubo em sistemas hidropônicos**. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) Faculdade de Ciências e Engenharia – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/150243/andrade_lcl_me_tupa.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em 03 dez. 2022.
- ANTERO, Romário Victor Pacheco *et al.* Balanço energético da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e aspectos da produção brasileira atual. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 3, p. 399-412, 2019. Disponível em:

<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/7633/16179>. Acesso em 07 jan. 2023.

AQUINO, Annelyse Farias et al. O etanol da cana de açúcar: possibilidades energéticas da região de Ceará-Mirim-RN. **Revista Holos**, v. 1, p. 105-125, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481547170010.pdf>. Acesso em 04 nov. 2022.

BALDACIN, A. C. S.; PINTO, G. M. F. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás. **Revista Eletrônica FACP**, Ano III – nº 07, p. 901-907, 2015.

BARBOSA, Eduardo AA et al. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça via irrigação por gotejamento subsuperficial em três ciclos de cana-soca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 588-594, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/9ZtSjR9HrS5LDn7kRhqsqLQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 19 dez. 2022.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BASSO, C. J. et al. Vinhaça como fonte de potássio: resposta da sucessão aveiapreta/milho silagem/milho safrinha e alterações químicas do solo na Região noroeste do Rio Grande do Sul. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 596-602, 2013.

BASTOS, Rafaela Koglin et al. Produção de bioetanol de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 2, n. 3, 2013. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/33815/Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20bioetanol%20de%20cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar>. Acesso em 05 nov. 2022.

BERTÓ, Dalvio José; BEULKE, Rolando. **Gestão de custos**. Saraiva Educação SA, 2017.

BORGES, M. HOPPEN, N.; LUCE, F. B. Information technology impact on market orientation in e-business. **Journal of Business Research**, v. 62, p. 883-890, 2009.

CANA ONLINE. **Vantagens da aplicação localizada de vinhaça concentrada**. 2021. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/vantagens-da-aplicacao-localizada-de-vinhaca-concentrada.html>. Acesso em 10 jan. 2023.

CARDOSO, Bruno Cesar *et al.* Rendimento de cana-de-açúcar e graus Brix em função de diferentes formas de adubação. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 4, 2021. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1265/1453>. Acesso em 07 jan. 2023.

CARVALHO, Leidiane et al. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, 2013. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3381/3275>. Acesso em 03 nov. 2022.

CETESB. Norma Técnica CETESB – P4.231, Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola, 3ª Edição, 2014.

CHIAPPINI, Gabriel. **Resíduo do etanol, vinhaça pode virar hidrogênio verde**. Agência EPBR, 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/residuo-do-etanol-pode-virar-hidrogenio-verde/>. Acesso em 11 nov. 2022.

CHRISTOFOLETTI, Cintya Aparecida *et al.* O emprego de diferentes resíduos utilizados como fertilizantes na cultura de cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica** / Carmem Silvia Fontanetti e Odair Correa Bueno (organizadores). — Bauru, SP: Canal 6, 275 p. 2017. Disponível em: <https://bityli.com/1178z>. Acesso em 07 jan. 2023.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira, Cana-de-açúcar**. V.4 - SAFRA 2017/18 - n.4 - Quarto levantamento. 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 16 out. 2022.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira, Cana-de-açúcar**. V.5 - SAFRA 2018/19 - n.4 - Quarto levantamento. 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 16 out. 2022.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira, Cana-de-açúcar**. V.6 - SAFRA 2019/20 - n.4 - Quarto levantamento. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 16 out. 2022.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira, Cana-de-açúcar**. V.7 - SAFRA 2020/21 - n.4 - Quarto levantamento. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 16 out. 2022.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira, Cana-de-açúcar**. V.8 - SAFRA 2021/22 - n.4 - Quarto levantamento. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 16 out. 2022.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v10 – Safra 2022/23, n. 4 - Quarto levantamento, p. 1-50, abril 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em 07 out. 2023.

