

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE GRADUAÇÃO

CAROLINE GRIZZO MARTINIANO DE OLIVEIRA

**GESTÃO DE RISCO AMBIENTAL EM USINA SUCROENERGÉTICA: ESTUDO
QUALITATIVO POR MATRIZ DE INTERAÇÃO**

SÃO CARLOS
2024

CAROLINE GRIZZO MARTINIANO DE OLIVEIRA

**GESTÃO DE RISCO AMBIENTAL EM USINA SUCROENERGÉTICA: ESTUDO
QUALITATIVO POR MATRIZ DE INTERAÇÃO**

Trabalho de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Alice Medeiros de Lima.

SÃO CARLOS
2024

Oliveira, Caroline Grizzo Martiniano de

Gestão de risco ambiental em usina sucroenergética:
estudo qualitativo por matriz de interação / Caroline
Grizzo Martiniano de Oliveira -- 2024.
73f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Alice Medeiros de Lima

Banca Examinadora: Alice Medeiros de Lima, Ernesto
Antonio Urquieta-Gonzalez, Diego Andrade Lemos

Bibliografia

1. Usinas sucroenergéticas. 2. Gestão de risco ambiental.
3. Sustentabilidade. I. Oliveira, Caroline Grizzo
Martiniano de. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325

Caroline Grizzo Martiniano de Oliveira

**GESTÃO DE RISCO AMBIENTAL EM USINA SUCROENERGÉTICA: ESTUDO
QUALITATIVO POR MATRIZ DE INTERAÇÃO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Química.

Local São Carlos, 22 de Janeiro de 2024.

Banca examinadora

Prof.(a) Dra. Alice Medeiros de Lima
Orientadora

Prof.(a) Dr. Ernesto Antonio Urquieta-Gonzalez
Instituição Universidade Federal de São Carlos

Prof.(a) Dr. Diego Andrade Lemos
Instituição Universidade Federal de São Carlos

São Carlos, 2024.

“Comece o que você puder fazer, ou sonhar que pode: a audácia tem gênio, poder e magia dentro de si”.

(Johann Wolfgang von Goethe)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ana Cristina e Celso e ao meu irmão, Renan, por serem a minha base e me darem apoio incondicional, nunca me deixando desistir.

A Deus, que me acalmou, me deu esperanças e condições adequadas para o desenvolvimento das minhas tarefas.

Aos amigos de Araraquara pela compreensão das ausências e pela força nos momentos difíceis.

Aos amigos que fiz durante a graduação, pela troca de experiências e por estarem sempre comigo nessa jornada.

A minha orientadora, Professora Alice Medeiros de Lima, pelos conhecimentos transmitidos, pela atenção e disponibilidade de tempo para realização deste trabalho.

A Usina de estudo, por disponibilizarem tempo, conhecimento, materiais e pessoas para o êxito da construção do trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a concretização deste sonho.

RESUMO

A crescente demanda por energia, aliada à busca por alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis, tem colocado a indústria sucroenergética no centro de discussões sobre desenvolvimento econômico e ambiental. A produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar oferece oportunidades significativas para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a mitigação das mudanças climáticas. Essa indústria desempenha um papel fundamental na economia brasileira, contribuindo significativamente para a geração de empregos e receitas de exportação. No entanto, ela também está associada a uma série de impactos ambientais adversos, incluindo a poluição da água, a manipulação do solo, as emissões de gases poluentes na atmosfera - como o dióxido de carbono (CO₂) - e o consumo intensivo de recursos naturais. O gerenciamento adequado desses riscos ambientais é essencial não apenas para atender às regulamentações ambientais, mas também para manter a sustentabilidade da indústria e sua licença social para operar. Assim, esse trabalho explora o tema da gestão de risco ambiental em usinas sucroenergéticas analisando os desafios, estratégias e práticas associadas à minimização de impactos negativos sobre o meio ambiente. O objeto de estudo foi uma Usina Sucroenergética X localizada no interior de São Paulo e a visita realizada para o trabalho ocorreu em outubro de 2023 durante a safra 2023/2024. Foi utilizado o método de Matriz de Interação para identificar e classificar os aspectos e riscos ambientais através de critérios que avaliam a ocorrência do evento, a severidade e o grau de detecção. Os resultados destacaram que a usina sucroenergética possui alta detecção dos riscos ambientais que podem ocorrer, mostrando que ela tem uma ampla capacidade e rapidez para adotar medidas que reduzam a poluição tanto da água quanto da atmosfera e do solo; além de fazer o uso consciente dos recursos naturais nos processos. A análise de risco ambiental se mostrou satisfatória para o processo analisado, principalmente pela aplicação do método de Matriz de Interação.

Palavras-chave: Usinas Sucroenergéticas. Gestão de risco ambiental. Mitigação das mudanças climáticas. Sustentabilidade. Método de Matriz de Interação.

ABSTRACT

The growing demand for energy, applied to the search for sustainable alternatives to fossil fuels, has placed the sugar-energy industry at the center of discussions on economic and environmental development. The production of sugar and ethanol from sugarcane presents significant opportunities for reducing greenhouse gas (GHG) emissions and mitigating climate change. This industry plays a crucial role in the Brazilian economy, making substantial contributions to both job creation and export revenue. However, it is also associated with a range of adverse environmental impacts, including water pollution, soil manipulation, emissions of pollutants into the atmosphere - such as carbon dioxide (CO₂) - and intensive consumption of natural resources. Proper management of these environmental risks is essential not only to comply with environmental regulations but also to maintain the industry's sustainability and its social license to operate. Thus, the present work explores the theme of environmental risk management in sugar-energy industry by analyzing the challenges, the strategies, and the practices associated with minimizing negative impacts on the environment. The study focused on a Sugar-energy industry X located in the interior of São Paulo, and the site visit for the study took place in October 2023 during the 2023/2024 sugarcane harvest. The Interaction Matrix method was used to identify and classify environmental aspects and risks based on criteria evaluating the occurrence of the event, the severity, and the detection level. The results highlighted that the sugar-energy industry demonstrates a high detection of environmental risks that may occur, indicating its extensive ability and promptness to adopt measures to reduce pollution in both water and the atmosphere, as well as in the soil. Moreover, it practices conscientious use of natural resources in its processes. The environmental risk analysis proved satisfactory results for the analyzed process, primarily due to the application of the Interaction Matrix method.

Keywords: Sugar-energy industry. Environmental risk management. Mitigation of climate change. Sustainability. Interaction Matrix method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área com cana-de-açúcar sendo queimada para colheita manual.	16
Figura 2 - Queima da palha-da-cana para facilitar corte e colheita.....	17
Figura 3 - Queima da palha de cana-de-açúcar deixa cidade tomada pela fumaça na Zona da Mata de Pernambuco.	17
Figura 4 - Área com cana-de-açúcar sendo colhida mecanicamente, sem queima.	18
Figura 5 - Exportações brasileiras de açúcar.	19
Figura 6 - Imagem de um posto de combustível, em 1979, durante o Proálcool.	20
Figura 7 - Produção de etanol em mil m ³ , entre 1980 e 2018.....	21
Figura 8 - Exportações brasileiras de etanol.....	22
Figura 9 - Importações brasileiras de etanol.....	22
Figura 10 - Etapas do processo de AIA.	26
Figura 11 - Representação esquemática das etapas do AIA.	27
Figura 12 - Diretrizes gerais para elaboração do EIA.	29
Figura 13 - Fluxograma do setor industrial do processo produtivo de açúcar e álcool.....	37
Figura 14 - Diagrama de blocos simplificado do funcionamento da usina sucroenergética no setor industrial.	38
Figura 15 - Diagrama de blocos simplificado do funcionamento da usina sucroenergética no setor industrial com as marcações das áreas que foram feitas os estudos.	41
Figura 16 - Etapa em que ocorre o risco da geração de material particulado na geração de energia.	50
Figura 17 - Etapa em que ocorre o risco do vazamento das tubulações de vinhaça e água residuária.	51
Figura 18 - Etapa em que ocorre o tratamento químico por sulfitação do caldo.....	54
Figura 19 - Etapa em que ocorre a geração da torta de filtro.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de produção de cana-de-açúcar entre as regiões do Brasil.....	32
Tabela 2 - Comparativo de produção de açúcar entre as regiões do Brasil.....	33
Tabela 3 - Comparativo de produção de etanol entre as regiões do Brasil.....	33
Tabela 4 - Composição química da vinhaça conforme tipo de mosto.....	52
Tabela 5 - Composição química aproximada de 100 gramas de Torta de Filtro.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cronograma de eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar segundo a Lei n. 11.241/2002, Estado de São Paulo, a partir de 2002.	16
Quadro 2 - Parâmetros de avaliação utilizados para a construção da Matriz de Interação.	39
Quadro 3 - Descrição do parâmetro de severidade.	40
Quadro 4 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo a atmosfera.....	42
Quadro 5 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo a água.....	43
Quadro 6 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo o solo.....	46
Quadro 7 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo os recursos naturais.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

- AIA** – Avaliação de Impacto Ambiental
- APP** – Análise Preliminar de Perigos
- CBio** – Crédito de Descarbonização
- CETESB** – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CH₄** - Metano
- CONAB** – Companhia Nacional de Abastecimento
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- Copersucar** – Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo
- DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- d.C.** – Depois de Cristo
- DQO** – Demanda Química de Oxigênio
- EIA** – Estudo de Impacto Ambiental
- EPA** – Environmental Protection Agency
- FMEA** – Análise de Modos e Efeitos de Falha
- GEE** – Gases de Efeito Estufa
- HazOp** – Análise de Perigos e Operabilidade
- IAA** – Instituto de Açúcar e Álcool
- IBAMA** – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IEA** – Agência Internacional de Energia
- NDC** – Contribuição Nacionalmente Determinada
- NEPA** – National Environmental Policy Act
- ONS** – Operador Nacional do Sistema Elétrico
- PEAD** – Polietileno de Alta Densidade
- PIB** – Produto Interno Bruto
- Proálcool** – Programa Nacional do Álcool
- RenovaBio** – Política Nacional de Biocombustíveis
- RIMA** – Relatório de Impacto Ambiental
- SGA** – Sistema de Gestão Ambiental
- SIN** – Sistema Interligado Nacional
- SMA** – Secretaria do Estado do Meio Ambiente

TWh – Terawatt-hora

Cd – Cádmió

Co – Cobalto

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

Cr – Crômio

Cu – Cobre

K – Potássio

Ni – Níquel

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

N₂O – Óxido Nitroso

Pb – Chumbo

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. CANA-DE-AÇÚCAR.....	14
2.2. BIOCOMBUSTÍVEL	19
2.3. BIOELETRICIDADE.....	23
2.4. IMPACTOS AMBIENTAIS.....	24
2.5. ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL (RIMA)	28
2.6. ISO 14001 E SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL (SGA)	29
2.7. DESASTRES EM USINAS SUCROALCOOLEIRAS.....	31
3. METODOLOGIA	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1. ATMOSFERA	50
4.2. ÁGUA	51
4.3. SOLO	53
4.4. RECURSOS NATURAIS	56
5. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético tem grande importância econômica e social no Brasil, visto que o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A cada safra, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar movimentada intensamente a economia do país. A produção de açúcar e álcool, no Brasil, passou por grandes mudanças nas últimas três décadas (CONAB, 2021).

Além de servir como matéria-prima para a fabricação de açúcar e álcool, os subprodutos e resíduos resultantes são empregados na cogeração de energia elétrica, na produção de ração animal e como fertilizante para as lavouras (AGEITEC, 2015).

Na década de 1980 o Brasil se tornou o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, graças ao Programa Nacional do Álcool (Proálcool) que foi uma iniciativa revolucionária implementada pelo governo brasileiro em 1975 em resposta à crise global do petróleo (LIMA, 2010). O programa visava promover o cultivo da cana-de-açúcar para geração de energia através do álcool combustível que objetiva diminuir a dependência nacional da importação de petróleo.

O aumento substancial dos investimentos em novas usinas, sobretudo a partir de 2003, foi impulsionado por vários fatores, incluindo o aumento da demanda global por açúcar, especialmente após a reformulação da política europeia em relação a esse produto. Além disso, o crescimento significativo do uso do etanol foi influenciado pelo desenvolvimento dos veículos equipados com motores *Flex Fuel* no Brasil (SOUZA, 2010).

Os biocombustíveis fornecem contribuições nas áreas econômicas, sociais e ambientais, nas quais se destacam o aumento do PIB, a geração de empregos, assim como a redução da poluição local e das emissões de gases de efeito estufa (Ministério de Minas e Energia, 2017).

O setor sucroenergético compreende o ciclo produtivo da cana-de-açúcar que pode derivar em diversos produtos. Atualmente, no Brasil, existem mais de 400 usinas instaladas – maioria nas regiões Centro-Sul – moendo aproximadamente 610,1 milhões de toneladas (resultado da safra 2022/2023), sendo assim o 2º lugar em produção de etanol e 1º em açúcar em escala global (CONAB, 2023).

Em termos financeiros, o PIB da cadeia sucroenergética é aproximadamente 2% do nacional, gerando mais de 700 mil vagas de emprego formal (UNICA, 2023). Além destes aspectos, vale destacar que o setor produz aproximadamente 5% da energia elétrica consumida no país (+/- 22,6 TWh) (Frente Parlamentar da Agrepecuária, 2023) mostrando que ele é vital na composição da cadeia agroindustrial do Brasil e conseqüentemente na

economia brasileira.

Com esses fortes estímulos de demanda, a produção de cana-de-açúcar passou por um significativo incremento fazendo com que a indústria canavieira desempenhasse um papel crucial no contexto das crescentes preocupações mundiais com o meio ambiente e as mudanças climáticas. Ao produzir açúcar, etanol e energia a partir da cana-de-açúcar, essa indústria oferece uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis, contribuindo diretamente para a redução das emissões de gases do efeito estufa.

Entretanto, os impactos industriais estão presentes em todo o processo produtivo, que vai desde a entrada da cana-de-açúcar, passando pelo seu processamento para a produção de bens, até o produto em si, a geração dos resíduos e efluentes ao longo da produção até durante a vida útil do produto (REBELATO *et al*, 2014).

O conceito de risco fundamenta-se na possibilidade de um perigo ocorrer quando sujeito a determinadas condições, bem como nas consequências que podem surgir em um sistema. Ao aplicar essa definição a uma cadeia de suprimentos, é crucial compreender dois tipos de riscos: endógenos e exógenos. Os riscos endógenos originam-se das atividades produtivas exercidas pela cadeia, enquanto os exógenos são aqueles provenientes do ambiente externo que impactam a cadeia. Para gerenciar esses riscos, a gestão de riscos busca identificar a probabilidade de ocorrência, analisar suas implicações e implementar ações mitigadoras (TORRES-RUIZ; RAVINDRAN, 2018).

A gestão de risco ambiental desempenha um papel crucial na preservação dos ecossistemas e na mitigação dos impactos negativos que as atividades humanas podem causar ao meio ambiente (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2009). Ela também é utilizada como subsídio para elaboração de documentos como EIA/RIMA e licenciamentos ambientais.

A busca por metas produtivas em sintonia com as preocupações ambientais está intrinsecamente relacionada à exigência de desenvolver indicadores de desempenho ambiental. Esses indicadores não identificam apenas os impactos ambientais presentes nas operações industriais, mas também acompanham a progressão da atuação ambiental da organização por meio de intervenções direcionadas à melhoria desse desempenho (ROHRICH; CUNHA, 2004).

Dada a relevância do tema, o presente trabalho tem por objetivo a análise da gestão de risco ambiental ao longo do processo produtivo do etanol, açúcar e energia e seus impactos ambientais com a aplicação da metodologia de Matriz de Interação. A problemática do estudo visa a apontar as práticas e estratégias utilizadas para minimizar os riscos ambientais

pela usina sucroenergética, assim como analisar como é desenvolvida a estrutura de gerenciamento de resíduos e subprodutos, levando em conta os aspectos humanos e ecológicos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar pertence à família *Poaceae*, que inclui também o arroz, milho, sorgo, capins e diversas gramas. Classificada como uma gramínea, essa planta exhibe características típicas dessa família, como o crescimento do caule em colmos, folhas estreitas, pelosas e com bainhas abertas, além da inflorescência que se manifesta em forma de espiga. A expansão dessas características é bastante influenciada pelo clima e pelo manejo da cultura (MOZAMBANI et al., 2006; DELAVALE, 2009).

