

**Etec Prof.<sup>a</sup> CARMELINA BARBOSA**  
**UNIDADE 052–DRACENA-SP**  
**Técnico em Química.**

**Bruna Aparecida da Silva Martins**  
**Pedro Henrique de Santana Colussi**  
**Rafaela Anastácio**  
**Yasmim Melo da Silva**

**EFICIÊNCIA ECONÔMICA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA**  
**PRODUÇÃO DE ETANOL E AÇÚCAR**

**Bruna Aparecida da Silva Martins**  
**Pedro Henrique de Santana Colussi**  
**Rafaela Anastácio**  
**Yasmim Melo da Silva**

**EFICIÊNCIA ECONÔMICA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA  
PRODUÇÃO DE ETANOL E AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da Etec Prof.<sup>a</sup> Carmelina Barbosa – Unidade 052 – Dracena-SP, Orientado por: Prof. Fabiana Maria S. R. Bertipaglia; Prof. Dra Francielli Mahnic Vasconcello; Prof. William Felipe dos Santos, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Química

BRUNA APARECIDA DA SILVA MARTINS  
PEDRO HENRIQUE DE SANTANA COLUSSI  
RAFAELA ANASTÁCIO  
YASMIM MELO DA SILVA

EFICIÊNCIA ECONÔMICA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA PRODUÇÃO  
DE ETANOL E AÇÚCAR

Aprovada em: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

Banca de Validação:

\_\_\_\_\_ - Presidente da Banca

Professor.....

ETEC "Prof. Carmelina Barbosa"

\_\_\_\_\_

Professor .....

ETEC "Prof. Carmelina Barbosa"

\_\_\_\_\_

Professor .....

ETEC "Prof. Carmelina Barbosa"

Dracena – SP

2024

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos este trabalho de conclusão de curso – TCC aos nossos estimados progenitores, cujo incansável zelo e dedicação moldaram os alicerces de nossa formação acadêmica. É por meio de sua constante inspiração e apoio que hoje celebramos a conclusão deste importante marco em nossas vidas.

## **AGRADECIMENTO**

Agradecemos profundamente a elaboração deste trabalho de curso – TCC, atribuindo primeiramente nossas reverências a uma entidade transcendental, por nos outorgar discernimento e perspicácia para sua realização. Expressamos nossa gratidão ao ilustre professor orientador, cuja notável paciência e competência foram fundamentais para a concretização deste estudo. Não menos importante, dirigimos nossos agradecimentos aos amigos e familiares que nos brindaram com seu apoio inestimável ao longo desta jornada acadêmica.

**Epígrafe:**

**“O coração do entendido adquire conhecimento e o ouvido dos sábios procura  
achar conhecimento”**

**Provérbios, 18:15.**

## RESUMO

Este trabalho visa destacar a importância do desenvolvimento econômico por meio das usinas sucroalcooleiras e os impactos ambientais que causam, ressaltando o desafio inerente entre o crescimento econômico e a preservação ambiental. Neste contexto, o desenvolvimento sustentável por meio de tecnologias surge como uma necessidade crucial entre o problema e a solução. No Brasil, a produção de etanol, considerada uma fonte de energia limpa devido aos seus menores impactos ambientais, e de açúcar, que utiliza a água como seu principal recurso, é de grande relevância. No entanto, a escassez global de água exige que a ciência e a tecnologia encontrem estratégias para reduzir a captação desse recurso, como o seu reuso, que além de diminuir o consumo, contribui para a preservação das fontes hídricas. O presente estudo adota uma abordagem qualitativa com caráter exploratório, utilizando procedimentos bibliográficos, análise de artigos, monografias, livros de diversos teóricos, revistas e publicações. Esse embasamento teórico visa enriquecer o conhecimento e esclarecer a problemática abordada. A sustentabilidade ambiental e a qualidade da água emergem como premissas fundamentais para a estabilidade dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que regem o planeta. Suas propriedades físico-químicas são essenciais nos processos industriais, mas a falta de saneamento de recursos hídricos por algumas entidades resulta na concentração de efluentes. Atualmente, os métodos de tratamento de efluentes mais destacados incluem os processos de coagulação, floculação e decantação. O vinhoto, também conhecido como vinhaça, é um subproduto da destilação e fermentação da cana durante a produção de álcool e na cristalização do caldo de cana para a produção de açúcar. Embora rico em nutrientes, o vinhoto pode representar uma fonte potencial de contaminação para águas subterrâneas e superficiais, além de alterar as características do solo. Diante disso, o tratamento de efluentes nas usinas sucroalcooleiras é dividido em duas fases principais: o Tratamento Preliminar e o Tratamento Biológico, este último subdividido em várias etapas. O Tratamento Preliminar inclui a remoção de sólidos grosseiros e a equalização do efluente para homogeneizar suas características. Já o Tratamento Biológico é composto por processos anaeróbios e aeróbios. No tratamento anaeróbio, o uso de biodigestores tipo UASB permite a degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio,