CRUZ, Beatriz Octaviano Pedroso da. **Doses de vinhaça no pegamento e crescimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar cultivadas em casa de vegetação**. 34 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Agrônômica) Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Araras, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/16262/TFG%20Beatriz%20Octaviano%20Pedroso%20da%20Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 01 dez. 2022.

Cruz, J. I.; Portugal, R. S.; Lucendo, M. C. H.; Elis, V. R.; Fachin, S. J. S.; Ustra, A. T.; Borges, W. R. Detecção de contaminação de solo por vinhaça através de análise de dados de eletrorresistividade. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.26, p.481-492, 2008

DE OLIVEIRA SILVA, Michelangelo et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

DELGADO, F.; SOUSA, M. E. de; ROITMAN, T. Cadernos FGV Energia – Biocombustíveis. Ano 4, n. 8, 2017

Demo, Pedro. "Introdução da metodologia." *São Paulo: Atlas* (1985).

DI DONATO, Giampaolo Foschini; TARGA, Marcelo dos Santos; ALMEIDA, Ana Aparecida da Silva. Otimização do uso de recursos hídricos em uma usina de produção de etanol. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/78ee6f7636c819cd000ffbadaa65911/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2032621>. Acesso em 09 nov. 2022.

DUARTE, Jorge. Entrevista em Profundidade. In: DUARTE; BARROS. Métodos e Técnicas de Pesquisa em Comunicação. 2.ed. São Paulo: Atlas.

ECKARDT, Marcio; ABREU, Yolanda Vieira. Gestão para mecanização da colheita da cana-de-açúcar utilizando-se de coeficientes técnicos. **CEP**, v. 77, p. 000, 2017. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v13/OK%20%20mecanizacao.pdf> . Acesso em 10 nov. 2022.

FONSECA, Tuane Thaís Arruda. **Avaliação das Influências Climáticas na Produção de Etanol a partir da Cana-de-açúcar**. 62 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2016. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/16312/1/2016_TuaneThaisArrudaFonseca.pdf. Acesso em 05 nov. 2022.

FONTANA, Andrea; FREY, James H. Interviewing: the art of science. In: DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvonna S. Handbook of qualitative research. Thousand Oaks: Sage, 1994.

FORBES. **Importação de fertilizante pelo Brasil atinge 2 milhões de toneladas no mês e já supera abril de 2021** [S. l.], 25 abr. 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2022/04/importacao-de-fertilizante-pelo-brasil-atinge-2-milhoes-de-toneladas-no-mes/>. Acesso em: 26 julho 2023.

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

FREITAS, Wesley RS; JABBOUR, Charbel JC. Utilizando estudo de caso (s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões. *Revista Estudo & Debate*, v. 18, n. 2, 2011.

Giachini, C. F.; Ferraz, M. V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar - revisão de literatura. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v.3, 1-15, 2009

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIMENEZ, Andrés Rosello *et al.* O aumento da produtividade e a busca pela excelência na produção do etanol brasileiro: uma história de sucesso. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 7, n. 2, pág. e1472195-e1472195, 2018. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/270/239>. Acesso em 07 jan. 2023.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 10ª edição, São Paulo: Harbra. 2007.

GODOY, Arilda Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, p. 57-63, 1995.

GODOY, Arilda Schmidt. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de empresas**, v. 35, p. 20-29, 1995.

GÓES-FAVONI, Silvana Pedroso de et al. Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 285-296, 2018. Disponível em: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/2232>. Acesso em 09 nov. 2022.

GOMES, Flávio Henrique Ferreira. **Absorção de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça em um latossolo vermelho**. 67 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2262/1/Tese%20Fl%C3%A1vio%20H.%20F.%20Gomes.pdf>. Acesso em 11 nov. 2022.

GONÇALVES, Carlos André. **Biossólido e torta de filtro na composição de fertilizantes organominerais para a cultura da cana-de-açúcar (Saccharum sp)**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22721/1/BiossolidoTortadefiltroComposi%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em 20 nov. 2022.