A cultura da cana-de-açúcar é datada da Antiguidade, a região de origem presumível é o norte da Índia e supõe que tenha sido levada para a China e o Oriente Próximo com a migração humana. O nome açúcar vem do sânscrito “sarkar” que significa grão de areia. No leste da Índia, o açúcar era chamado “shekar” e os povos árabes o denominavam “al zucar”, que se transformou no espanhol “azucar” e no português “açúcar” (VIEIRA, 2002).

Nos primórdios do cultivo a cana era usada apenas para ter seu caldo bebido e foi somente no ano 500 d.C., na Pérsia, que se encontra a primeira referência ao açúcar. No Brasil, foi Martim Afonso de Souza que em 1522 trouxe a primeira muda de cana-de-açúcar da ilha da Madeira e iniciou seu cultivo na Capitania de São Vicente. Ele próprio construiu o primeiro engenho de açúcar nesse território – Engenho do Governador –, mas foi nas Capitânicas de Pernambuco e Bahia que os engenhos de açúcar se multiplicaram (JÚNIOR; BORGES, 1965).

De acordo com Schwartz (1988) a produção açucareira dessas duas Capitânicas concentrava 75% da produção de açúcar da época e, conseqüentemente com a expansão territorial que começou a ocorrer, diversos conflitos surgiram entre colonizadores e indígenas dando início as guerras justas; que justificavam e consentiam o extermínio e escravização dos povos indígenas (ARAÚJO, 2002).

Segundo Andrade (2007) a cana-de-açúcar foi a principal atividade econômica colonial e esse período é conhecido como ciclo do açúcar, com o Brasil se destacando como um dos maiores produtores e exportadores de açúcar do mundo. A cultura canavieira e o

comércio açucareiro se tornaram tão relevantes para a economia, que foi expandida por todo litoral brasileiro e contribuiu com a atividade pecuária e do fumo (DELIBERALI, 2010).

Durante o Império, o Brasil dependeu basicamente do cultivo da cana e da exportação do açúcar. Já durante a 1ª Guerra Mundial, iniciada em 1914 - que devastou a indústria de açúcar europeia - houve um aumento do preço do produto no mercado mundial e incentivou a construção de novas usinas no Brasil, como aponta Silva e Fischetti (2008, p. 21):

A Primeira Guerra Mundial, iniciada em 1914, devastou a indústria de açúcar europeia de beterraba. Esse fato provocou um aumento do preço do produto no mercado mundial e incentivou a construção de novas usinas no Brasil, notadamente em São Paulo, onde muitos fazendeiros de café desejavam diversificar seu perfil de produção.

Para atenuar os efeitos da depressão econômica de 1929, em 1931 foi criada a Comissão de Defesa da Produção de Açúcar, com a finalidade de estudar a situação estatística e comercial do açúcar, equilibrar o mercado interno e as exportações, fiscalizar e arrecadar taxas relativas à produção, movimentação e comércio do açúcar (Szmrecsányi, 1979).

Para Furtado (1959) a indústria sucroalcooleira exerceu papel considerável tanto para a economia quanto para a sociedade, pois desde sua colonização, a cultura da cana-de-açúcar ajudou a desbravar, colonizar e garantir o crescimento econômico das terras brasileiras, pois dessa matéria prima deriva o primeiro grande produto de exportação do país: o açúcar.

Os efeitos dessa expansão canavieira afetaram de modo significativo a paisagem com a retirada da cobertura vegetal. Tal impacto é ainda mais importante ao se considerar que ele é irreversível, o seu desmatamento intensivo provocou grande perda em termos de diversidade genética e orgânica (RODRIGUES E ROSS, 2020).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e na safra de 2018/2019 a área plantada de cana foi superior a 10 milhões de hectares. Para facilitar a colheita da cana-de-açúcar e aumentar o rendimento da atividade é realizada as queimadas no canavial antes do corte manual (Figura 1).

Figura 1 - Área com cana-de-açúcar sendo queimada para colheita manual.



Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

Em 2002, a legislação do estado de São Paulo, por meio da Lei n. 11.241, estipulou prazos para a cessação da prática de queima da palha de cana-de-açúcar. Ficou determinado que até o ano de 2021, as áreas com inclinação inferior a 12% e aquelas superiores a 150 hectares deveriam estar completamente mecanizadas. Por outro lado, para as áreas com declividade acima de 12% e com extensão inferior a 150 hectares, o prazo foi ampliado em mais 10 anos (até 2031) (conforme Quadro 1). Esse período adicional parece ser necessário para o desenvolvimento ou adaptação de tecnologias capazes de enfrentar essa inclinação, além de atender às exigências estabelecidas pela legislação (Instituto de Economia Agrícola, 2014).

Quadro 1 - Cronograma de eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar segundo a Lei n. 11.241/2002, Estado de São Paulo, a partir de 2002.

Ano	Área mecanizável onde não se pode efetuar a queima da palha da cana-de-açúcar
1º ano (2002)	20% da queima eliminada
5º ano (2006)	30% da queima eliminada
10º ano (2011)	50% da queima eliminada
15º ano (2016)	80% da queima eliminada
20º ano (2021)	Eliminação total da queima
Ano	Área não mecanizável, com declividade superior a 12% e/ou menor de 150 ha
1º ano (2011)	10% da queima eliminada
5º ano (2016)	20% da queima eliminada
10º ano (2021)	30% da queima eliminada
15º ano (2026)	50% da queima eliminada
20º ano (2031)	Eliminação total da queima

Fonte: Adaptado de Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2002.

Um levantamento realizado por Lima et al. (1999) comprovou que a cana-de-açúcar é responsável por cerca de 98% das emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas, que são a palha e bagaço da cana. A queimada do canavial libera para a atmosfera grandes concentrações de gases como dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4), além da contaminação dos solos e das águas, o que aumenta o efeito estufa e constitui um dos principais problemas ambientais atuais (UNICADATA, 2019). Observa-se a fumaça produzida pela queima da cana-de-açúcar nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Queima da palha-da-cana para facilitar corte e colheita.



Fonte: Reprodução/TV Globo, 2021.

Figura 3 - Queima da palha de cana-de-açúcar deixa cidade tomada pela fumaça na Zona da Mata de Pernambuco.



Fonte: Reprodução/TV Globo, 2021.

Ademais, no Estado de São Paulo, a queima da cana coincide com períodos de baixas precipitações e piores condições de dispersão, agravando seus efeitos na qualidade do ar.

Com isso, influenciada pelas leis trabalhistas vigentes e visando reduzir os impactos ambientais e livrar os trabalhadores das condições abrasivas do corte manual, a colheita mecanizada se torna essencial para mitigar os efeitos adversos que a queima da cana-de-açúcar gera (COELHO *et al.*, 2010).

O uso de colhedoras aumenta a quantidade de cana colhida e mantém a palha no solo, o que acarreta na sua conservação física, química e biológica. Além disso, a palha aumenta a disponibilidade de nitrogênio no solo para as plantas; tem efeito na manutenção da temperatura, umidade, aumento do teor de matéria orgânica, velocidade de infiltração e na redução da quantidade de gases emitidos (CERRI *et al.*, 2010).

O Brasil na safra 2022/2023 possuiu 90,8% da colheita mecanizada – maior parte dessa porcentagem vem da região Centro-Sul que possui 98,5% de mecanização – graças a leis e programas de incentivo que exigem a não utilização do fogo para o manejo. A produção para essa safra foi de: 610.131,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar; 37,4 milhões de toneladas de açúcar; 27,37 bilhões de litros de etanol (anidro + hidratado) e 18,4 mil GWh de bioeletricidade, mostrando a importância e o impacto que o setor sucroenergético tem no país (CONAB, 2023; UDOP, 2023). A Figura 4 mostra a colheita mecanizada e a palha que fica no solo após o procedimento.

Figura 4 - Área com cana-de-açúcar sendo colhida mecanicamente, sem queima.



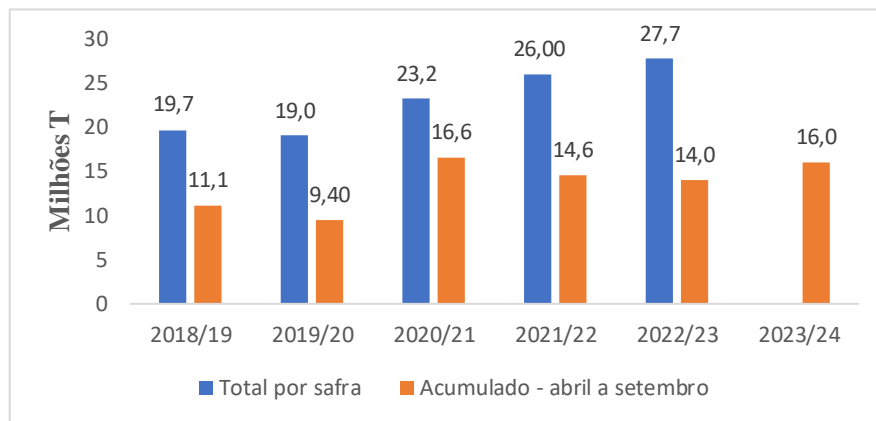
Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

Atualmente, a indústria canavieira se destaca não apenas pela produção de açúcar, mas principalmente pela fabricação de etanol e geração de energia elétrica por meio da queima

do bagaço da cana. Além disso, outros subprodutos como a vinhaça, torta de filtro e o próprio bagaço são aproveitados como fertilizantes (ANDRADE; DINIZ, 2007).

A Figura 5 a seguir representa as exportações brasileiras de açúcar em milhões de toneladas em função do tempo, desde a safra de 18/19 até 23/24. Por ele pode-se observar como a atividade açucareira tem grande importância para o país.

Figura 5 - Exportações brasileiras de açúcar.



Fonte: Adaptado de Secex, 2023.

2.2. BIOCOMBUSTÍVEL

A origem da palavra “álcool” deriva do árabe *kool* empregada para designar um pó muito fino usado pelas mulheres na Antiguidade. É difícil precisar quem começou a produzir o álcool, mas há referências históricas de 7 mil anos nos escritos hebraicos na Babilônia e nas antigas esculturas egípcias que indicavam a fabricação do vinho por fermentação (ZARPELON, 2020).

Porém, foi apenas em 1860 quando o americano Nicholas Otto fez experimentos com motores de combustão interna utilizando o combustível que o álcool começou a chamar atenção (EMBRAPA, 2012). No Brasil, foi na década de 1920 que as primeiras experiências de desenvolvimento de álcool combustível foram realizadas e em 1933, no Governo Vargas, foi criado, pela Lei nº 737, o Instituto de Açúcar e Álcool (IAA) – já extinto – com o objetivo de orientar, fomentar e buscar, no exterior, a melhor tecnologia para a fabricação do álcool etílico, além de tornar obrigatória a mistura de etanol na gasolina (NOVACANA, 2014).

Em 1973 ocorre a primeira crise mundial do petróleo, o preço médio do barril de petróleo passa de US\$ 2,91, em setembro de 1973 para US\$ 12,45, em março de 1975 (CESNIK, 2007). Assim, em 1975 o governo brasileiro estimulou, mais uma vez, a produção

de álcool combustível no país com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) com o objetivo, em primeiro momento, de produzir etanol anidro para misturar à gasolina, pois o país importava cerca de 80% do que consumia desse último combustível (SOUSA, 2012).

Com a chegada da segunda crise do petróleo, em 1979, o Brasil lança a segunda fase do Proálcool e cria motores especialmente desenvolvidos para funcionar com etanol hidratado comercializados. Desse modo, os primeiros carros movidos a álcool começam a ser comercializados e em 1983 a Copersucar tem atuação decisiva na campanha “Carro à álcool: você ainda vai ter um”, que ajudou a fortalecer a defesa da participação do etanol na matriz energética do país. Já em 1984, os carros movidos à etanol representam 94,4% da produção das montadoras instaladas no Brasil (AMORIM, 2005). Na Figura 6, observa-se o anúncio da chegada de álcool em um posto de combustível no Brasil.

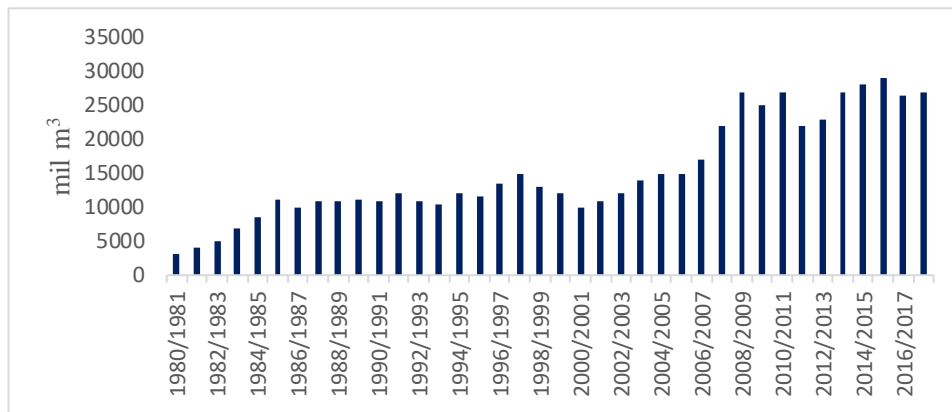
Figura 6 - Imagem de um posto de combustível, em 1979, durante o Proálcool.



Fonte: Folha Uol, 2015.

Já em 2003 ocorreu o lançamento de veículos biocombustíveis *Flex Fuel* no Brasil e, aliado ao Protocolo de Kyoto de 1997 – o qual o objetivo é a redução da emissão de poluentes em 5% – resultou em um significativo aumento da produção de etanol, cujo crescimento foi da ordem de 120,7% entre as safras de 2002/2003 e 2017/2018 (Pensamento Verde, 2014). A Figura 7 mostra a evolução e crescimento da produção de etanol desde a segunda fase do Proálcool.

Figura 7 - Produção de etanol em mil m³, entre 1980 e 2018.



Fonte: Adaptado de Unica, 2018.

Os ganhos ambientais foram significativos com a produção e utilização do álcool combustível, pois houve grande redução das emissões de gases poluentes na atmosfera. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, em 20 anos de lançamento do primeiro carro *flex* no Brasil, teve-se quase 800 milhões de toneladas de emissões de CO₂ evitadas. Além disso, o uso do etanol possibilitou que o Brasil fosse o primeiro no mundo a eliminar totalmente a adição do tóxico chumbo tetraetila à gasolina (LEÃO, 2002).

Outro benefício é relacionado as lavouras de cana que contribuem de forma significativa para a captura de dióxido de carbono da atmosfera, pois parte desse gás emitido pelos veículos movidos a etanol é reabsorvida por essas plantações (Gov.br, 2023). Segundo dados IEA (Agência Internacional de Energia), o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar é o que oferece mais vantagem econômica e energética, ele reduz em média 89% a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa – como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) – se comparado a gasolina (EMBRAPA, 2009).