gerando biogás como subproduto. Em seguida, o tratamento aeróbio por lodos ativados promove a oxidação da matéria orgânica residual em presença de oxigênio, garantindo a remoção eficiente dos poluentes. Em conclusão, este trabalho ressalta a importância da adoção de tecnologias sustentáveis nas usinas sucroalcooleiras para minimizar os impactos ambientais e promover a preservação dos recursos hídricos. A combinação de tratamentos preliminares e biológicos, além de estratégias de reuso da água, representa uma abordagem eficaz para enfrentar os desafios ambientais, assegurando o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade ambiental; Tratamento de água; Tecnologias sustentáveis.

## ABSTRACT

This work aims to highlight the importance of economic development through sugar and alcohol plants and the environmental impacts they cause, highlighting the inherent challenge between economic growth and environmental preservation. In this context, sustainable development through technologies emerges as a crucial need between the problem and the solution. In Brazil, the production of ethanol, considered a source of clean energy due to its lower environmental impacts, and sugar, which uses water as its main resource, is of great relevance. However, the global scarcity of water requires that science and technology find strategies to reduce the capture of this resource, such as its reuse, which in addition to reducing consumption, contributes to the preservation of water sources. The present study adopts a qualitative approach with an exploratory nature, using bibliographic procedures, analysis of articles, monographs, books by various theorists, magazines and publications. This theoretical basis aims to enrich knowledge and clarify the issues addressed. Environmental sustainability and water quality emerge as fundamental premises for the stability of the biological, geological and chemical cycles that govern the planet. Its physical-chemical properties are essential in industrial processes, but the lack of sanitation of water resources by some entities results in the concentration of effluents. Currently, the most prominent effluent treatment methods include coagulation, flocculation and decantation processes. Vinasse, also known as vinasse, is a by-product of the distillation and fermentation of sugarcane during the production of alcohol and in the crystallization of sugarcane juice for the production of sugar. Although rich in nutrients, vinasse can represent a potential source of contamination for groundwater and surface water, in addition to altering soil characteristics. Therefore, effluent treatment in sugar and alcohol plants is divided into two main phases: Preliminary Treatment and Biological Treatment, the latter subdivided into several stages. Preliminary Treatment includes the removal of coarse solids and equalization of the effluent to homogenize its characteristics. Biological Treatment is composed of anaerobic and aerobic processes. In anaerobic treatment, the use of UASB-type biodigesters allows the degradation of organic matter in the absence of oxygen, generating biogas as a byproduct. Next, aerobic treatment using activated sludge promotes the oxidation of residual organic matter in

the presence of oxygen, ensuring efficient removal of pollutants. In conclusion, this work highlights the importance of adopting sustainable technologies in sugar and alcohol plants to minimize environmental impacts and promote the preservation of water resources. The combination of preliminary and biological treatments, in addition to water reuse strategies, represents an effective approach to face environmental challenges, ensuring a balance between economic development and sustainability.

**Keywords:** Environmental sustainability; Water treatment; Sustainable technologies.

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 01:</b> Sistema aberto de utilização de água em uma usina sucroalcooleira.....	24
<b>FIGURA 02:</b> Fluxograma do tratamento de efluentes da indústria sucroalcooleira.....	27
<b>FIGURA 3:</b> Esquema de um reator biológico anaeróbio do tipo UASB .....	32
<b>FIGURA 4:</b> Desenho esquemático do tratamento aeróbio por lodo ativado.....	34