GONÇALVES, Karoline Yoshiko et al. Processo produtivo do etanol hidratado a partir da cana de açúcar. In: **IX EEPA - Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial**, 9 p, Campo Mourão, 2015. Disponível em: http://www.fecilcam.br/anais/ix_eeпа/data/uploads/11-agroindustria/11-01.pdf. Acesso em 05 nov. 2022.

HENRIQUE, Alisson. **Tecnologia Agrícola – Vinhaça bem localizada**, 2019. Disponível em: <https://revistarpanews.com.br/tecnologia-agricola-vinhaca-bem-localizada/>. Acesso em 10 jan. 2023.

IUDICIBUS, Sérgio de. Teoria da Contabilidade. São Paulo : Atlas, 2000

Jiang, Z. P.; Li, Y. R.; Wei, G. P.; Liao, Q.; Su, T. M.; Meng, Y. C.; Zhang, H. Y.; Lu, C. Y. Effect of long-term vinasse application on physico-chemical properties of sugarcane field soils. *Sugar Tech*, v.14, p.412-417, 2012.

Junqueira, C. A. R.; Molina Júnior, V. E.; Lossardo, L. F.; Felício, B. C.; Moreira Júnior, O.; Foschini, R. C.; Mendes, R. M.; Lorandi, R. Identificação do potencial de contaminação de aquíferos livres por vinhaça na Bacia do Ribeirão do Pântano, Descalvado (SP), Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v.39, p.507-518, 2009.

KORNDÖRFER, G. H. A importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In SÁ, M. E. de; BUZZETI, S. (Coord.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. cap. 7, p. 133-142.

LIRA, Maikon Vinicius da Silva. **Adubação de plantio e foliar com micronutrientes na produção da cana-de-açúcar**. 87 p. Dissertação (Pós - graduação em Ciência e Tecnologia Animal) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2018. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/153046/lira_mvs_me_dra.pdf?sequence=4. Acesso em 23 dez. 2022.

MANHÃES, C. M. C., GARCIA, R. F., FRANCELINO, F. M. A., FRANCELINO, H. O., COELHO, F.C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, v. 17, n. 1, p. 163-181, 2015. <https://doi.org/10.5935/1809-2667.20150011>

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisas bibliográficas, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MARIN, Fábio Ricardo. **Fenologia**. EMBRAPA, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/caracteristicas/fenologia>. Acesso em 12 dez. 2022.

MARTINS, Eliseu; ROCHA, Welington. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 2003.

MARTINS, G. A. Estudo de caso: uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisas no Brasil. **Revista de Contabilidade e Organizações**, v. 2, n. 2, p. 9-18, jan./abr., 2008.

MARTINS, G. A.; THEÓPHILO, C. R. Metodologia da investigação científica para ciências aplicadas. São Paulo: Atlas, 2007.

MARTINS, Yasmin A.M.; OLIVEIRA, Cleomar. F. Uso da vinhaça via fertirrigação por sistemas de irrigação. **Jornada Acadêmica–Ciência, Inovação e Tecnologia no Bioma Cerrado**, v. 5, 2016. Disponível em: <https://www.anais.ueg.br/index.php/jaueg/article/view/6320/3973>. Acesso em 13 dez. 2022.

MELLIS, Estêvão Vicari *et al.* Doses e fontes de cobre em cana-de-açúcar. In: **FERTBIO**, Goiânia - GO, 2016. Disponível em: <http://sbcs.org.br/fertbio2016/anais/pdfs/plenary/BDAR.pdf>. Acesso em 27 dez. 2022.

MERCADO vive crise na produção de insumos agrícolas em meio à demanda crescente. [S. l.], 29 set. 2021. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2021/09/mercado-vive-crise-na-producao-de-insumos-agricolas-em-meio-demanda-crescente.html>. Acesso em: 8 nov. 2021.