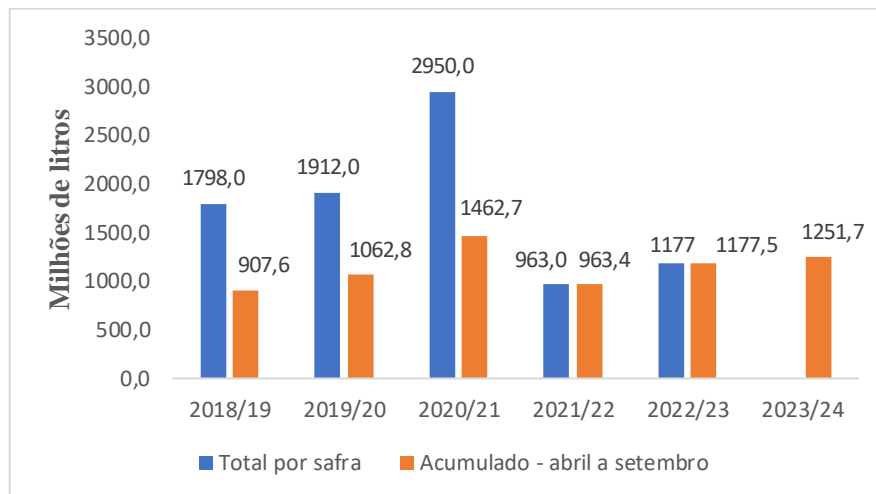
Outro conceito importante relacionado ao etanol é o Crédito de Descarbonização (CBio), que faz parte da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) podendo ser considerado o principal ativo para a redução das emissões de gases que intensificam o efeito estufa. Esse crédito auxilia os países que possuem metas de redução da emissão de gases poluentes a alcançá-la, sendo que cada crédito representa uma tonelada de dióxido de carbono que deixou de ser emitida à atmosfera na substituição dos combustíveis fósseis (Gov.br, 2020).

O Brasil tem a matriz energética mais limpa dentre as grandes economias no mundo e os biocombustíveis fazem parte da estratégia nacional para o cumprimento pleno da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira no Acordo de Paris, o qual

determinou que o Brasil deve reduzir as suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 37% até 2025 e 43% até 2030 em relação às emissões de 2005 (Ministério de Minas e Energia, 2023).

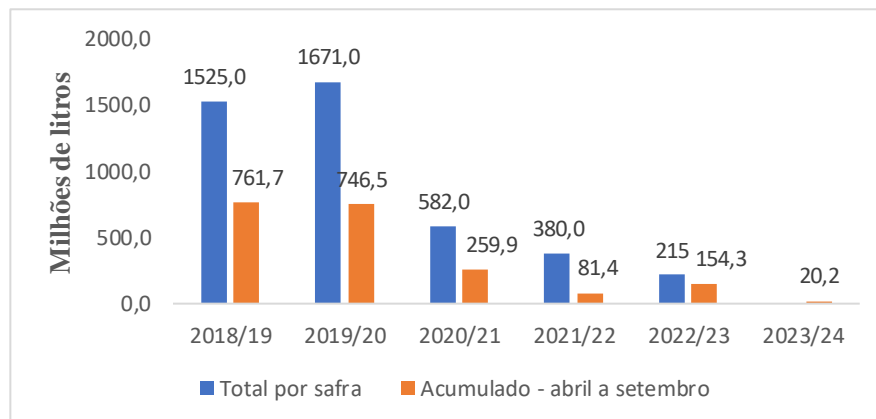
A Figura 8 mostra as exportações brasileiras de etanol em milhões de litros em função do tempo, desde a safra de 18/19 até a de 23/24. Já a Figura 9 mostra as importações brasileiras de etanol em milhões de litros pelo tempo. Pode-se observar que comparando as importações das safras 18/19 e 19/20 com as de 22/23, ocorreu uma grande queda, isso se da pelo fato de o país importar bastante esse álcool quando os barris de petróleo têm queda no preço. Contudo, por mais que o Brasil importe etanol, os números das exportações são muito maiores, mostrando como essa produção têm grande importância para o país.

Figura 8 - Exportações brasileiras de etanol.



Fonte: Adaptado de Secex, 2023.

Figura 9 - Importações brasileiras de etanol.



Fonte: Adaptado de Secex, 2023.

A produção e utilização desse biocombustível trouxe ao Brasil melhorias substanciais no que diz respeito à qualidade do ar, à utilização mais eficiente dos recursos vinculados a esse produto e à geração de emprego em toda etapa de produção. Entretanto, a produção de etanol, assim como qualquer atividade agroindustrial pode gerar impactos ambientais, sendo necessário identificá-los e buscar minimizá-los ao máximo.

2.3. BIOELETRICIDADE

A energia desempenha um papel crucial na sociedade moderna, sendo um dos principais pilares que sustentam o funcionamento das nações. A disponibilidade, custo e qualidade da energia são fatores determinantes para a sobrevivência de países que adotam tecnologias voltadas para proporcionar comodidades e conforto. Diante do aumento da demanda por energia elétrica e da incidência maior de secas, inclusive nas áreas dos reservatórios que abastecem a produção de energia elétrica no Brasil, torna-se cada vez mais essencial buscar alternativas e promover a complementaridade entre diferentes fontes geradoras de energia. A produção racional e sustentável surge como uma necessidade de complementar a matriz energética brasileira, como uma estratégia para mitigar os riscos associados à elevada dependência de uma única fonte.

Em comparação com outras nações, o Brasil tem a vantagem de poder estruturar sua matriz energética utilizando extensas quantidades de fontes primárias renováveis. Uma dessas fontes é a biomassa proveniente do setor sucroalcooleiro, que, por meio da cogeração, tem o potencial de desempenhar um papel significativo no fortalecimento da matriz energética brasileira (DANTAS, 2009).

Segundo o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), biomassa é definida como qualquer matéria orgânica suscetível de ser convertida em energia mecânica, térmica ou elétrica. Quanto à sua origem, essa biomassa pode ser classificada como florestal (principalmente madeira), agrícola (envolvendo culturas como soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sejam sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados energéticos obtidos variam tanto de acordo com a matéria-prima utilizada, cujo potencial energético difere de tipo para tipo, quanto da tecnologia empregada no processamento.

Conforme o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2011), a produção em larga escala de energia elétrica e biocombustíveis está intrinsecamente ligada à biomassa agrícola e à aplicação de tecnologias eficientes. Uma condição essencial para essa produção é a presença

de uma agroindústria robusta, com extensas plantações de culturas como soja, arroz, milho ou cana-de-açúcar. A biomassa é adquirida por meio do processamento dos resíduos dessas culturas, sendo possível utilizar, na cana-de-açúcar, elementos como o bagaço, a palha e o vinhoto como matéria-prima para a produção de energéticos.

O bagaço é o subproduto fibroso da cana-de-açúcar, responsável por 25% a 30% em peso de cana moída, portanto, uma tonelada de cana processada produz em torno de 250 a 280 kg de bagaço a 155kg de palhas e pontas (CORRÊA NETO, 2001).

No início do século XXI, a cogeração utilizando o bagaço da cana-de-açúcar foi impulsionada no Brasil, motivada por uma séria crise energética que afetou o país. Foi nesse período que o setor percebeu as vantagens econômicas que poderiam ser alcançadas por meio da venda dos excedentes de energia gerados pelas usinas sucroalcooleiras. (DANTAS, 2009).

Esse fato, aliado à valorização das economias de baixo carbono e ao avanço na modernização de equipamentos e processos industriais para converter o bagaço de cana em energia elétrica, permitiu uma maior participação no setor. Isso também resultou na transformação das instalações de produção de açúcar e etanol em importantes fornecedoras de energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional (SIN) (VENCOSKY, 2013).

Segundo Ripolli (1999), países como o Brasil, dotados de vastas áreas agricultáveis e um clima propício, não podem “abrir mão” da energia proveniente da biomassa como um elemento fundamental de suas matrizes energéticas. Na perspectiva do autor, a cultura da cana-de-açúcar destaca-se como aquela que tem maior potencial para ampliar a contribuição da biomassa na matriz energética brasileira.

2.4. IMPACTOS AMBIENTAIS

Impacto Ambiental é definido, conforme a Lei Federal no 6.938, de 31 de agosto de 1981 e a Resolução CONAMA nº 01/86 como:

“(…) qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais”.

Desse modo, qualquer atividade agroindustrial deve ser estudada detalhadamente para minimizar os impactos negativos. Vale ressaltar, porém, que essas alterações nem sempre

são negativas, podendo resultar em ações benéficas tanto para a população quanto para o meio ambiente (RAMOS & LUCHIARI JUNIOR, 2007).

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) possui uma experiência acumulada de mais de quatro décadas globalmente. Atualmente, mais de 180 países adotam algum tipo de procedimento de AIA que demanda a realização de estudos prévios antes da implementação de empreendimentos (MORGAN, 2012).

Essencialmente, o processo de AIA é empregado para fundamentar decisões governamentais relacionadas à autorização de projetos que possam acarretar impactos ambientais significativos. Além disso, ele pode servir como uma ferramenta fundamental na avaliação da conformidade com possíveis requisitos locais. A AIA viabiliza a avaliação da transversalidade e inter-relação das diversas áreas do conhecimento agrônomo em uma atividade agropecuária específica, possibilitando a geração de indicadores de desempenho. Esses indicadores, por sua vez, facilitam futuras tomadas de decisão baseadas em critérios ambientais.

A execução da Avaliação de Impacto Ambiental envolve a aplicação de métodos que se fundamentam na coleta, análise, avaliação, comparação e organização de informações qualitativas e quantitativas referentes aos impactos ambientais resultantes de uma atividade específica modificadora do meio ambiente (ROCHA et al., 2005).

Diversos métodos podem ser empregados para a avaliação de riscos, incluindo a Matriz de Interação, Análise Histórica de Acidentes, Método "E se...?" (What if...?), Lista de Verificação, Análise Preliminar de Perigos (APP), Análise de Perigos e Operabilidade (HazOp), Análise de Modos e Efeitos de Falha (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA), Análise de Árvore de Falhas, Análise de Árvore de Eventos, entre outros.

Os Estados Unidos foram os precursores na legislação de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), com a promulgação da National Environmental Policy Act (NEPA) em 1970. Diversas agências federais têm a responsabilidade de conduzir processos de AIA, incluindo a Environmental Protection Agency (EPA), que, em alguns casos, também pode ser encarregada de emitir pareceres sobre projetos conduzidos por outras agências. No contexto dos Estados Unidos, os estudos são elaborados por profissionais técnicos das agências federais, e, em certos casos, consultores externos podem integrar as equipes. Destacam-se no sistema norte-americano os estudos de alternativas, a disponibilização de guias, a criação de bancos de compensação e a promoção da participação pública.

Estudar os impactos ambientais emerge, inquestionavelmente, como um dos instrumentos administrativos mais cruciais para a preservação do meio ambiente (IRIAS et

al., 2004). No contexto brasileiro, a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) teve origem como requisito de órgãos financiadores, sendo incorporada posteriormente como componente das informações fornecidas nos processos de licenciamento ambiental (ROHDE, 2006).

É imprescindível para qualquer empreendimento que realiza atividade modificadora de meio ambiente apresentar ao órgão estadual competente e ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para obterem o licenciamento de tais atividades (SÁNCHEZ, 2008).

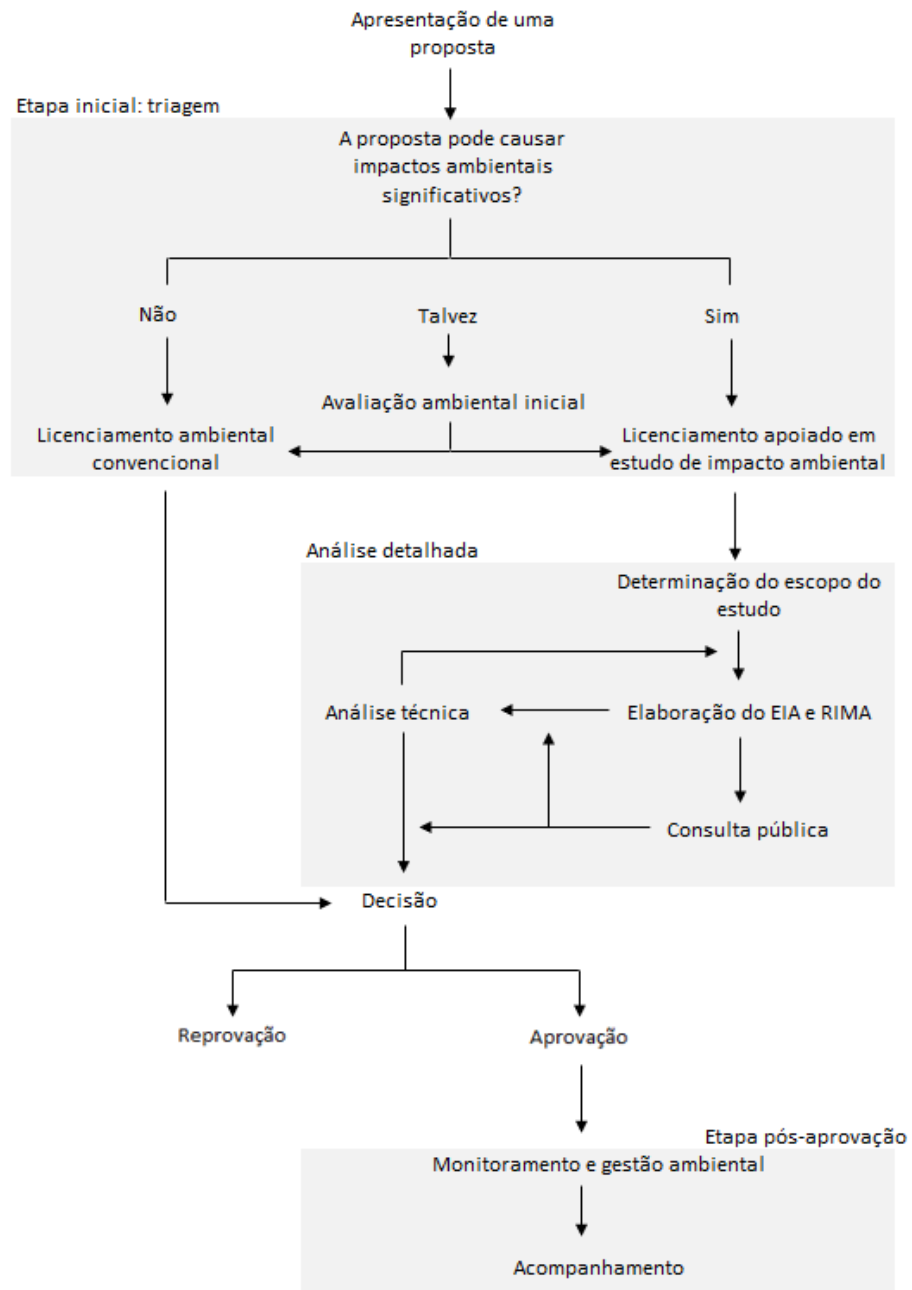
As etapas principais do processo de AIA é descrita conforme Sánchez (2008) como: triagem, análise detalhada e decisão (Figura 10), e a Figura 11 mostra o processo que deve ser realizado para avaliação de impacto ambiental em um empreendimento que possui ações de alterações no meio.

Figura 10 - Etapas do processo de AIA.



Fonte: Própria autora.

Figura 11 - Representação esquemática das etapas do AIA.



Fonte: Adaptado de Sánchez, 2008.

O estudo de análise de risco é predominantemente utilizado durante o processo de licenciamento ambiental de fontes que têm o potencial de gerar acidentes ambientais. Essas fontes são submetidas ao licenciamento pela CETESB ou pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA), em conformidade com as legislações estadual e federal. A responsabilidade de identificar essas fontes e solicitar a realização do estudo recai sobre as Agências Ambientais da CETESB ou SMA, que se baseiam em critérios previamente estabelecidos.