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CH<sub>4</sub> – Metano

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente

CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda química de oxigênio

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

ONU - Organização das Nações Unidas

PROÁLCOOL - Programa Nacional do Álcool

Q - Vazão hidráulica

SMA - Secretaria de Meio Ambiente

TRH - Tempo de retenção hidráulica

UASB - Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente de Manta de Lodo

ÚNICA - União da Indústria da Cana de Açúcar

V – Volume

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	<b>18</b>
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>21</b>
<b>4 INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA</b> .....	<b>22</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO INDUSTRIAL .....	22
4.2 O USO DA ÁGUA NO SETOR SUCROALCOOLEIRO .....	23
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE .....	25
4.4 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA.....	26
4.5 DESCRIÇÃO PORMENORIZADA DE TODAS AS FASES DO SISTEMA DE TRATAMENTO DOS EFLUENTES NA INDÚSTRIA DE FABRICAÇÃO DE ETANOL. ....	28
4.5.1 Tratamento Preliminar.....	28
4.5.2 Tratamento Biológico .....	30
4.5.3 Tratamento Anaeróbio – Biodigestor UASB .....	31
4.5.4 Tratamento Aeróbio – Lodo Ativado .....	33
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico, como fenômeno de suma relevância, desencadeia uma série de implicações tanto benéficas quanto prejudiciais em diversos segmentos da sociedade. Destacam-se, entre os benefícios, o notável crescimento dos centros urbanos e a consequente ampliação das oportunidades de emprego e incremento da renda (THEODORO, 2012). No entanto, é crucial reconhecer que esse processo de crescimento desenfreado frequentemente acarreta impactos ambientais adversos, resultantes de ações humanas muitas vezes negligentes, irresponsáveis e carentes de um planejamento adequado. Nesse contexto, surge a premente necessidade de compreender de forma aprofundada os mecanismos subjacentes a essas complexas interações entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental. Para fomentar o crescimento econômico e, consequentemente, impulsionar a produtividade, torna-se imprescindível promover esses processos por meio do aumento do consumo de matérias-primas. Contudo, tal abordagem pode ser considerada mais um desafio intrínseco ao desenvolvimento econômico. Conforme destacado por Siqueira (2009), essa perspectiva implica em um preço significativo a ser pago, evidenciado na forma de desatenção ambiental, superexploração dos recursos naturais, distribuição inadequada de riquezas, poluição, desmatamento e desperdício, todos esses fatores impactando diretamente a qualidade do meio ambiente.

A problemática presente em todas as esferas da sociedade reside na busca por meios para sustentar o atual ritmo de desenvolvimento humano sem agravar ainda mais os impactos sobre o meio ambiente. Essa noção está intrinsecamente relacionada ao conceito de Desenvolvimento Sustentável, tal como definido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU) em 1987. Segundo essa definição, o Desenvolvimento Sustentável representa uma abordagem que visa atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades (SCHMIDHEINY, 1992).

As preocupações iniciais com a sustentabilidade ambiental remontam à década de 1970, marcada pela realização da primeira conferência internacional

sobre o Ambiente Humano pela Organização das Nações Unidas (ONU) em Estocolmo, em 1972. Nesse evento, nações industrializadas e em desenvolvimento reuniram-se para debater o direito universal a um ambiente saudável. No mesmo ano, o relatório "Limites do Crescimento", do Clube de Roma, alertou sobre os impactos negativos do crescimento populacional e industrial na sustentabilidade ambiental até o final do século, contribuindo para despertar uma consciência global sobre os problemas ambientais futuros. Desde então, marcos significativos na consciência ambiental foram alcançados pela sociedade, como o Relatório Nosso Futuro Comum de 1987, que conceituou o desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer as futuras. Essa evolução culminou com a ratificação do Protocolo de Kyoto por diversos países e a publicação de relatórios sobre mudanças climáticas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Esses avanços enfatizam a importância do engajamento de organizações públicas, privadas e do terceiro setor na busca pela sustentabilidade ambiental. Como resultado, a gestão ambiental ganhou destaque nas organizações durante a década de 1990, com a identificação de diversos desafios relativos à eficácia dessas práticas empresariais. Entre esses desafios, destaca-se a adoção de práticas ambientais nas organizações e os fatores que as influenciam, tema que recebeu menos atenção apesar de sua importância (BERRY; RONDINELLI, 1998; GONZALEZ-BENITO; GONZALEZ-BENITO, 2006; PAULRAJ, 2008).