MIALICHI JÚNIOR, Ademir José *et al.* Torta de filtro e micronutrientes no plantio de cana-de-açúcar. **Revista Ciência & Tecnologia - Fatec**, v. 12, n. 1, p. 110-124, 2020. Disponível em: <https://citec.fatecjab.edu.br/index.php/citec/article/view/167/77>. Acesso em 22 nov. 2022.

MONTEIRO, Matheus Frigato; ROSA, Helton Aparecido; REIS, Ana Claudia Cabral dos Santos. Produção de etanol de primeira e segunda geração. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 211-217, 2016. Disponível em: <http://saber.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/16011>. Acesso em 05 jan. 2023.

MONTES, Ana Carolina Rodrigues. Avaliação do processo de obtenção de etanol de 2ª geração utilizando bagaço de cana. 53 p. Monografia (Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia – MG, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20371/3/AvaliacaodoProcesso.pdf>. Acesso em 01 nov. 2022.

MORAES, Tathiana Alberto Silva de et al. **Setor sucroalcooleiro: a utilização do resíduo bagaço de cana-de-açúcar**. 27p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Insitituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/163>. Acesso em 11 nov. 2022.

MORINI, Maria Santina de Castro *et al.* Cultura de cana-de-açúcar no brasil: manejo, impactos econômicos, sociais e ambientais. In: **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica** / Carmem Silvia Fontanetti e Odair Correa Bueno (organizadores). — Bauru, SP: Canal 6, 275 p. 2017. Disponível em: <https://bityli.com/1178z>. Acesso em 07 jan. 2023.

MOURA, Thiago. **Especialista agrônomo da Yara Brasil, Thiago Moura, fala sobre a aplicação de vinhaça enriquecida**. 2022. Disponível em: <https://globalfert.com.br/entrevistas/especialista-agronomo-da-yara-brasil-thiago-moura-fala-sobre-a-aplicacao-de-vinhaca-enriquecida/>. Acesso em 10 jan. 2023.

NASCIMENTO, Eddie. Pesquisadores da Paraíba produzem enzima a partir do bagaço da cana. **Revista Canavieiros**, 2021. Disponível em: <https://www.revistacanavieiros.com.br/pesquisadores-da-paraiba-produzem-enzima-a-partir-do-bagaco-da-cana>. Acesso em 11 nov. 2022.

NASCIMENTO, Fábio Nunes do. **Rendimento e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de n e k2o via solo e fertirrigação por gotejamento subsuperficial**. 78 p. Tese (Agronomia - Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165157/1/Tese-FABIO.pdf>. Acesso em 28 dez. 2022.

NETO, ALEXANDRE ASSAF. **Finanças corporativas e valor**. 7ª Edição. ed. SÃO PAULO: Atlas, 2014. 790 p.

NORONHA, Rafael Henrique de Freitas. **Plantio de mudas pré brotadas (MPB) de cana de açúcar em sistemas de manejo conservacionista de solo**. 78 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/152713/noronha_rhf_dr_jabo.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em 04 jan. 2023.

NOVA CANA. Processos de fabricação do etanol. 2017a. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/fabricacao/> . Acesso em: 28 out. 2022.

OGATA, B.H. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias**. 109 p. Tese de mestrado - Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-13112013-143039/publico/Bruna_Harumi_Ogata.pdf. Acesso em 11 nov. 2022.

Primo, D. A., Silva, k. C., Ramari, T. O. I. & Ribeiro, R. M., & Gasparotto, F. (2015). Caracterização do setor sucroalcooleiro no Brasil: produção, produtividade e subprodutos. In: IX EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica Unicesumar, 9. **Anais eletrônico**. Maringá: UniCesumar. p. 4-8.

Ramesh, K.; Elango, L. Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.184, p. 3887-3899, 2012.

RAVELI, Marcelo Boamorte. Controle de qualidade no plantio de cana-de-açúcar. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Ciências do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal – SP, 2013. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88221/raveli_mb_me_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Acesso em 04 jan. 2023.