2.5. ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL (RIMA)

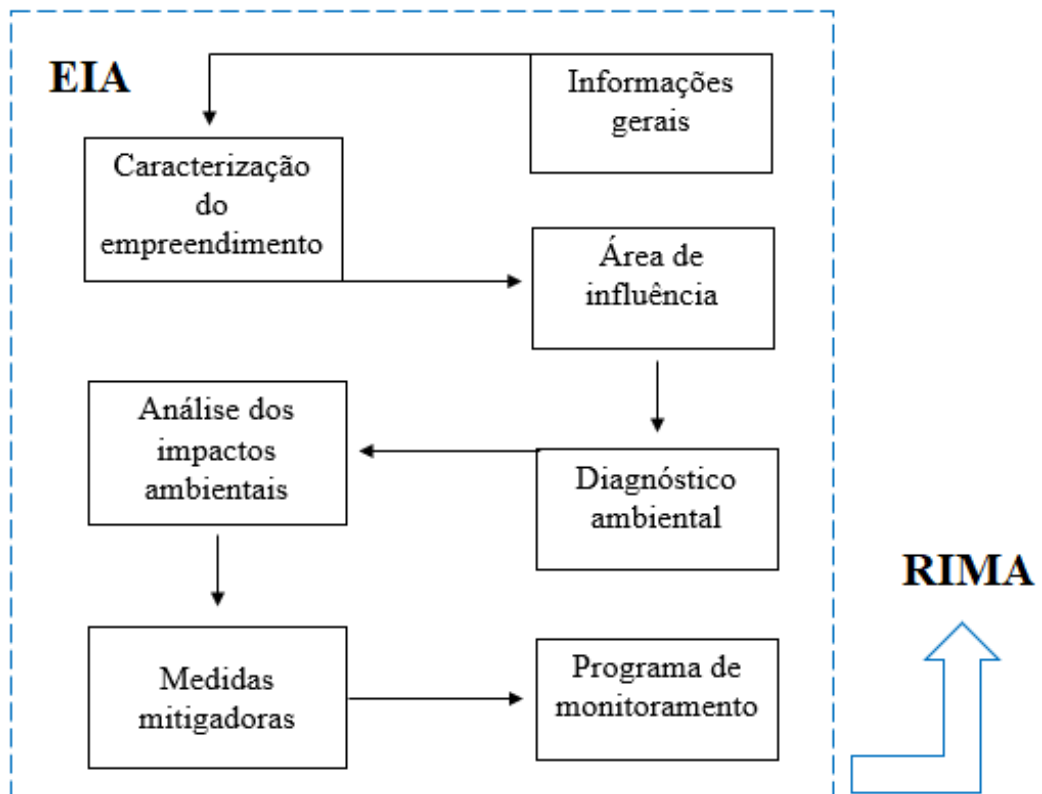
O Estudo de Impacto Ambiental, conforme estabelecido pela legislação ambiental brasileira, é um documento técnico que tem como principal objetivo avaliar os impactos ambientais causados por atividades e empreendimentos com potencial poluidor ou que possam provocar degradação ambiental.

Além disso, o EIA deve apresentar medidas mitigadoras e de controle ambiental, assegurando a utilização sustentável dos recursos naturais. Esse estudo é adotado de forma preventiva para evitar danos ao meio ambiente, e caso sejam identificados riscos, medidas são implementadas para minimizar ou evitar danos ambientais. A Figura 12 esboça as diretrizes gerais para elaboração do EIA.

Por meio do EIA, é possível identificar previamente os possíveis efeitos negativos de um projeto ou ação no ambiente, possibilitando que decisões sejam tomadas. Para garantir uma análise abrangente e consistente, o EIA deve conter as seguintes fases:

- Diagnóstico ambiental;
- Análise dos impactos ambientais;
- Medidas mitigadoras;
- Programa de acompanhamento e monitoramento.

Figura 12 - Diretrizes gerais para elaboração do EIA.



Fonte: Adaptado de UAB-UFSCar, 2011.

O Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) é um documento elaborado a partir do EIA e reflete as conclusões do Estudo de Impacto Ambiental. Ambos são encaminhados a órgãos ambientais competentes para análise e liberação do licenciamento ambiental (UAB-UFSCar, 2011).

A importância do EIA/RIMA é indiscutível para a promoção da sustentabilidade empresarial e a preservação do meio ambiente. Por meio deles, é possível conciliar o desenvolvimento econômico, a implantação de obras e construções com a preservação ambiental. Com uma análise criteriosa de recursos físicos, bióticos e socioeconômicos, o estudo ajuda a encontrar soluções que minimizem os efeitos negativos sobre o meio ambiente, favorecendo a utilização responsável dos recursos naturais.

2.6. ISO 14001 E SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL (SGA)

A crescente preocupação da sociedade com a qualidade do meio ambiente e a utilização sustentável dos recursos naturais tem resultado na promulgação de leis ambientais cada vez mais rigorosas. Estas normativas abrangem áreas como a emissão de poluentes, o

manejo de resíduos sólidos e líquidos, a emissão de ruídos e a exploração de recursos naturais. Além dessas exigências legais, o mercado também está passando por um processo de conscientização ecológica, onde mecanismos como selos verdes e normas como a Série ISO 14000 tornam-se atributos desejáveis. Esses não apenas influenciam a aceitação e compra de produtos e serviços, mas também contribuem para a construção de uma imagem positiva em termos ambientais perante a sociedade.

Para enfrentar esse conjunto de pressões, as empresas têm respondido por meio da implantação sistematizada de processos de Gestão Ambiental. Portanto, a gestão ambiental no contexto empresarial implica a implementação de programas focados no desenvolvimento de tecnologias, na revisão de processos produtivos, no estudo do ciclo de vida dos produtos e na produção de "produtos verdes", entre outras iniciativas. Estas visam não apenas atender às exigências legais, mas também aproveitar oportunidades de negócios e investir na construção de uma imagem institucional positiva (DONAIRE, 1999).

Christie et al. (1995) definem gestão ambiental como um conjunto de técnicas e disciplinas que orientam as empresas na adoção de práticas de produção mais limpas, prevenção de perdas e poluição. De acordo com esses autores, o sistema de gestão ambiental deve abranger diversas áreas de atividade empresarial, incluindo a formulação de políticas (estratégia), auditoria de atividades, administração de mudanças, comunicação e aprendizado interno e externo à empresa. Segundo Tachizawa (2002), a gestão ambiental emerge como um instrumento gerencial crucial para capacitar e criar condições de competitividade para organizações em qualquer setor econômico.

O Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é um conjunto de procedimentos projetados para auxiliar uma organização específica a atender, controlar e reduzir os impactos ambientais de suas atividades, produtos e serviços (AQUINO; ALMEIDA; ABREU, 2008). Uma abordagem comum para iniciar a gestão ambiental é a implementação do SGA, buscando a certificação conforme as normas internacionais ISO 14000.

Destacando-se nesse contexto, a norma ISO 14001 tornou-se uma ferramenta fundamental para as empresas demonstrarem sua preocupação com o meio ambiente. Essa norma internacional delinea os elementos essenciais de um SGA e oferece uma estrutura para organizações que buscam reduzir seus impactos ambientais, regulamentando os requisitos conforme a ISO 14001:2004.

2.7. DESASTRES EM USINAS SUCROALCOOLEIRAS

Apesar do progresso tecnológico, os perigos persistem em cada fase do processo. Nesse sentido, as indústrias envolvidas no processamento e manipulação de substâncias perigosas estão suscetíveis a acidentes com potenciais efeitos adversos significativos. Incidentes em instalações industriais representam ameaças à operação da planta, à segurança dos trabalhadores e ao ambiente circundante.

As condições laborais no setor sucroalcooleiro permanecem praticamente inalteradas, tornando-se uma área que demanda atenção especial, especialmente no que diz respeito à segurança ocupacional (CHALE, 2013). Acidentes nesse setor podem resultar em consequências irreversíveis, dada a utilização de maquinário robusto capaz de causar danos substanciais, como é o caso de caldeiras, moendas, tubulações de gás, entre outros.

A manutenção industrial é uma área de grande potencial de acidentes, frequentemente é comunicado a morte de trabalhadores nesta atividade, como em 29 de agosto de 2018 quando dois trabalhadores faleceram com a explosão no interior de um pré-evaporador na usina Denusa Destilaria Nova União em Jandaia (GO) (NOVACANA, 2023). Outro acidente foi em 6 de janeiro de 2015 quando um trabalhador de 54 anos morreu durante a desmontagem da moenda de cana na usina Abengoa em Pirassununga (G1, 2015).

Mais um acidente envolvendo um pré-evaporador ocorreu em 7 de dezembro de 2004 na usina Vale do Rosário, em Morro Agudo (SP) (JORNALCANA, 2004). Em 15 de fevereiro de 2020, sete pessoas ficaram feridas após acidente com ácido sulfúrico em uma usina de açúcar e álcool localizada na zona rural de Uberaba. A equipe fazia manutenção em um tanque de armazenamento vazio quando ocorreu a explosão (G1, 2020).

Também ocorre acidentes causando impactos no meio ambiente, como o ocorrido no dia 23 de novembro de 2020 quando um tanque de melaço – contendo um volume de 100 mil litros – se rompeu na Usina Porto Rico, interior de Alagoas. Estima-se que de 10 a 15% da substância chegou a atingir rios e foi confirmada a morte de peixes (TRIBUNA HOJE, 2020).

É de suma importância que as empresas minimizem os riscos ambientais que causam danos ao trabalhador e à organização, garantindo o bem-estar físico, mental e social dos trabalhadores e de todos os outros envolvidos (LIMA, 2011).

3. METODOLOGIA

Para o presente trabalho foi utilizado o método de Matriz de Interação ou Matriz de Correlação de Leopold. Esse método foi uma das primeiras ferramentas no formato de matriz feita para avaliar impactos ambientais. Esses impactos apresentam duas propriedades principais: magnitude (grau ou escala de impacto) e importância (significância da causa sobre o efeito). Ela funciona sob o conceito de assinalar as possíveis interações entre as ações e os fatores para em seguida julgar a importância e magnitude que cada impacto possa ocorrer (RICHERI, 2006; COSTA *et al.*, 2005).

O estudo da análise de risco ambiental ocorreu em outubro de 2023, em plena safra 2023/2024, com uma visita técnica em toda parte industrial na Usina Sucroenergética X localizada no interior de São Paulo. A usina de estudo possui colheita 100% mecanizada, então o estudo sobre os riscos ambientais causados pela queima da cana-de-açúcar não será tratado neste trabalho.

Essa usina foi escolhida por estar na região Sudeste, a qual concentra a maior produção de cana-de-açúcar do país, com 63,1%. Pode-se observar, pelas Tabelas 1, 2 e 3, a importância da região Sudeste nessa atividade.

Tabela 1 - Comparativo de produção de cana-de-açúcar entre as regiões do Brasil.

Região/UF	Produção (em mil t)		
	Safra 2022/23	Safra 2023/24	Var. %
Norte	3.823,00	4.029,00	5,4
PA	1.227,00	1.296,00	5,6
TO	2.378,00	2.457,00	3,3
Nordeste	56.866,49	58.547,72	3
RN	3.662,27	3.677,21	0,4
PB	7.569,89	7.755,48	2,5
PE	14.703,18	14.637,32	-0,4
AL	20.281,11	20.620,35	1,7
BA	4.657,68	5.891,77	26,5
Centro-Oeste	131.406,82	142.740,40	8,6
MT	15.876,60	16.959,18	6,8
MS	44.627,12	50.108,72	12,3
GO	70.903,10	75.672,49	6,7
Sudeste	387.755,32	412.151,19	6,3
MG	70.537,88	79.499,12	12,7
SP	312.879,51	328.227,42	4,9
Sul	30.953,14	35.478,90	14,6
PR	30.953,14	35.478,90	14,6
Norte/Nordeste	60.689,49	62.576,72	3,1
Centro-Sul	550.115,28	590.370,48	7,3
Brasil	610.804,77	652.947,20	6,9

Fonte: Adaptado de Conab, 2023.

Tabela 2 - Comparativo de produção de açúcar entre as regiões do Brasil.

Região/UF	Açúcar (em mil t)		
	Safra 2022/23	Safra 2023/24	Var. %
Norte	72,30	93,70	29,6
PA	60,30	78,80	30,9
Nordeste	3.204,80	3.576,40	11,6
RN	206,90	218,70	5,7
PB	125,00	210,50	68,4
PE	982,70	1.103,40	12,3
AL	1.545,80	1.639,40	6,1
Centro-Oeste	4.165,00	4.949,10	18,8
MS	1.500,30	1.786,30	19,1
GO	2.163,10	2.626,50	21,4
Sudeste	27.146,00	29.754,80	9,6
MG	4.501,90	5.109,20	13,5
SP	22.487,60	24.432,70	8,6
Sul	2.218,80	2.495,50	12,5
PR	2.218,80	2.495,50	12,5
Norte/Nordeste	3.277,10	3.670,10	12
Centro-Sul	33.529,80	37.223,30	11
Brasil	36.806,90	40.893,40	11,1

Fonte: Adaptado de Conab, 2023.

Tabela 3 - Comparativo de produção de etanol entre as regiões do Brasil.

Região/UF	Etanol Anidro (em mil t)			Etanol Hidratado (em mil t)		
	Safra 2022/23	Safra 2023/24	Var. %	Safra 2022/23	Safra 2023/24	Var. %
Norte	133.278,00	156.655,00	17,5	129.873,00	101.059,00	-22,2
PA	40.103,00	37.172,00	-7,3	12.324,00	12.590,00	2,2
TO	93.175,00	119.483,00	28,2	111.963,00	81.974,00	-26,8
Nordeste	1.113.288,40	1.178.797,20	5,9	961.710,50	915.996,30	-4,8
PB	295.400,00	293.492,00	-0,6	170.619,00	107.240,00	-37,1
PE	215.017,90	181.384,20	-15,6	183.269,20	169.797,80	-7,4
AL	233.695,00	284.975,00	21,9	218.255,30	200.999,00	-7,9
BA	132.348,00	173.660,00	31,2	192.318,00	231.881,00	20,6
Centro-Oeste	4.148.744,00	5.149.777,90	24,1	8.543.783,00	9.684.409,90	13,4
MT	1.718.125,10	2.135.595,00	24,3	2.625.457,90	3.322.689,10	26,6
MS	1.100.791,80	1.620.286,90	47,2	2.246.038,70	2.252.307,80	0,3
GO	1.329.827,10	1.393.896,00	4,8	3.672.286,50	4.109.413,00	11,9
Sudeste	6.842.633,20	7.022.641,70	2,6	7.985.700,90	8.355.416,60	4,6
MG	1.201.283,20	1.361.931,90	13,4	1.438.226,90	1.660.378,80	15,4
SP	5.553.618,00	5.575.243,80	0,4	6.415.042,00	6.574.938,80	2,5
Sul	610.644,40	710.963,20	16,4	502.524,00	551.490,10	9,7
PR	610.644,00	710.963,20	16,4	502.524,00	551.490,10	9,7
Norte/Nordeste	1.246.566,40	1.335.452,20	7,1	1.091.583,50	1.017.055,30	-6,8
Centro-Sul	11.602.021,20	12.883.382,80	11	17.032.007,90	18.591.316,60	9,2
Brasil	12.848.587,60	14.218.835,00	10,7	18.123.591,40	19.608.371,90	8,2

Fonte: Adaptado de Conab, 2023.

Na última safra (2022/2023) a usina de estudo processou um total de 3.118.918,3 toneladas de cana-de-açúcar; produziu 324.697,1 toneladas de açúcar, 144.430,8 m³ de

etanol e gerou um total de 301.280.107,7 KWh de energia elétrica.

O processo industrial integra as seguintes etapas:

- Para a produção do açúcar: recepção, lavagem, preparo e moagem da cana, tratamento do caldo, evaporação, xarope, cozimento e secagem, açúcar, armazenamento e distribuição;
- Para a produção do etanol: recepção, lavagem, preparo e moagem da cana, tratamento do caldo, mosto, fermentação, vinho, destilação, etanol hidratado/anidro, armazenamento e distribuição.
- Já para a produção de energia, há o corte e limpeza mecanizados da cana-de-açúcar, palha, bagaço da extração do caldo, geração de energia

Assim que a cana chega à usina é feita a pesagem e análise da qualidade da matéria prima levando em conta o teor de sacarose que ela apresenta.

A próxima operação é a lavagem da cana; segundo Andrade e Diniz (2007), a cana é limpa com água para remover a terra e os detritos que possam prejudicar o rendimento das etapas subsequentes. A cana só é lavada quando queimada, quando colhida mecanicamente e sem queima, não é submetida a lavagem, pois as perdas de sacarose seriam muito elevadas, por isso algumas usinas estão começando a utilizar o sistema de limpeza a seco, baseado em jatos de ar sobre a cana (NOVACANA, 2015).