Diante de uma realidade marcada por impactos globais contínuos, foi desencadeada uma busca pelo desenvolvimento de medidas destinadas a mitigar ou erradicar as alterações ambientais irreversíveis. Nesse contexto, no cenário brasileiro, destaca-se a implementação do etanol como uma alternativa de destaque. O etanol, um combustível passível de produção doméstica por meio de indústrias sucroalcooleiras ou de outros insumos agrícolas, tem se destacado não apenas por sua característica de matriz energética renovável e ambientalmente limpa (AZEVEDO, SANTOS E MAGALHÃES, 2012), mas também por sua contribuição para a redução da dependência nacional de petróleo importado (SCHUCHARDT et al., 2001). Ao longo das últimas três décadas, a indústria sucroalcooleira tem sido alvo de significativos investimentos em ciência e tecnologia, tanto por parte do setor público quanto do privado. Atualmente, a cana-de-açúcar não é apenas utilizada

como matéria-prima para a produção de açúcar, mas também para uma variedade de produtos de alto valor agregado, destacando-se especialmente o etanol, que supre a demanda de combustíveis automotivos e contribui para reduzir a dependência da sociedade em relação aos combustíveis fósseis. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), referentes à safra 2012/2013, o Brasil se destaca como o principal produtor mundial de cana-de-açúcar. Nos processos industriais de fabricação de açúcar e etanol, a água desempenha um papel fundamental, sendo o fluido mais utilizado. Ela participa como líquido de processo, agente na produção de vapor para geração de eletricidade, fonte de calor ou mesmo como meio de limpeza. Conforme relata a União da Indústria da Cana de Açúcar (UNICA), a produção de etanol na safra 2011/2012 alcançou a marca de 20,38 bilhões de litros.

A escassez de água global resulta de uma complexa interação de problemas ambientais agravados pela interferência humana, juntamente com questões econômicas e sociais, que afetam a estabilidade do saneamento básico e da saúde pública, refletindo na vulnerabilidade do crescimento sustentável e no agravamento do desequilíbrio social. Diante desse cenário, é imperativo adotar uma abordagem sistêmica, integrada e preditiva na gestão dos recursos hídricos, com uma descentralização para as bacias hidrográficas (GLEICK, 2000).

Diante desta realidade o papel da ciência e da pesquisa é crucial na busca por soluções para os desafios sociais, cabendo aos cientistas analisarem estrategicamente a situação dos recursos hídricos globalmente. Isso permite que as comunidades e nações fundamentem seus planos de desenvolvimento socioeconômico com segurança e em uma visão sustentável. As indústrias, para garantir a disponibilidade de uma ampla gama de bens de consumo, necessitam utilizar recursos que podem ser potencialmente poluentes.

As indústrias de açúcar e etanol desempenham um papel socioeconômico crucial no Brasil, buscando extrair ao máximo o potencial da cana-de-açúcar. Além do açúcar e etanol, são produzidos subprodutos como bagaço de cana, utilizado como combustível para geração de energia elétrica, e levedura seca, utilizada como complemento alimentar para animais.

No entanto, a água residuária gerada durante esse processo precisa ser tratada para reutilização, sendo um desafio devido às suas características variáveis ao longo da safra. A necessidade de redução do consumo de água nas usinas de açúcar e etanol, conforme estabelecido pela Resolução SMA 88 de 2008, ressalta a importância do tratamento da água residuária como uma prática de responsabilidade ambiental e uma medida para reduzir a captação de água. O consumo efetivo de água de cada usina varia significativamente devido à complexidade e diversidade de suas operações. Fatores como a produção exclusiva de açúcar ou etanol, ou uma combinação dos dois, bem como a proporção de cada produto na produção total, influenciam diretamente o consumo de água. Essa diversidade de operações torna difícil a avaliação comparativa entre usinas com perfis distintos, exigindo uma correção comparativa baseada em estudos técnicos do consumo teórico de água utilizado (ELIA NETO et al., 2009).

Em relação ao consumo de água nas usinas, conforme estipulado pelo Protocolo e pelo Zoneamento Agroambiental, verifica-se uma redução significativa desde 2010, chegando a uma diminuição de 40% no consumo de água para o processamento industrial da cana-de-açúcar. Na safra 2017/2018, esse consumo alcançou o valor de 0,96 m<sup>3</sup>/tonelada de cana moída (SÃO PAULO, 2018).

Para alcançar esse resultado, foram implementadas diversas medidas, como o fechamento de circuitos com reuso de água e o aprimoramento dos processos industriais, visando maior eficiência e redução na captação de água. A intensificação do reuso de água é uma das práticas adotadas que não apenas reduz o consumo total de água, mas também contribui para a preservação das fontes hídricas. Além disso, essa prática pode resultar na diminuição da carga poluente nas emissões, promovendo uma mentalidade de uso racional da água (ALMEIDA, 2011; CHAVEZ-RODRIGUEZ et al., 2013).