REBELATTO, D. A. N. **Projeto de Investimento**. 1. ed. Barueri - SP: Editora Manole, 2004. v: 01. 329p.

RFA - RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **Annual Ethanol Production**. 2022. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production> . Acesso em: 01 nov. de 2022.

Ribeiro, M. N.; Lourencetti, C; Pereira, S. Y.; Marchi, M. R. R. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. *Química Nova*, v.30, p.688-694, 2007.

RICHARDSON, Roberto Jarry. *Pesquisa social: métodos e técnicas*. São Paulo: Atlas, 1989.

Rolim, M. M.; Lyra, M. R. C. C.; Duarte, A. S.; Medeiros, P. R. F.; Silva, E. F. F.; Pedrosa, E. M. R. Influência de uma lagoa de distribuição de vinhaça na qualidade da água. *Revista Ambiente Água*, v.8, p.155-171, 2013.

ROSA, Alessandra Silva da; MARTINS, Camila Pereira Savi. Produção mais limpa nas fontes geradoras de poluição da indústria de açúcar e álcool. **Rev Inter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 6, n. 2, p. 90-125, Jun. 2013. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/vfhiy7b3qjdchgs3sozs3xjgwu/access/wayback/http://www.revistarevinter.com.br/autores/index.php/toxicologia/article/download/154/370> . Acesso em 09 nov. 2022.

Rossetto, A. J. **Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira**. In: Paranhos, S.B. (ed.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504.

ROSSETTO, Raffaella. Colheita. Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/planejamento-da-colheita/colheita>. Acesso em 09 nov. 2022.

ROSSETTO, Raffaella. Planejamento da colheita. Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/planejamento-da-colheita> . Acesso em 08 nov. 2022.

ROSSETTO, Raffaella; SANTIAGO, Antonio Dias. Manejo. Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/manejo> . Acesso em 09 nov. 2022.

ROSSETTO, Raffaella; SANTIAGO, Antonio Dias. Plantio. Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/manejo/plantio> . Acesso em 10 nov. 2022.

Salomon, K. R.; Lora, E. E. S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. *Biomassa e Energia*, v.2, p.57-67, 2005.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. Oficina de textos, 2020.

SANTOS, Cirley Gomes Araújo dos. **Efeitos da vinhaça da cana-de-açúcar na morfologia testicular de anuros**. 42 p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2479/1/disserta%c3%a7%c3%a3o_Cirley%20Gomes.pdf. Acesso em 10 dez. 2022.

SANTOS, Dryelle Laiana de Jesus Silva *et al.* Análise comparativa dos custos de produção da cana-de-açúcar entre as principais cidades produtoras do Brasil. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2019. Disponível em: <https://anaiscbc.abcustos.org.br/anais/article/view/4620>. Acesso em 02 dez. 2022.

SANTOS, João Lucas Ferreira dos et al. Estudos de painéis produzidos a partir dos resíduos de gesso acartonado reciclado e bagaço de cana de açúcar. In: **XII Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial – EEPA**, Campo Mourão – PR, 2018. Disponível em: http://anais.unespar.edu.br/xii_eeпа/data/uploads/artigos/5-engenharia-do-produto/5-04.pdf . Acesso em 11 nov. 2022.

SEIXAS, Fernanda L.; GIMENES, Marcelino L.; FERNANDES-MACHADO, Nádia RC. Tratamento da vinhaça por adsorção em carvão de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova** , v. 39, p. 172-179, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/rmtQyyvC88wFS98w3xR7xpg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 24 dez. 2022.

SELLTIZ, C.; JAHODA, M.; DEUTSCH, M. Métodos de Pesquisa nas Relações Sociais. São Paulo: EDUSP, 1974.