Depois de limpa, ocorre a preparação da cana pelo picador e desfibrador rompendo a estrutura da cana, facilitando a extração do caldo na moagem. Após esse preparo, a cana é esmagada em moendas para a extração do caldo e essa etapa ocorre junto com a embebição com água ou caldo diluído para aumentar a eficiência de extração da sacarose, obtendo-se o caldo misto e o bagaço da cana. De posse do caldo misto é feito um tratamento para este de acordo com a destinação da produção, ou seja, se deseja produzir açúcar ou álcool (ASTUN, 2010).

Na produção de açúcar, conforme indicado por Andrade e Diniz (2007), o caldo misto passa por um processo de tratamento para remover impurezas, clarificar o caldo e ajustar o pH, compreendendo as seguintes etapas: desarenação, peneiramento, sulfitação, adição de ácido fosfórico e cal. No que diz respeito ao tratamento específico para a produção de açúcar, cada indústria adota um método, sendo a pasteurização do caldo misto o mais comumente utilizado.

Também para a produção de açúcar, conforme descrito por Piacente (2005), os procedimentos de evaporação, cozimento, centrifugação e secagem são realizados. Nessa

fase, a água é o principal insumo, resultando, conseqüentemente, na geração de efluentes. O mel pobre proveniente desse processo é encaminhado para a cadeia produtiva do álcool, mais especificamente no processo de fermentação.

Na produção do álcool, como relata Andrade e Diniz (2007), o caldo misto ou mel pobre é utilizado. Nesse processo, adicionam-se leveduras para obter o mosto, que é posteriormente submetido à fermentação, resultando no vinho. Este último é encaminhado para o processo de destilação, onde ocorre a separação dos componentes, visando extrair o etanol da mistura. Na torre de destilação, obtém-se o etanol anidro ou hidratado, sendo a vinhaça o principal resíduo gerado nessa etapa.

A vinhaça é caracterizada pela elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH ácido, alta concentração de nutrientes como potássio, enxofre, nitrogênio, cálcio e magnésio, elevada temperatura ao deixar os destiladores e caráter corrosivo. Estima-se que para cada litro de álcool produzido nas usinas são gerados cerca de 10 a 15 litros de vinhaça. Se lançada em corpos aquáticos causa morte da biota aeróbia pela diminuição de oxigênio dissolvido no meio, dificultando o aproveitamento dos mananciais como fonte de abatecimento de água potável. Se disposta imediatamente no solo causa a elevação do pH, salinização e erosão pela presença de soda caustica nos processos industriais (ANDRADE E DINIZ, 2007; SANTO & ALMEIDA, 2007).

Durante a fase de tratamento do caldo misto, conforme descrito por Astun (2010), realiza-se a clarificação do caldo. O lodo proveniente do decantador passa por um processo de filtração, resultando na formação da torta de filtro como resíduo, caracterizado pela alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e pela presença de alguns metais.

Um estudo conduzido por Ramalho & Amaral (2001) concluiu que a utilização da torta de filtro no solo ao longo de 20 anos resultou em aumentos significativos nos teores totais de Cd, Pb, Co, Cr, Cu e Ni em todas as profundidades analisadas. Além disso, constatou-se que mais de 65% da concentração total de Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Cu e Ni encontram-se na fração residual do solo, indicando que esses elementos estão na forma não biodisponível. No entanto, esses resultados destacam a importância de monitorar as áreas onde a torta de filtro é aplicada para evitar o aumento para níveis tóxicos desses metais pesados no solo.

Para a geração de energia são utilizados a palha resultante da limpeza da cana e o bagaço resultante da moagem. Este geralmente é armazenado a céu aberto sendo espalhado no ambiente quando submetido à ação do vento e da chuva poluindo visualmente a atmosfera causando problemas respiratórios nos seres humanos locais.

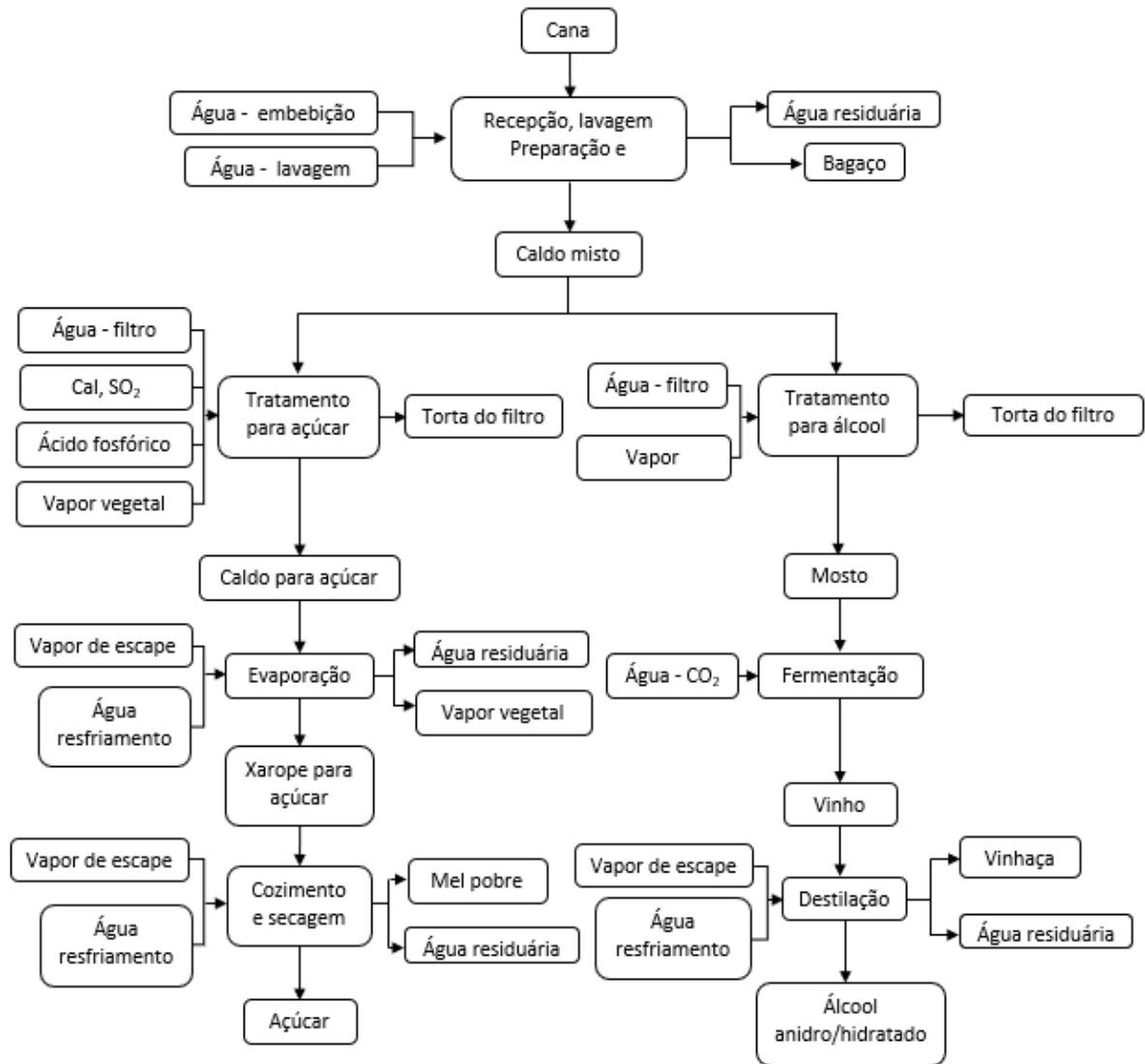
Quando se gera energia através da queima do bagaço nas caldeiras há emissões de

gases que intensificam o efeito estufa, como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (SILVA, 2000). Há, também, a emissão de material particulado que quando inalados penetram nos pulmões diminuindo a capacidade respiratória. Ademais, é destacado a toxicidade do monóxido de carbono e os problemas respiratórios que o dióxido de nitrogênio causa nos seres humanos (ANDRADE E DINIZ, 2007; SILVA, 200).

A Figura 13 mostra o processo produtivo de açúcar e álcool que ocorre no setor industrial de usinas sucroenergéticas, evidenciando os tratamentos que são realizados durante todo o processo e os produtos, subprodutos e resíduos obtidos.

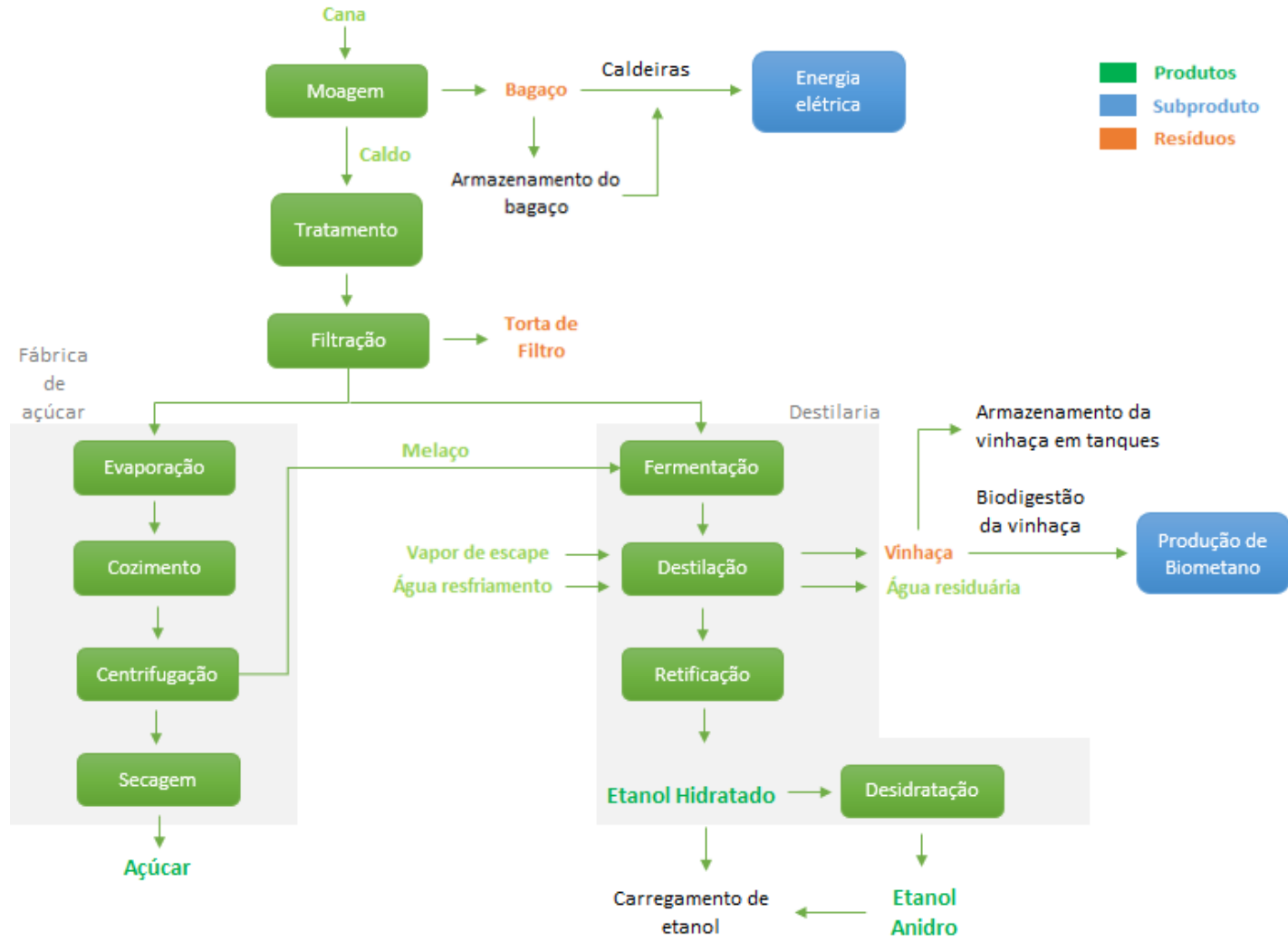
Para o tratamentos dos dados coletados será usada como base a Figura 14 que mostra um diagrama de blocos simplificado sobre o processo, facilitando o entendimento e a visualização do local onde ocorrem os impactos.

Figura 13 - Fluxograma do setor industrial do processo produtivo de açúcar e álcool.



Fonte: Adaptado de Andrade e Diniz, 2007.

Figura 14 - Diagrama de blocos simplificado do funcionamento da usina sucroenergética no setor industrial.



Fonte: Própria autora.

Para o tratamento de dados fez-se uma adaptação da Matriz proposta por Leopold (1971) para adequá-la ao intuito do trabalho de gestão de risco ambiental, qualificando os objetivos pelos critérios de parâmetros - presentes no Quadro 2 - de ocorrência do evento, severidade do efeito e o grau de detecção.

Quadro 2 - Parâmetros de avaliação utilizados para a construção da Matriz de Interação.

	1	2	3	4	Risco bruto
Ocorrência do evento	BAIXA: Ocorrência \leq 3 vezes ao ano	MÉDIA: Ocorrência \geq 4 e \leq 180 vezes ao ano	ALTA: Ocorrência $>$ 180 vezes ao ano	-	Se Ocorrência do evento x Severidade do efeito x Detecção \geq 9 o impacto é ALTO . Se \geq 4 e \leq 8 é MÉDIO . Se \geq 1 e \leq 3 é BAIXO .
Severidade do efeito	BAIXA: Não causa danos	MÉDIA: Causa danos leves	ALTA: Causa danos graves	MUITO ALTA: Causa danos gravíssimos	
Detecção	ALTA	MÉDIA	BAIXA	-	

Fonte: Própria autora.

Em seguida, foi realizada a avaliação do risco bruto no qual o valor é resultado da multiplicação dos critérios anteriores apresentados. No Quadro 3 há a descrição do parâmetro severidade de acordo com cada número que ela está relacionada.

Quadro 3 - Descrição do parâmetro de severidade.

Definição da severidade			
1	2	3	4
Não há degradação do meio ambiente caso ocorra impacto ambiental. O dano ocorre, mas é reversível quando o aspecto ambiental deixa de ocorrer.	Impacto no meio ambiente não chega a comprometer nenhuma espécie de vida ou recursos naturais, podendo ser recuperado através de pequenas ações.	Impacto no meio ambiente pode comprometer alguma espécie de vida ou recursos naturais, e a recuperação poderá depender de maiores recursos.	Impacto no meio ambiente compromete alguma espécie de vida ou recursos naturais, e a recuperação poderá ser impossível ou dependerá de recursos especiais. Associado a situações de emergência.