O presente trabalho visa visibilizar tecnologias para o tratamento da água residuária gerada por uma usina de açúcar e álcool no interior de São Paulo, contribuindo assim para minimizar os impactos ambientais e reduzir os custos com a captação de água utilizada no processo industrial.

## 2 METODOLOGIA

Há muito vem-se lutando para a preservação do meio ambiente sem postergar o processo de desenvolvimento das indústrias, já que esse é necessário para a evolução da sociedade. Vislumbrando dessa forma houve a necessidade de aprofundarmos nossas experiências através da pesquisa que aqui se apresenta.

Este estudo foi realizado com base em avaliações e especulações feitas ao longo de nossa trajetória acadêmica com o objetivo de sondar o nosso conhecimento sobre a relevância do tratamento da água e a preservação do meio ambiente, assim como a importância dos produtos químicos e seus processos para tal feito em usinas sucroalcooleiras. Para a construção desse trabalho foram analisados artigos, monografias, livros de vários teóricos, revistas e publicações acerca de formular pensamentos, hipóteses, críticas e conclusões a respeito de nosso tema. Através de nossa investigação pretendemos demonstrar técnicas e produtos usados de forma qualitativa para a execução e resolução da problemática abordada.

Este estudo adota uma abordagem de métodos qualitativos com caráter exploratório, utilizando procedimentos bibliográficos. Conforme destacado por Heerdt e Leonel (2007, p. 63), a pesquisa exploratória busca proporcionar uma maior familiaridade com o objeto de estudo. Por sua vez, a pesquisa bibliográfica, conforme definida pelos mesmos autores (2007, p. 67), consiste no esforço de elucidar um problema a partir das teorias e conhecimentos disponíveis em diversas fontes publicadas.

De acordo com esses autores, quando uma pessoa deseja apenas adquirir mais conhecimento ou alcançar um certo grau de familiaridade com um determinado assunto, ela pode realizar pesquisas bibliográficas em nível de pesquisa exploratória. Ao construir problemas ou questões de pesquisa, isso pode fornecer aos pesquisadores informações mais precisas e apoiar a análise e discussão dos resultados da pesquisa empírica (HEERDT E LEONEL, 2007).

Segundo Gil (2008, p. 27), as “pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato”. Para esse autor, o principal objetivo da pesquisa exploratória é

desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, visando à formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores (GIL, 2008, p. 50). Dessa forma, o instrumento de coleta de dados desta pesquisa foi constituído a partir da seleção de artigos e trabalhos publicados em periódicos e eventos nacionais/regionais sobre as indústrias sucroalcooleiras. Para isso, foi realizada uma investigação no intuito de selecionar propostas publicadas em versões online compreendendo o período entre os anos de 2000 a 2020.

A primeira etapa desse processo correspondeu à exploração na internet para localizar o material bibliográfico. Assim, os dados foram coletados no período entre agosto de 2023 e maio de 2024, concentrando o levantamento nos seguintes portais de busca: Periódicos CAPES (disponível em: [www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br)) e Google Acadêmico (disponível em: <http://scholar.google.com.br>).

O Periódico CAPES é um portal que entrou em funcionamento em novembro de 2000 com a finalidade de facilitar o acesso à informação científica e tecnológica nacional e internacional às instituições de ensino superior e pesquisa do País. É uma biblioteca virtual que reúne a produção de instituições brasileiras de ensino e pesquisa e oferece resultados de produção científica de nível mundial (CAPES, 2020).

O Google Acadêmico é uma ferramenta do Google, empresa multinacional de serviços online e software dos Estados Unidos, que surgiu na web no final de 2004 com o propósito de ser uma ferramenta de busca de informações de caráter acadêmico. Pode ser usado para encontrar itens necessários a novas pesquisas e para verificar quem fez uso de seus estudos para produzir novos conteúdos. Essa ferramenta confere visibilidade a diversas publicações, permitindo que os trabalhos acadêmicos encontrados na web sejam acessíveis e de fácil localização (CAREGNATO, 2011).