SENNA, Pedro Pinho; ANSANELLI, Stela Luiza de Mattos. Etanol de primeira ou de segunda geração? Uma comparação entre os ciclos produtivos. *Blucher Engineering Proceedings*, v. 3, n. 4, p. 1497-1510, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Pedro-Senna-5/publication/313492397_ETANOL_DE_PRIMEIRA_OU_DE_SEGUNDA_GERACAO_U_MA_COMPARACAO_ENTRE_OS_CICLOS_PRODUTIVOS/links/5c3ca8bca6fdccd6b5ac680e/ETANOL-DE-PRIMEIRA-OU-DE-SEGUNDA-GERACAO-UMA-COMPARACAO-ENTRE-OS-CICLOS-PRODUTIVOS.pdf. Acesso em 24 dez. 2022.

SÉRIE Histórica - Custos - Cana de Açúcar - 2008 a 2023. [S. l.], 5 set. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/item/16462-serie-historica-custos-cana-de-acucar-2008-a-2021>. Acesso em: 10 out. 2023.

Silva, Dayane Lilian Gallani, et al. "Cana-de-açúcar: Aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade." *Research, Society and Development* 10.7 (2021): e44410714163-e44410714163.

SILVA, Gael Silvia Peñaranda Liendo da et al. Efeitos da aplicação de vinhaça "in natura" ou concentrada associado ao N-fertilizante em soqueira de cana-de-açúcar e no ambiente. **Holos Environment**, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1106906/1/APEfeitosaplicacaoHolos.pdf>. Acesso em 19 dez. 2022.

SILVA, Gilson Ribeiro. **Cana-de-açúcar na produção de etanol**. 19 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Química) - Centro Universitário Internacional UNINTER. 2021. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/handle/1/791>. Acesso em 01 nov. 2022.

SILVA, Gislene Mota da. Evaluation of different configurations of enzymatic hydrolysis and fermentation using sugarcane bagasse for 2G ethanol production. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/3970?show=full>. Acesso em 10 nov. 2022.

SILVA Izabeli Batista Girarducci da; MARESTONI, Luiz Diego. Produção do etanol de cana-de-açúcar como tema interdisciplinar no ensino médio. **EDUCA - Revista Multidisciplinar em Educação**, Porto Velho, v, 7, p. 532-552, jan./dez., 2020. Disponível em: <http://www.periodicos.unir.br/index.php/EDUCA/issue/archive>. Acesso em: 29 out. 2022.

SILVA JÚNIOR, Silas Dimas da. **Produção de etanol e comparação de rendimento a partir de subespécies de cana-de-açúcar**. 24 p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Farmácia) - Universidade de Uberaba - MG, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uniube.br/bitstream/123456789/1615/1/SILAS%20DIMAS%20DA%20SILVA%20J%20c%20aNIOR.pdf>. Acesso em 01 nov. 2022.

SILVA, Gilson Ribeiro. **Cana-de-açúcar na produção de etanol**. 19 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Química) - Centro Universitário Internacional UNINTER. 2021. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/handle/1/791>. Acesso em 01 nov. 2022.

SILVA, Gislene Mota da. Evaluation of different configurations of enzymatic hydrolysis and fermentation using sugarcane bagasse for 2G ethanol production. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/3970?show=full>. Acesso em 10 nov. 2022.

Silva, M. A. S.; Griebeler, N. P.; Borges, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.108-114, 2007

SILVA, Vanderli Luciano da et al. Cana energia e produção de silagem como estratégia para alimentação animal. **Veterinária e Zootecnia**, v. 27, p. 1-13, 2020. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/507>. Acesso em 09 nov. 2022.

SILVA, Wellington P. da et al. Monitoramento da salinidade de águas subterrâneas em várzea cultivada com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 394-401, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/BzHfNFcNqdNnRFtrZ863FwL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 29 dez. 2022.

SOUZA, Jânio Kleiber Camelo de et al. Fertirrigação com vinhaça na produção de cana-de-açúcar. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 2, p. 7-12, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Herick-Claudino-Mendes/publication/347986336_Fertirrigacao_com_vinhaca_na_producao_de_cana-de-acucar/links/5feb8d6e92851c13fed370da/Fertirrigacao-com-vinhaca-na-producao-de-cana-de-acucar.pdf. Acesso em 22 dez. 2022.