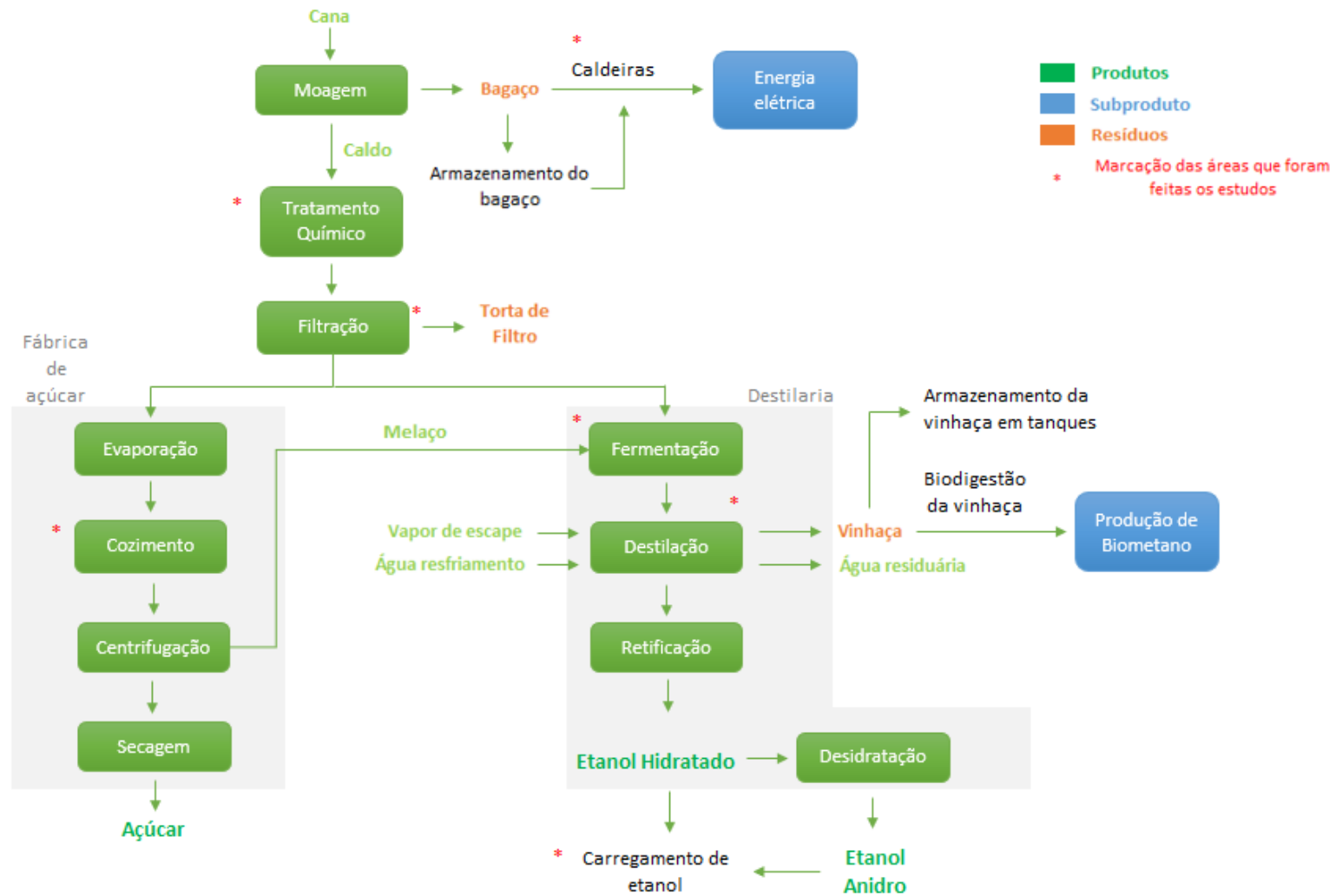
Fonte: Própria autora.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A identificação dos riscos ambientais foi constituída segundo cada componente ambiental (atmosfera, água, solo e recursos naturais) e a análise feita foi segundo o método descrito anteriormente. Importante ressaltar que o estudo feito foi apenas no setor industrial da usina, ou seja, não foi feito análises de risco ambiental no setor agrícola. A partir do Quadro 1 foram construídas as Matrizes de interações para os impactos negativos a seguir, representadas pelos Quadros 4, 5, 6 e 7 os quais possuem como componentes, respectivamente, a atmosfera (ar), água, solo e recursos naturais.

A Figura 15 a seguir representa o diagrama de blocos simplificado do processo industrial, evidenciando as marcações das áreas que foram feitas os estudos para o devido trabalho.

Figura 15 - Diagrama de blocos simplificado do funcionamento da usina sucroenergética no setor industrial com as marcações das áreas que foram feitas os estudos.



Fonte: Própria autora.

Quadro 4 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo a atmosfera (continua).

Componente	Processo	Atividade	Descrição	Consequência	Ocorrência do evento	Severidade do efeito	Deteccção	Risco Bruto
Atmosfera (ar)	Destilaria	Armazenamento de grande volume de álcool (inflamável)	Incêndio na área de armazenamento de etanol	Grande emissão atmosférica da queima do etanol	1	3	1	3 (Baixo)
	Produção	Geração de biometano	Reclamação de odor pela comunidade, proveniente da vinhaça no processo de geração de biometano	Incômodo provocado pelo odor nas comunidades próximas a planta biometano	1	3	1	3 (Baixo)
	Caldeira	Operação das caldeiras	Explosão (caldeira/vaso de pressão)	Contaminação do ar	1	2	1	2 (Baixo)
	Caldeira	Abastecimento das caldeiras com bagaço de cana	Geração de material particulado	Contaminação do ar	1	2	3	6 (Médio)

Quadro 5 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo a atmosfera (conclusão).

Componente	Processo	Atividade	Descrição	Consequência	Ocorrência do evento	Severidade do efeito	Deteccção	Risco Bruto
Atmosfera (ar)	Carregamento de etanol	Deslocamento e manobra de veículos e máquinas	Emissões atmosféricas de motores	Contaminação do ar	2	2	2	8 (Médio)
	Armazenamento de bagaço	Geração do monte de bagaço	Incêndio	Contaminação do ar	1	2	1	2 (Baixo)

Legenda:

- Risco bruto baixo (≥ 1 e ≤ 3)
- Risco bruto médio (≥ 4 e ≤ 8)
- Risco bruto alto (≥ 9)

Fonte: Própria autora.

Quadro 6 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo a água (continua).

Componente	Processo	Atividade	Descrição	Consequência	Ocorrência do evento	Severidade do efeito	Deteção	Risco Bruto
Água	Fábrica de açúcar	Pó de açúcar tem características de explosividade	Explosão no armazém com queda de resíduos e açúcar líquido no corpo d'água	Explosão, perda do açúcar armazenado, geração de resíduos e efluentes promovendo a contaminação da água	1	3	1	3 (Baixo)
	Destilaria	Carregamento de etanol próximo a represa	Queda de etanol na represa	Contaminação do curso d'água; mortandade de peixes, perda de produto	1	2	1	2 (Baixo)
	Destilação	Rede de vinhaça e água residuária em grande extensão	Vazamento da tubulação de vinhaça e água residuária	Vazamento da vinhaça e água residuária contaminando a água	2	3	2	12 (Alto)
	Fermentação	Limpeza dos tanques de fermentação	Descarte de água com terra e restos de fermento	Contaminação da água	1	2	1	2 (Baixo)

Quadro 7 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo a água (conclusão).

Componente	Processo	Atividade	Descrição	Consequência	Ocorrência do evento	Severidade do efeito	Deteção	Risco Bruto
Água	Destilaria	Fermentação	Transbordamento das dornas de fermento	Transbordamento ou rompimento da barragem com impacto no meio ambiente (solo)	1	2	1	2 (Baixo)
Legenda:								
<input type="checkbox"/> Risco bruto baixo (≥ 1 e ≤ 3) <input type="checkbox"/> Risco bruto médio (≥ 4 e ≤ 8) <input type="checkbox"/> Risco bruto alto (≥ 9)								

Fonte: Própria autora.

Quadro 8 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo o solo (continua).

Componente	Processo	Atividade	Descrição	Consequência	Ocorrência do evento	Severidade do efeito	Deteção	Risco Bruto
Solo	Meio ambiente	Há barragens para criação de represas (água) e tanques de vinhaça.	Transbordamento ou rompimento da barragem	Transbordamento ou rompimento da barragem com impacto no meio ambiente (solo)	1	3	1	3 (Baixo)
	Fermentação	Processamento do ar para aeração dos tanques de fermentação	Geração de purga do compressor	Contaminação do solo	1	2	1	2 (Baixo)
	Destilaria	Geração de grande volume de vinhaça	Excesso de vinhaça no solo	saturação do solo em teor de K+ (Potássio)	1	2	1	2 (Baixo)
	Fábrica de açúcar	Sulfitação	Explosão	Contaminação do solo	2	2	2	8 (Médio)

Quadro 9 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo o solo (conclusão).

Componente	Processo	Atividade	Descrição	Consequência	Ocorrência do evento	Severidade do efeito	Deteção	Risco Bruto
Solo	Fábrica de açúcar	Clarificação do caldo	Geração da torta de filtro	Contaminação do solo	3	2	2	12 (Alto)
Legenda:								
<input type="checkbox"/> Risco bruto baixo (≥ 1 e ≤ 3) <input type="checkbox"/> Risco bruto médio (≥ 4 e ≤ 8) <input type="checkbox"/> Risco bruto alto (≥ 9)								

Fonte: Própria autora.

Quadro 10 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo os recursos naturais (continua).

Componente	Processo	Atividade	Descrição	Consequência	Ocorrência do evento	Severidade do efeito	Deteção	Risco Bruto
Recursos Naturais	Destilaria	Bombeamento de vinhaça para a lavoura	Disposição de vinhaça na lavoura	Maximização da disponibilidade de recursos	1	3	1	3 (Baixo)
	Fábrica de açúcar	Cozimento do caldo	Consumo de água	Maximização da disponibilidade de recursos	2	3	1	6 (Médio)
	Fábrica de açúcar	Limpeza dos evaporadores	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos	1	2	1	2 (Baixo)
	Caldeira	Sistema de fuligem	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos	2	1	1	2 (Baixo)

Quadro 11 - Matriz de Interação dos riscos ambientais envolvendo os recursos naturais (conclusão).

Componente	Processo	Atividade	Descrição	Consequência	Ocorrência do evento	Severidade do efeito	Deteção	Risco Bruto
Recursos Naturais	Fermentação	Geração de energia elétrica	Consumo de energia elétrica	Maximização da disponibilidade de recursos	3	4	1	12 (Alto)
Legenda:								
<input type="checkbox"/> Risco bruto baixo (≥ 1 e ≤ 3) <input type="checkbox"/> Risco bruto médio (≥ 4 e ≤ 8) <input type="checkbox"/> Risco bruto alto (≥ 9)								

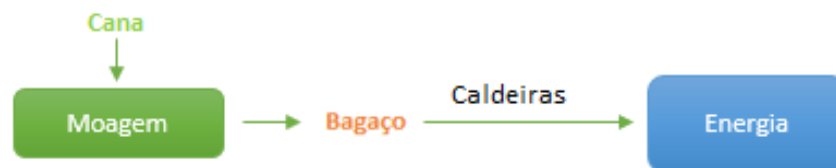
Fonte: Própria autora.

Os resultados obtidos através da construção das matrizes apresentadas anteriormente revelam os principais riscos brutos que podem ocorrer no setor industrial de uma usina sucroenergética, de acordo com o componente - atmosfera, água, solo e recurso natural - que esse risco está atrelado. Fez-se o estudo para implementação das medidas mitigadoras apenas para os riscos que se apresentassem como médio (≥ 4 e ≤ 8) e alto (≥ 9), pois normalmente os riscos baixos não precisam que medidas sejam tomadas para serem resolvidos.

4.1. ATMOSFERA

Na avaliação de risco bruto para o componente atmosférico a maior problemática encontrada está na geração de material particulado e de emissões atmosféricas dos motores. Para o primeiro, o processo ocorre nas caldeiras com o abastecimento delas com bagaço de cana para geração de energia (isso ocorre na etapa apresentada pela Figura 16). O risco atrelado possui valor de 6 – risco médio – e a medida mitigadora a ser tomada é fazer estudos do sistema de geração de vapor e determinação do grau de enegrecimento da fumaça, além de aplicar a limpeza dos lavadores de gases das caldeiras.

Figura 16 - Etapa em que ocorre o risco da geração de material particulado na geração de energia.



Fonte: Própria autora.

Importante frisar que o controle das emissões gasosas das caldeiras deve ser feito concomitantemente com o monitoramento da qualidade do ar pela CETESB, além de a exigência de emissão de particulados ser menor que 100 mg.Nm^3 (BANCO MUNDIAL, 2017). Ademais, a prática da cogeração de energia gera cinzas que, para Nunes et al. (2010), foi constatado que as cinzas podem ser empregadas como enchimento em compostos a base de cimento Portland curados ao ar. A substituição de até 13% de cimento pelas cinzas produziu um ganho de 7% de resistência.

Já para o segundo, que ocorre no carregamento de etanol com o deslocamento e manobra de veículos e máquinas, a contaminação do ar apresenta valor de risco 8 – risco

médio – e a medida tomada para que ocorra a diminuição da emissão de gases poluentes para a atmosfera é a determinação do grau de enegrecimento de fumaça de veículos movidos a diesel, realizando periodicamente as análises das emissões. (CONAMA, 2006).

4.2. ÁGUA

Já para o componente água, registra-se um risco ambiental principal que pode ocorrer na etapa de destilação. Grave, com risco bruto alto de valor igual a 12, ocorre com a rede de vinhaça e água residuária em grande extensão que pode ocorrer o vazamento das tubulações dessas duas redes, contaminando a água (o processo está representado pela etapa da Figura 17.).

Figura 17 - Etapa em que ocorre o risco do vazamento das tubulações de vinhaça e água residuária.



Fonte: Própria autora.

A Tabela 4 contém a composição química da vinhaça apresentando um problema ecológico devido à sua alta DBO (demanda biológica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio), 13 a 25 g/L em média, respectivamente, temperatura de aproximadamente 85°C e pH 4,5 (PINTO, 1999). Essas características explicam os motivos da preocupação com relação aos impactos ambientais e a proibição do seu lançamento nos corpos d'água a partir da safra 1979/1980 pela Portaria do Ministério do Interior nº. 323 (BRASIL, 1978).

Tabela 4 - Composição química da vinhaça conforme tipo de mosto.

Parâmetro	Melaço	Caldo	Misto
pH	4,2-5,0	3,7-4,6	4,4-4,6
Temperatura (°C)	80-100	80-100	80-100
DBO (mg/L O ₂)	25000	6000-16500	19800
DQO (mg/L O ₂)	65000	15000-33000	45000
Sólidos totais (mg/L)	81500	23700	52700
Sólidos voláteis (mg/L)	60000	20000	40000
Sólidos fixos (mg/L)	21500	3700	12700
Nitrogênio (mg/L N)	450-1610	150-700	480-710
Fósforo (mg/L P ₂ O ₅)	100-290	10-210	9-200
Potássio (mg/L K ₂ O)	3740-7830	1200-2100	3340-4600
Cálcio (mg/L CaO)	450-5180	130-1540	1330-4570
Magnésio (mg/L MgO)	420-1520	200-490	580-700
Sulfato (mg/L SO ₄)	6400	600-760	3700-3730
Carbono (mg/L C)	11200-22900	5700-13400	8700-12100
Relação C/N	16-16,27	19,7-21,07	16,4-16,43
Matéria orgânica (mg/L)	63400	19500	3800
Subst. Redutoras (mg/L)	9500	7900	8300

Fonte: Adaptado de Paranhos (1987) e Vitti et al. (2006) apud Rosseto; Santiago (2013).

De acordo com Freire e Cortez (2000), o poder poluidor da vinhaça é cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico. Se ocorrer vazamentos, ela tem capacidade de atingir o lençol freático, causando a contaminação das águas subterrâneas. Já a água residuária, para Piacente (2005), é a soma de diversos efluentes industriais que são originados da limpeza de equipamentos de processo como os evaporadores de caldo de cana-de-açúcar, limpeza dos cozedores de massas, dos condensadores, purgas do sistema de retentores chamados de lavadores de gases - que eliminam parcialmente os materiais particulados dos gases da chaminé das caldeiras - sobra de águas condensadas, flegmaça e lavagem de pisos.

Dado a gravidade do risco as medidas mitigadoras que devem ser tomadas são: possuir um plano de gerenciamento de resíduos; realizar monitoramento constante da água residuária; tratar as águas residuárias, por meio da técnica de lodos ativados, e retornar os efluentes líquidos ao corpo de água adjacente; piso impermeabilizado por onde passam as tubulações; possuir plano de aplicação de vinhaça, como remessa para lançamento em solo agrícola (fertilização), evitando lançamento em curso d'água.

Embora a vinhaça contribua para melhorar a fertilidade do solo, é crucial adotar

precauções específicas em sua aplicação. Essas precauções podem variar de acordo com o tipo de solo, uma vez que a concentração máxima de potássio liberado no solo não deve exceder 5% de sua Capacidade de Troca Catiônica (SILVA et al., 2012).