Os trabalhos foram selecionados inicialmente com base nos títulos e na leitura dos resumos, com o intuito de identificar quais deles abordavam situações didáticas relacionadas ao tema da produção de açúcar no processo de ensino e aprendizagem. Aqueles que se mostraram relevantes para os objetivos da pesquisa foram selecionados e examinados por completo, através de uma leitura minuciosa,

para compreender como eram utilizados os processos de tratamento da água das indústrias sucroalcooleiras.

Para apresentar as categorias, utilizamos os elementos da análise de conteúdo de Bardin (1977), que permite ao pesquisador inferir a partir de diferentes elementos da comunicação, que proporciona ao pesquisador uma estrutura para inferir a partir de diversos elementos comunicativos. Conforme destacado por Bardin (1977, p.38),

A análise de conteúdo pode ser considerada como um conjunto de técnicas de análise de comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos para descrever o conteúdo das mensagens... A intenção da análise de conteúdo é a inferência do conhecimento relativos às condições de produção e de recepção das mensagens, inferência esta que recorre a indicadores (quantitativos, ou não) (BARDIN, 1977, p.38).

A condução de um trabalho bibliográfico demanda uma sistematização adequada, visando criar um roteiro consistente para alcançar os objetivos e fornecer ao leitor um amplo espectro de informações já publicadas por diversos autores, de modo organizado e elencado para abordar o tema e validar o conhecimento científico (GIL, 1996). Nesse sentido, as pesquisas podem ser categorizadas quanto à profundidade do estudo em três tipos: exploratória, descritiva e explicativa. Para esta pesquisa, como mencionado anteriormente, optou-se por uma abordagem mais relacionada à pesquisa explicativa, conforme discutido por Koche (1997), as finalidades da pesquisa bibliográfica incluem:

- a) ampliar o conhecimento em uma área específica, permitindo ao pesquisador compreender ou delimitar melhor um problema de pesquisa;
- b) dominar o conhecimento disponível e utilizá-lo como base ou fundamentação para a construção de um modelo teórico explicativo de um problema, auxiliando na formulação e fundamentação de hipóteses;
- c) descrever ou sistematizar o estado da arte, no momento, relacionado a um tema ou problema específico.

Portanto, trata-se de uma pesquisa bibliográfica realizada no nível exploratório, com o objetivo de esclarecer o assunto, apresentar informações precisas e diversas, sem a pretensão de esgotar o tema em questão. Embora existam várias etapas que podem ser definidas para tal pesquisa, não há um padrão estabelecido, pois, como apontado por GIL (2002), os modelos apresentados pelos diferentes autores variam significativamente entre si.

### 3 DESENVOLVIMENTO

A temática da sustentabilidade ambiental tem sido objeto de considerável discussão nos últimos tempos, suscitando, por conseguinte, reflexões acerca da qualidade hídrica. Tal cenário se delinea em virtude da primazia que esse recurso ostenta nos diversos ciclos terrestres. Segundo Brooks (1998), o conceito de desenvolvimento sustentável empresarial abrange três componentes principais: econômico, ambiental e social. Nesse contexto, a preservação da qualidade da água emerge como premissa fundamental para a salvaguarda e a estabilidade dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que regem o planeta.

As propriedades físico-químicas da água não são somente vitais para a preservação do meio ambiente, mas também constituem um recurso indispensável em uma ampla gama de processos industriais. Tal capital natural é constituído por recursos naturais renováveis e não renováveis presentes no planeta, incluindo a água. Segundo Pearce e Warford (1993), a água, enquanto recurso natural, desempenha três funções ambientais fundamentais:

- Fornece insumo ao sistema produtivo;
- Assimila resíduos gerados por diferentes atividades de origem antrópica;
- Provê utilidades estéticas e de lazer.

Além disso, a água é um recurso essencial à vida humana, desempenhando um papel crucial como substrato à vida em diversos ecossistemas. Através do ciclo hidrológico e da circulação atmosférica global, a água é um elemento vital para a regulação climática do planeta. As funções da água como recurso natural e substrato à vida tornam inviável sua substituição por qualquer capital artificial, o que também impede a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável de inspiração neoclássica aos recursos hídricos (NASCIMENTO, BAPTISTA E CORDEIRO NETTO, 1996). Entretanto, observa-se uma lacuna preocupante em relação ao saneamento dos recursos hídricos por parte de certas entidades, resultando na concentração de efluentes que despertam a atenção da sociedade.