SUMIKAWA, Victor Iwao Oliveira. **Avaliação da produção de etanol em usinas flex de cana-de-açúcar e milho**. 66 p. Trabalho de Graduação (Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/14629/TCC-Victor-Sumikawa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 03 nov. 2022.

TAMARA, Ana Flávia Rufino; BARBOSA, Rogério Zanarde; OLIVEIRA, Bruna Gonçalves. Efeito da aplicação de vinhaça concentrada e adubação nitrogenada no pH, umidade e nitrogênio do solo sob o cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Volume 34, Número 1, 2018. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/M6DJSbdXRqUTOyP_2019-3-27-14-59-51.pdf. Acesso em 28 dez. 2022.

TEIXEIRA, Fábio André. **O processo de expansão da cana-de-açúcar e seus impactos sobre a qualificação do trabalhador: análise comparativa para os estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul**. 2015. 180 f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais Aplicadas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/13468>. Acesso em 10 nov. 2022.

TEIXEIRA, Maria Carolina. Inibidores de nitrificação e urease como estratégias de mitigação da volatilização de NH₃ em áreas de cultivo de cana-de-açúcar com adição de resíduos orgânicos. 63 p. Dissertação (Mestrado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agrônomo, Campinas, 2022. Disponível em:

<https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/repositorio/storage/pgiac1045.pdf>. Acesso em 18 dez. 2022.

TEIXEIRA, W.G; SOUSA, R.T.X., KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

Thiollent, M. (2009). Metodologia de Pesquisa-ação. São Paulo: Saraiva.

THOMAS, André Luís. **Desenvolvimento das plantas de Batata, Mandioca, Fumo e Cana-de-açúcar**. 76 p. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/143809/000998097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 12 dez. 2022.

TOGNETI, Silvio Aparecido Silva. **Os resíduos da indústria sucroenergética: A vinhaça concentrada como potencial fertilizante**. 103 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) – Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, Presidente Prudente, SP, 2016. Disponível em:

<http://bdtd.unoeste.br:8080/tede/bitstream/jspui/990/2/Silvio.pdf>. Acesso em 13 dez. 2022.

TONON FILHO, Renato José. **Modelagem e simulação em plantas de etanol: uma abordagem técnico-econômica**. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos – SP, 2013. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4127/5473.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 03 nov. 2022.

UDOP - União Nacional da Bioenergia. **Manual de custos e indicadores do setor da bioenergia**. 1ª Edição, 148 p., Araçatuba/SP, 2016. Disponível em:

https://www.udop.com.br/download/pesquisas/manual_de_custos_e_indicadores.pdf. Acesso em 02 dez. 2022.

UNIUBE Campus Aeroporto, Uberaba – MG, 2017. Disponível em:

<https://www.uniube.br/eventos/edepa/2019/downloadAnexo.php?pessoa=267165&sequencia=17>. Acesso em 11 nov. 2022.

VERGARA, S. C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

VITAL, Andréia. Usina Açucareira Guaíra adota sistema de aplicação direcionada de vinhaça. 2022. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/usina-acucareria-guaira-adota-sistema-de-aplicacao-direcionada-de-vinhaca/>. Acesso em 11 jan. 2023.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal Of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WHEELER, Rodrigo Menezes *et al.* Potenciais aplicações da vinhaça da cana-de-açúcar visando a produção mais limpa: uma revisão integrativa. In: **IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto** – UFSC – Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228958/vol%2003%20-316-327.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 20 dez. 2022.

YARABRASIL. **Resumo nutricional da cana-de-açúcar**. 2022. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/resumo-nutricional-da-cana-de-acucar/>. Acesso em 14 dez. 2022.

YIN. R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZANELLI, J. C. Pesquisa qualitativa em estudos da gestão de pessoas. *Estudos da Psicologia*, n. 7, p. 79–88, 2002.