Entretanto, considerando que uma usina produz, em média, 30,4 bilhões de litros de etanol por ano, resultando em mais de 350 bilhões de litros de vinhaça gerados (SALOMON; LORA, 2005), a utilização da vinhaça como fertilizante não é suficiente para absorver essa enorme quantidade produzida. Torna-se, assim, necessária a busca por outras formas de aproveitamento ou descarte do excedente.

Uma alternativa para o tratamento da vinhaça é a digestão anaeróbia, visando à produção de biogás. Este biogás pode ser empregado na própria indústria como fonte de energia mecânica, calorífica, entre outras aplicações. Além disso, pode ser purificado e utilizado como combustível veicular ou para a geração de energia elétrica (PENTEADO et al., 2018). Quando o biogás é queimado, ocorre a transformação do CH_4 em CO_2 e água, representando uma alternativa ao gás natural (VIEIRA; POLLI, 2020).

Dentro da indústria sucroenergética, o biogás proveniente da vinhaça pode ser aproveitado para acionar o mecanismo de moagem da cana-de-açúcar, utilizando o vapor gerado pela queima na caldeira. Além disso, pode ser utilizado na purificação para obtenção de metano, servindo como combustível durante a safra, e na geração de energia elétrica por meio da ativação de uma turbina conectada a um gerador elétrico (PENTEADO et al., 2018).

A geração de biogás a partir da vinhaça também traz benefícios ambientais, uma vez que os projetos que incorporam biodigestores estão alinhados com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Este mecanismo tem como objetivo principal a redução da taxa de emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa, conforme destacado por PENTEADO et al. em 2018.

4.3. SOLO

Já para o solo, há dois riscos ambientais que podem ocorrer e ambos acontecem na fábrica de açúcar. O primeiro, com risco bruto de valor 8 – risco médio – ocorre no processo de tratamento do açúcar com a sulfitação (etapa visualizada pela Figura 18).

Figura 18 - Etapa em que ocorre o tratamento químico por sulfitação do caldo.



Fonte: Própria autora.

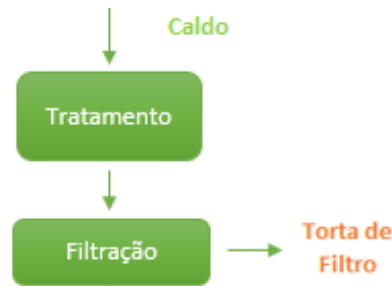
O tratamento do caldo é a etapa mais importante quando se deseja produzir açúcar branco, pois o seu objetivo é eliminar as impurezas do caldo que interferem na produção. É realizado a dosagem e a combustão do enxofre, em fornalhas, afim de produzir o gás sulfuroso e, deste modo, irá se formar o caldo sulfitado.

Silva et al. (2008) indicam que a sulfitação tem como propósito inibir reações que geram cores indesejáveis no açúcar, reduzir a viscosidade do caldo e do xarope, facilitando a evaporação e o cozimento sem complicações. Hugot (1977) destaca que, além de eliminar materiais corantes no processo, o dióxido de enxofre desempenha a função de converter sais ferrosos, originados do contato direto com os equipamentos industriais, em compostos ferrosos incolores.

No entanto, se a sulfitação não for conduzida de maneira adequada, pode acarretar sérios problemas ambientais, incluindo chuva ácida, corrosão de metais, além de causar desconforto no ambiente de trabalho devido à exposição dos operadores durante a dosagem do enxofre na fornalha (MORILLA, 2015). Assim, as medidas mitigadoras são: sempre ter disponível a brigada de emergência; colaboradores treinados para adição do enxofre; checar sempre a câmara de resfriamento; automatizar o sistema de resfriamento dos gases com um transmissor de temperatura e aplicar um transmissor de nível no tanque de caldo misto para evitar a cavitação da bomba.

Já o segundo, com risco bruto alto de valor igual a 12, também ocorre no processo de tratamento do açúcar com a clarificação do caldo (etapa visualizada pela Figura 19).

Figura 19 - Etapa em que ocorre a geração da torta de filtro.



Fonte: Própria autora.

Como resultado dessa clarificação, com emprego de polietrólitos e outras substâncias químicas, tem-se a geração de um lodo denominado torta de filtro. A produção desse resíduo é aproximadamente 25 kg por tonelada de cana moída. Sendo um lodo decantado, a torta de filtro revela a concentração de vários metais, como alumínio, manganês, zinco e ferro, além de apresentar elevados teores de proteínas.

Conforme detalhado na Tabela 5 devido à sua natureza orgânica, esse resíduo exibe uma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) considerável, contribuindo para a poluição. Estudos de Ramalho e Amaral (2001) indicam um aumento na concentração de metais pesados em solos que recebem tradicionalmente aplicações de torta de filtro, sugerindo um risco potencial de contaminação do lençol freático, pois esses metais não são absorvidos pelas plantas e tendem a percolar.

Tabela 5 - Composição química aproximada de 100 gramas de Torta de Filtro.

Parâmetro	Quantidade
Carbono	8,04%
Nitrogênio	0,28%
Fósforo orgânico	0,53 mg
Fósforo inorgânico	1,18 mg
Fósforo total	1,70 mg
Potássio	56,64 mg
Carbono	0,80 g
Magnésio	76,90 mg
Matéria orgânica	16,90%
Água livre	77,77%
Boro	3 ppm
Cobre	11-15 ppm
Manganês	138-196 ppm
Zinco	20-33 ppm
Cobalto	0,3 ppm
Ferro	3500 ppm

Fonte: Adaptado de Paranhos (1987) e Vitti et al. (2006) apud Rosseto; Santiago (2013).

A torta de filtro, utilizada em conjunto com a vinhaça, é amplamente empregada nos canaviais como fertilizante e composto orgânico, respectivamente. Como medida preventiva, é aconselhável que as atuais áreas de compostagem ao ar livre sejam equipadas com uma base compactada e impermeabilizada por geomembrana de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) para garantir a não contaminação do solo e das águas subterrâneas por resíduos de torta de filtro (CETESB, 2015). Ademais, por apresentar altos teores de proteínas, a torta de filtro pode ser utilizada para a alimentação animal (KUMAR et al., 2010).

4.4. RECURSOS NATURAIS

O esgotamento dos recursos naturais representa um impacto indireto de grande relevância, sendo associado ao elevado consumo de energia elétrica gerada por usinas hidroelétricas. Esse consumo interfere nos ecossistemas desde a construção das usinas, desencadeando uma série de impactos negativos nos recursos naturais e alterando as características do ar, solo e ciclo da água. Uma abordagem para mitigar esse componente é a adoção da cogeração de energia, que oferece uma solução integrada para dois problemas: o aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar, gerado em grandes quantidades, e a redução do esgotamento dos recursos naturais, permitindo que a indústria produza sua própria energia.

A usina de estudo produz sua própria energia e vende o excedente, o que mostra uma boa adaptabilidade da empresa à escassez de recursos. O principal risco encontrado é na etapa de fermentação, com risco alto de número 12. Há um consumo alto de energia para produção de levedura o que pode acarretar a maximização da disponibilidade desse recurso. Medidas a serem tomadas para controlar o excessivo uso de energia no processo são: manutenção dos equipamentos; automatização dos equipamentos; implementação de novas tecnologias visando na melhoria dos processos e, conseqüentemente, a redução de gastos energéticos.

Outro risco encontrado, com valor igual a 6 – risco médio - é na Fábrica de açúcar no processo de cozimento do caldo onde ocorre elevado consumo de água. O excessivo uso desse recurso pode afetar o ecossistema local e contribuir para a escassez hídrica. Medidas mitigadoras a serem tomadas são: circuito fechado; automação do sistema; equipamentos novos projetados com novas tecnologias para melhor o funcionamento, diminuindo a perda; sistema de cozimento contínuo e cozimento de segunda geração.

5. CONCLUSÃO

A avaliação de risco revelou-se eficaz para o processo analisado, especialmente pela aplicação do método Matriz de Interação na análise de riscos. Isso se deve à consistência dos dados obtidos na estimativa dos riscos, uma característica antecipadamente esperada devido à ampla aplicação desse método em processos industriais.

O plano de gerenciamento proposto concentrou-se no monitoramento e controle de perigos. O gestor deverá analisar os riscos prioritários e implementar as medidas sugeridas para cada perigo, levando em consideração suas necessidades reais e a disponibilidade de recursos.

O uso de recursos naturais acarreta seu esgotamento e na geração de resíduos, tornando essenciais práticas de redução, reuso e reciclagem no processo de produção. Isso contribuiria para mitigar significativamente os impactos ambientais negativos.

Os resultados enfatizaram a eficaz identificação, por parte da usina sucroenergética, dos riscos ambientais potenciais. Isso evidencia sua considerável capacidade e agilidade em implementar medidas que visam mitigar a poluição da água, atmosfera e solo, demonstrando também um uso consciente dos recursos naturais em seus processos. Essa abordagem demonstra ser uma maneira eficaz de equilibrar o desenvolvimento industrial com a preservação ambiental, sem causar danos significativos. Os quadros apresentados na seção 4, que detalham os principais aspectos e impactos ambientais, reforçam a necessidade de implementar as medidas sugeridas.

Apesar de ser comum atribuir impactos ambientais negativos à agroindústria da cana-de-açúcar, reconhecer os aspectos positivos é menos frequente. A conservação do solo, o uso mínimo de agrotóxicos, a eficiência energética do bagaço, as propriedades vantajosas do etanol como combustível, a liderança brasileira na indústria de base e a inovação no uso de combustíveis alternativos são atributos que contribuem para a melhoria da qualidade ambiental. Comparativamente aos combustíveis fósseis, o etanol representa menor risco de impactos ambientais na atmosfera, considerando a redução de compostos que contêm enxofre.

O investimento em novas tecnologias tornou-se vantajoso, evitando transgressões das normas ambientais, economizando recursos financeiros com o reuso da água, a cogeração de energia a partir da biomassa, a automação em substituição à mão de obra humana e o uso da vinhaça como fertilizante.

É crucial identificar os impactos ambientais para minimizá-los, e este trabalho

identificou aspectos significativos e propôs práticas de produção mais limpa que poderiam ser incorporadas ao processo, beneficiando não apenas o meio ambiente, mas também a usina. Implementando tais soluções, ambos os meios, industrial e ambiental, tendem a se beneficiar.

Diante das mudanças climáticas, equilibrar as forças econômicas com a preservação da qualidade ambiental e responsabilidade social é uma missão que recai sobre a humanidade, e o Brasil, especialmente através do cultivo responsável e sustentável da cana-de-açúcar, tem muito a contribuir.

Para futuras pesquisas, é altamente recomendável ampliar o escopo do estudo sobre a planta sucroenergética, visando superar as limitações estabelecidas nesta pesquisa. Isso permitirá obter uma visão mais abrangente e realista de todos os riscos que possam impactar a empresa, incluindo a esfera agrícola, contribuindo assim para uma gestão de riscos mais abrangente e eficaz. A aplicação de métodos quantitativos também possibilitará uma análise de riscos mais objetiva e fundamentada em dados concretos. Desta maneira, será possível realizar uma avaliação mais precisa do impacto econômico dos riscos identificados, facilitando a definição de estratégias de mitigação mais eficientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **20 anos de carros flex no Brasil.** Disponível em: <<https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2023/03/20-anos-de-carros-flex-no-brasil>>. Acesso em: 23 set. 2023.
2. **A cana-de-açúcar irrigada no enfrentamento da estiagem.** RAKS TECNOLOGIA AGRÍCOLA. Disponível em: <<https://raks.com.br/a-cana-de-acucar-irrigacao-estiagem/>>. Acesso em: 28 nov. 2023.
3. **Acidente com ácido sulfúrico em usina de açúcar e álcool deixa trabalhadores feridos em Uberaba.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/noticia/2020/02/15/acidente-com-acido-sulfurico-em-usina-de-acucar-e-alcool-deixa-trabalhadores-feridos-em-uberaba.ghtml>>. Acesso em: 6 nov. 2023.
4. **Adubação - resíduos alternativos – PORTAL EMBRAPA.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/correcao-e-adubacao/diagnose-das-necessidades-nutricionais/recomendacao-de-correcao-e-adubacao/adubacao-residuos-alternativos>>. Acesso em: 30 out. 2023.
5. AGEITEIC. **Cana de Açúcar.** Agência Embrapa de Informação Tecnológicas. 2015.
6. AMORIM, H. V. **Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia.** Piracicaba: Fermentec, 2005.
7. ANDRADE, J. M. F.; DINIZ, K. M. **Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana de Açúcar: Subsídios para Gestão.** ESALQ. Piracicaba – SP. 2007.
8. **ANP publica relatório sobre explosão na usina Denusa que matou dois trabalhadores.** ANP. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/anp-relatorio-explosao-usina-denusa-matou-dois-trabalhadores-250823>>. Acesso em: 6 nov. 2023.

9. **Aplicação de Fertilizantes na Cana-de-Açúcar.** YARA BRASIL. Disponível em: <<https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/estrategias-de-aplicacao-de-fertilizantes-cana/>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

10. **As projeções de produção de cana, açúcar e etanol para a safra 2023/24 da Fiesp/MB Agro.** Disponível em: <<http://www.cana.com.br/biblioteca/informativo/Projecoes%202023%2024.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

11. **ASTUN, T. M. C. Planejamento e diretrizes para um sistema de gestão ambiental em uma indústria sucroalcooleira.** Ribeirão Preto, 2010.

12. **Atualização da safra de cana-de-açúcar 2023/24 – 1ª quinzena de agosto.** UNICA. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/atualizacao-safra-cana-de-acucar-2023-24-quinzena-agosto-240823>>. Acesso em: 02 out. 2023.

13. **Avaliação de impacto ambiental: caminhos para o fortalecimento do licenciamento ambiental federal.** IBAMA. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias/noticias2016/resumo_executivo.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023d.

14. **Bioeletricidade de cana-de-açúcar: energia limpa e renovável.** COPERSUCAR, 2021. Disponível em: <<https://www.copersucar.com.br/noticias/bioeletricidade-de-cana-de-acucar-energia-limpa-e-renovavel/>>. Acesso em: 13 nov. 2023.

15. **Boletim da Safra de Cana-de-açúcar.** CONAB. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

16. **Caldeireiro morre após acidente de trabalho em usina de Pirassununga.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2015/01/caldeireiro-morre-apos-acidente-de-trabalho-em-usina-de-pirassununga.html>>. Acesso em: 6 nov. 2023.

17. **Cana-de-açúcar: conheça a versatilidade da cultura.** PORTAL SYNGENTA, 2022. Disponível em: <<https://portal.syngenta.com.br/noticias/cana-de-acucar-conheca-a-versatilidade-da-cultura>>. Acesso em: 3 out. 2023.
18. CARPANEZ, T.G.; MOREIRA, V.R.; ASSIS, I.R.; AMARAL, M.C.S. Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: Opportunities and environmental risks. **Science of the Total Environment**. 2022.
19. CHALE, F. E. C. **Perfil de Acidentes de Trabalho de Uma Indústria Sucroalcooleira em Minas Gerais**. 2013. 74p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
20. CBIO. **Unica**. Setor sucroenergético. Disponível em: <<https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/cbio/>>. Acesso em: 27, setembro 2023.
21. CENBIO. **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica**. Brasília: Aneel, 2001.
22. CESNIK, R. **Melhoramento da cana-de-açúcar: marco sucro-alcooleiro no Brasil**. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/15939/1/2007AP008.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2023.
23. CHOU, C. C; et al. **SAT process as a replacemant for sulfitation in mill white sugar production**. International Sugar Journal. v. 108, n. 1289, p. 247-253. 2006.
24. CHRISTIE, I.; ROLFE, H.; LEGARD, R. **Cleaner production in industry: integrating business goals and environmental management**. London: Policy Studies Institute, 1995
25. COELHO, S. T.; LORA, B. A; GUARDABASSI, P. M. **Aspectos Ambientais da Cadeia do Etanol de Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. In: CORTEZ, L. A. B. (coord.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: E. Blucher, 2010.