Diante da imperatividade do uso da água nos processos naturais e antropológicos, surge a necessidade premente de encontrar mecanismos eficazes

para o tratamento e preservação desse recurso vital. Atualmente, entre os métodos empregados para o tratamento de efluentes, destaca-se o processo de coagulação, floculação e decantação. Tal procedimento constitui uma fase crucial no manejo de efluentes, uma vez que promove a desestabilização das partículas coloidais presentes em um sistema aquoso, preparando-as para posterior remoção nas etapas subsequentes do processo de tratamento.

Considerando a sustentabilidade econômica e os contextos históricos do país, emerge, nos anos 70, a imperiosa necessidade de buscar fontes energéticas alternativas, em resposta à crise do petróleo. Almejando reduzir a dependência desse recurso, o governo brasileiro implementa medidas destinadas a fomentar o desenvolvimento de matrizes energéticas endógenas. Nesse contexto, o etanol tem adquirido crescente relevância no panorama energético nacional.

Com o aumento da produção de etanol nas últimas décadas, houve um crescimento significativo na geração de resíduos provenientes da cana-de-açúcar, o que desencadeou um interesse no desenvolvimento de novas tecnologias para a produção desse biocombustível (HEMALATHA, 2015; CADETE, 2012). Esse cenário tem despertado uma preocupação crescente em relação à destinação apropriada desses materiais. Nesse contexto, abre-se uma oportunidade para a realização de estudos voltados aos processos de coagulação, floculação e decantação em efluentes provenientes de usinas canavieiras. (THOMPSON & MEYER, 2013).

## **4 INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

### **4.1 Caracterização industrial**

A conexão entre a indústria alcooleira e o cultivo de cana-de-açúcar remonta ao período do descobrimento do Brasil, estabelecendo uma relação intrínseca com o país. A vasta extensão territorial e a diversidade climática verificada em nosso território favorecem o cultivo de diversas matérias-primas, incluindo a cana-de-

açúcar. A produção de etanol, por sua vez, tem como principal objetivo a utilização da cana-de-açúcar como fonte de combustível. No entanto, com o avanço do petróleo, a produção de álcool gradualmente perdeu sua prioridade. Os conflitos mundiais iniciais e os consequentes aumentos no preço do barril de petróleo estimularam a implementação do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) em novembro de 1975, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento desse setor (CARVALHO & SILVA, 2018)

#### **4.2 O uso da água no setor sucroalcooleiro**

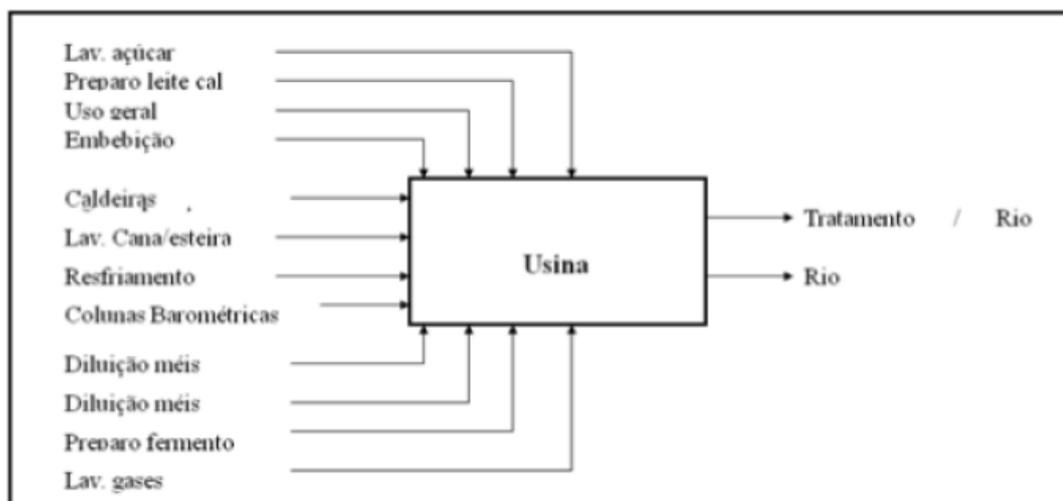
Um aspecto crucial em toda indústria sucroalcooleira é o manejo e a disposição dos efluentes líquidos e sólidos gerados em seus diversos setores, abrangendo desde os mais simples, como os efluentes administrativos (provenientes de banheiros, refeitórios, entre outros), até os mais complexos, originados nos processos industriais.