26. **Com boa produtividade, produção de cana em 2023/24 é estimada pela Conab em 652,9 mi t.** NOVACANA. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/boa-produtividade-producao-cana-2023-24-estimada-conab-652-9-mi-t-170823>>. Acesso em: 02 out. 2023.
27. **Confira o panorama das usinas do Brasil.** Disponível em: <<https://www.foodchainid.com/br/usinas-do-brasil/>>. Acesso em: 17 set. 2023.
28. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986.** Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.
29. CORREA, W. **Avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos em usinas sucroenergéticas de Minas Gerais.** 2019. Dissertação (Programa de Pós-Graduação) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado.
30. CORRÊA NETO, V. **Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com Gaseificação de Biomassa.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
31. COSMO, B. M. N.; GALERIANI, T. M. **Cadeia produtiva da cana-de-açúcar: do campo a indústria, analisando aspectos ambientais.** Dissertação (Graduação em Agronomia) – Universidade do Paraná. Palotina, Paraná. 2018.
32. COSTA, M. V.; CHAVES, P. S. V.; OLIVEIRA, F. C. **Uso das Técnicas de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará.** In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 28. 2005, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: INTERCON, 2005.
33. **Crédito de descarbonização (CBIO).** GOV.BR, 28 agosto 2023. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/credito-de-descarbonizacao-cbio>>. Acesso em: 27, setembro 2023.

34. DANTAS, P. L. **Análise de Custo na Geração de Energia com Bagaço de Cana-de-Açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
35. DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Ed. Atlas, 1995.
36. **Etanol** – PORTAL EMBRAPA. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-pos-producao/alcool/tecnologias-emergentes/etanol>>. Acesso em: 21 set. 2023.
37. **Falha em pré-evaporador causa acidente em usina**. JORNAL CANA, 7 dez. 2004. Disponível em: <<https://jornalcana.com.br/falha-em-pre-evaporador-causa-acidente-em-usina/>>. Acesso em: 6 nov. 2023
38. FERNANDES, S. V.; **Desafios da aplicação da gestão de riscos ambientais no setor logístico de uma metalúrgica brasileira**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção) – Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto, p.60. 2021.
39. FERREIRA, B. S. **Gerenciamento de Resíduos em uma Indústria Sucoenergética: Um Estudo de Caso**. Disponível em: <<https://singep.org.br/5singep/resultado/640.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2023.
40. FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.A.B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Piracicaba: Livraria e Editora Agropecuária, 2000.
41. FUESS, L.T.; RODRUGUES, I.J.; GARCIA, M.L. Fertirrigation with sugarcane vinasse: Foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization. **Journal of Environmental Science and a Health**. p. 01-10, 2017.
42. FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. Rio de Janeiro, Fundo de Cultura, 1959.

43. GONÇALVES, L. M.; FERIAS, C. A. **Guia de estudos em impactos ambientais: métodos, planejamento, estudos e aplicações**. Coleção UAB-UFSCar. São Carlos, 2011.
44. HUGOT, E. **Manual da Engenharia Açucareira**. São Paulo: Mestre Jou. v. 1. 1977.
45. INSTITUTO DO AÇÚCAR E ÁLCOOL. **A política do álcool-motor no Brasil**. Rio de Janeiro: IAA, 1942.
46. IRIAS, L. J. M.; GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P.; ROSA, M. F.; RODRIGUES, G. S.. **Avaliação de impacto ambiental de inovação tecnológica agropecuária - Aplicação do sistema Ambitec**. Agricultura em São Paulo, v.51, 2004.
47. KUMAR, R.; VERMA, D.; SINGH, B. L.; KUMAR, U.; SHWETA. Composting of sugar-cane waste by-products through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 17, p. 6707-6711, 2010.
48. LEÃO, R. M. **Álcool energia verde**. Piracicaba: Iqual, 2002.
49. LEOPOLD, L. B. **A procedure for evaluating environmental impact**. **Geological Survey Circular**, Washington, n. 645, 1971.
50. LIMA, G. B. A. **Sistemas de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho: normalização e certificação**. In: MATTOS, Ubirajara; MÁSCULO, Francisco (org). Higiene e Segurança do Trabalho. Rio de Janeiro: Elsevier/Abepro, 2011.
51. LIMA, P. C. R. **Os carros flex fuel no Brasil**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2009.
52. **Lista de Usinas de Açúcar e Etanol do Brasil por estado**. NOVACANA. Disponível em: <https://www.novacana.com/usinas_brasil/estados>. Acesso em: 8 set. 2023.
53. MACEDO, I. C. **Situação atual e perspectivas do etanol**. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 21, n. 59, jan./abr. p.157-165, 2007.

54. **Manejo e cuidados no uso da vinhaça na fertirrigação.** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016. Fortaleza, Ceará. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/images/curso_manejo_e_cuidados_no_uso_da_vinhaca_fertirrigacao/Manejo_de_vinhaca.pdf>. Acesso em: 22 set. 2023.
55. MOREIRA, I. V. D. **Avaliação de Impacto Ambiental – AIA.** Rio de Janeiro, FEEMA, 1985.
56. MORGAN, R.K. **Environmental impact assessment: the state of the art.** Impact Assessment and Project Appraisal, v.30, n.1, March 2012.
57. MORILLA, C. H. G. **Viabilidade econômico-financeira da substituição de dióxido de enxofre por peróxido de hidrogênio na cadeia produtiva do açúcar.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP. Piracicaba. 2015.
58. MOZAMBANI, Amália E.; PINTO, Alexandre de S.; SEGATO, Silvelena V.; MATTIUZ, Claudia F. M. **História e morfologia da cana-de-açúcar.** In: Atualização em produção de cana-de-açúcar, Piracicaba: Ceres, 2006. p. 11-18.
59. NACHILUK, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20maior,de%20litros%20de%20etanol1>>. Acesso em: 4 set. 2023.
60. NICOLELLA, G. **Sistema de gestão ambiental: aspectos teóricos e análise de um conjunto de empresas da região de Campinas, SP** / Gilberto Nicolella, João Fernandes Marques, Ladislau Araújo Skorupa – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.
61. **Números finais da safra de cana-de-açúcar 2022/23.** UNICA. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/unica-numeros-finais-safra-cana-de-acucar-2022-23-120423>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

62. NUNES, I. H. S.; VANDERLEI, R. D.; SECCHI, M.; ABE, M. A. P. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção.** Revista Tecnológica, n. 17, p. 39-48, 2010.
63. OLIVEIRA, A. N. A. **Avaliação de riscos decorrentes da liberação de etanol em tanques de armazenamento de uma indústria sucroenergética.** Dissertação (Programa de Pós-graduação) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais. 215 p. 2019.
64. **O uso da torta de filtro como fertilizante ganha mais importância com o RenovaBio.** CANAONLINE, 2020. Disponível em: <<http://www.canaonline.com.br/conteudo/o-uso-da-torta-de-filtro-como-fertilizante-ganha-mais-importancia-com-o-renovabio-.html>>. Acesso em: 30 out. 2023.
65. **Panorama do Agro.** Disponível em: <<https://cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>>. Acesso em: 09 set. 2023
66. **Panorama Setor Sucroenergético.** FRENTE PARLAMENTAR DA AGROPECUÁRIA (FPA), 2023. Disponível em: <<https://fpagropecuaria.org.br/2023/02/24/panorama-setor-sucroenergetico/>>. Acesso em: 18 set. 2023.
67. PENTEADO, M. C.; SCHIRMER, W. N.; DOURADO, D. C.; GUERI, M. V. D.. **Análise do potencial de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia da vinhaça e bagaço de cana,** Biofix Scientific Journal v. 3 n. 1 p. 26-33 2018.
68. PIACENTE, F. J. **Agroindústria canavieira e o Sistema de gestão ambiental: o caso das usinas localizadas nas Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.** Campinas, 2005.
69. PIACENTE, F. J.; PIACENTE, E. A. **Desenvolvimento sustentável na agroindústria canavieira: uma discussão sobre resíduos.**

70. **PIB do agronegócio brasileiro registra queda de 4,22% em 2022.** Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/agricultura/pib-do-agronegocio-brasileiro-registra-queda-de-422-em-2022/>>. Acesso em: 10 set. 2023.
71. PORTEIRA, M. H. S. **Gestão de risco em empresas do setor sucroenergético: evidências de mecanismos de isomorfismo institucional.** 2019. Dissertação (Mestrado) – Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado, São Paulo.
72. PRADO JR, C. **História econômica do Brasil.** 26. ed. São Paulo: Brasiliense, 1981.
73. **Produção Agropecuária.** INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>>. Acesso em: 14 nov. 2023.
74. **Produção de cana chega a 610,1 milhões de toneladas na safra 2022/23 com melhora na produtividade nas lavouras.** CONAB. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4977-producao-de-cana-chega-a-610-1-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23-com-melhora-na-produtividade-nas-lavouras>>. Acesso em: 28 nov. 2023.
75. **Projeções para o agronegócio brasileiro.** FIESP. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.novacana.com/pdf/estudos/Estudo_Fiesp_MBagro.pdf>. Acesso em: 11 set. 2023.
76. PUTTI, F. F.; SILVA, A. L. C; FILHO, L. R. A. G. **Tecnologias sustentáveis e agronegócio.** ANAP. Tupã, 2020.
77. **Queima da palha de cana-de-açúcar causa impacto ambiental e danos à saúde de moradores da Zona da Mata.** G1. Disponível em: <<https://www.ufrpe.br/br/content/g1-queima-da-palha-de-cana-de-a%C3%A7%C3%ACar-causa-impacto-ambiental-e-danos-%C3%A0-sa%C3%BAde-de-moradores-da>>. Acesso em: 23 out. 2023.
78. RAMALHO, J. F.; AMARAL SOBRINHO, N. M. **Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais.** Revista Floresta e Ambiente. V. 8, 2001.

79. RAMOS, Nilza Patrícia; LUCHIARI JUNIOR, Ariovaldo. **Impactos ecológicos**. Brasília-DF: Embrapa Cana-de-Açúcar, 2007.
80. **Registro Público de Emissões**. FGV. Disponível em: <<https://registropublicodeemissoes.fgv.br/participantes>>. Acesso em: 13 out. 2023.
81. **RenovaBio**. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1>>. Acesso em: 05 out. 2023.
82. **RenovaBio: biocombustíveis 2030**. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-155/EPE%20-%20NT2%20%E2%80%93%20SUSTENTABILIDADE%20-%20ARQUIVO%202.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2023.
83. **Reviravolta e superação para cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://dinheirorural.com.br/reviravolta-e-superacao-para-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 11 set. 2023.
84. REZENDE, R. E. **Medidas mitigatórias de impactos ambientais e sanitários na cadeia produtiva de etanol no período de 2014/2015 no município de Goianésia, estado de Goiás**. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, Goiás. 100 p. 2016.
85. RICHIERI, S. M. M. **Estudo do impacto das mudanças climáticas globais nos mangues tropicais**. 2006. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2006.
86. ROCHA, E. C.; CANTO, J. L.; PEREIRA, P. C. **Avaliação de impactos ambientais nos países do Mercosul**. Ambiente & Sociedade, v.8, 2005.

87. RODRIGUES, G. S. De S. C.; ROSS, J. L. S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Edufu (Editora da Universidade Federal de Uberlândia) – MG, 2020.
88. ROHDE, G. M. **Estudos de impacto ambiental: a situação brasileira em 2000**: In: MEDEIROS, R. M. V.; VERDUM, R. RIMA: relatório de impacto ambiental. 5 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2006.
89. RONQUIM, C. C. **Queimada na colheita de cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos** / Carlos Cesar Ronquim. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.
90. SALOMON, Karina Ribeiro; LORA, Electo Eduardo Silva. **Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica para Diferentes Fontes de Biogás no Brasil**. Renabi, Biomassa & Energia, v.2, n.1, p. 57-67, 2005.
91. **Safra de cana-de-açúcar 2023/24 começa com o cenário positivo**. PORTAL SYNGENTA, 2023. Disponível em: <<https://portal.syngenta.com.br/noticias/safra-de-cana-de-acucar-2023/24-comeca-com-cenario-positivo>>. 3 out. 2023.
92. **Safra no CS processa mais de 548 mi de toneladas de cana**. UNICA. Disponível em: <<https://unica.com.br/noticias/safra-no-cs-processa-mais-de-548-mi-de-toneladas-de-cana/>>. Acesso em: 19 out. 2023.
93. SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos. 2008.
94. SANTO, Z. N. E.; ALMEIDA, L. T. **Etanol: impactos sócio-ambientais de uma commodity em ascensão**. VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Fortaleza, 2007.

95. **Secretaria de Política Agrícola - SPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.** Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros/abn-04-2022.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2023.
96. **Setor sucroenergético produziu 18,4 mil GWh, equivalente a 4% do consumo anual de energia elétrica em 2022.** UDOP, UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA, 2023. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2023/03/14/setor-sucroenergetico-produziu-18-4-mil-gwh-equivalente-a-4-do-consumo-anual-de-energia-eletrica-em-2022.html>>. Acesso em: 13 set. 2023.
97. SILVA, F. M. **Análise dos riscos ambientais em uma usina sucroalcooleira no município de Santa Helena de Goiás.** Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Rio Verde. Rio Verde, Goiás. 16 p. 2015.
98. SILVA, Nelmício Furtado da et al., **Distribuição de Solutos em Colunas de Solo com Vinhaça.** Irriga, Botucatu, Edição Especial, p. 340 - 350, 2012.
99. SILVA, R. B; et al. **Aplicação da produção mais limpa no processo de clarificação do caldo de cana para produção de açúcar.** ENEGEP. Rio de Janeiro. 2008.
100. SCHWARTZ, S. B. **A Commonwealth within itself: the early brazilian sugar industry, 1550-1670.** Revista de Índias, Madrid, Espanha, 2005.
101. SCHWARTZ, S. B. **Segredos internos: engenhos e escravos na sociedade colonial.** São Paulo: Companhia das Letras, 1988.
102. SZMRECSÁNYI, T. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-1975).** Campinas: Hucitec, 1979.
103. TACHIZAWA, T. **Gestão ambiental e responsabilidade social corporativa: estratégias de negócios focadas na realidade brasileira.** São Paulo: Ed. Atlas, 2002.

104. TORQUATO, S. A.; JESUS, K. R. E. de; RAMOS, R. C. **Potencial da bioeletricidade no Brasil: uso da biomassa da cana-de-açúcar como energia alternativa e complementar.** Vila Real: SPER, 2016. p. 78-83. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1065049>>. Acesso em: 19 out. 2023.
105. TORRES-RUIZ, A.; RAVINDRAN, A. R. **Multiple criteria frameworks for the sustainability risk assessment of a supplier portfolio.** Journal of Cleaner Production, Elsevier, v. 172, 2018.
106. **Vazamento de litros de melão atinge Rio Jequiá e morte de peixes é registrada.** TRIBUNA HOJE, 2020. Disponível em: <<https://tribunahoje.com/noticias/interior/2020/11/24/32132-vazamento-de-litros-de-melao-atinge-rio-jequia-e-morte-de-peixes-e-registrada>>. Acesso em: 9 nov. 2023.
107. VENCOVSKY, V. P. **Setor sucroenergético: a emergência de um novo período.** In: BERNARDES, J. A.; SILVA, C. A.; ARRUZO, R. C. Espaço e energia: mudanças no paradigma sucroenergético. Rio de Janeiro: Lamparina, 2013.
108. VIEIRA, Henrique Gois; POLLI, Henrique Quero. **O biogás como fonte alternativa de energia.** Taquaritinga: Fatec, SP, Interface Tecnológica - v. 17 n. 1, p. 388-400, 2020.
109. ZARPELON, F. **Destilação do etanol.** Piracicaba. STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (Regional Sul), 2020.