A cana-de-açúcar desponta como uma fonte de energia elétrica potencialmente significativa por meio da biomassa, considerando o status do Brasil como o principal produtor mundial. O cultivo da cana-de-açúcar remonta ao século XVI, com ênfase inicial na produção de açúcar (ARAÚJO & SANTOS, 2012). Hoje, o setor sucroalcooleiro se destaca entre as indústrias com maior demanda por recursos hídricos para suas atividades, uma condição intrínseca ao seu processo produtivo (MACEDO, 2005). Conforme destacado por Almeida e Santos (2003), o setor sucroalcooleiro-energético é um consumidor intensivo de recursos hídricos, utilizando água tanto para irrigação quanto para o processo de fabricação de seus produtos. Segundo Elia Neto (2009), a água é empregada no processo industrial, derivando-se de duas fontes distintas: a primeira é a própria matéria-prima, a cana-de-açúcar, que compõe aproximadamente 70% a 75% de água; a segunda é proveniente de captação em mananciais para uso nos processos produtivos. É importante ressaltar que a água captada não é exclusivamente destinada aos processos produtivos. Conforme mencionado por Matias (2015), algumas usinas

também utilizam água para irrigação dos canaviais, embora essa prática ainda seja relativamente limitada no país, uma vez que grande parte da cana produzida atualmente não requer irrigação.

Considerando exclusivamente o uso da água nos processos produtivos, sua aplicação é diversificada. Conforme apontado por Wilkie (2000), a água utilizada em uma usina sucroalcooleira pode ser direcionada para várias finalidades, incluindo resfriamento de sistemas fechados, embebição de processos e limpeza geral de equipamentos e áreas. ELIA NETO e SHINTAKU (2009), com base em levantamentos hídricos, estimam uma captação média de 21m<sup>3</sup> de água para cada tonelada de cana processada em uma usina com circuitos totalmente abertos. Por outro lado, a ÚNICA (2013) relata um valor próximo a 22m<sup>3</sup> para cada tonelada de cana processada. De acordo com Leite (2005), a média de água utilizada para processar uma tonelada de cana é de 19m<sup>3</sup>, conforme ilustrado no balanço hídrico da Figura 1.

**FIGURA 01** - Sistema aberto de utilização de água em uma usina sucroalcooleira.



Fonte: LEITE (2005).

A partir da análise de uma produção compartilhada de matéria-prima distribuída igualmente entre etanol e açúcar, observa-se que os valores de utilização de água por tonelada de cana processada, conforme mencionados na literatura, variam, mas mantêm-se como premissas básicas nos cálculos hídricos da indústria

sucroalcooleira. Esses valores, contudo, assumem proporções consideráveis quando comparados à moagem total de uma safra completa no Brasil.

Diante da crise hídrica global atual e da legislação vigente, como a Lei n. 9.433/1997, que estabelece diretrizes para a gestão dos recursos hídricos, torna-se evidente o dever e a responsabilidade de todos os envolvidos na utilização racional desses recursos. Portanto, é imperativo que as usinas de cana-de-açúcar busquem incessantemente reduzir o consumo de água por meio da otimização de processos e do reuso desse recurso vital. Segundo BUZZINI, A. P. et al. (2005), empresas que adotam práticas ambientalmente responsáveis tendem a conquistar maior respeito e fidelidade por parte dos consumidores. Assim, o cuidado com as águas e o meio ambiente não apenas possui implicações econômicas, como também está intrinsecamente ligado à reputação e à imagem da empresa.

Ao longo dos anos, a indústria sucroalcooleira tem investido em tecnologias e processos que visam transformar circuitos abertos de água em circuitos fechados, aumentando assim o reuso da água dentro das usinas. Esse movimento ganhou força a partir do Plano Estadual de Recursos Hídricos de 1990, especialmente no Estado de São Paulo, quando se iniciou a discussão sobre a cobrança pelo uso da água. Como resultado desses esforços, observa-se uma redução significativa no uso de água por tonelada de cana processada nas indústrias sucroalcooleiras. Segundo dados da Secretaria de Meio Ambiente (SMA) de 2017, houve uma redução de 67% na captação de água pela indústria sucroalcooleira no período de 2010 a 2017. Essa redução é resultado de uma combinação de fatores, incluindo métodos de redução, reuso e tratamento da água, todos eles desempenhando um papel crucial nesse progresso.

### **4.3 Caracterização do efluente**

O tratamento e a destinação dos efluentes líquidos e sólidos representam um aspecto crucial em toda indústria sucroalcooleira, abrangendo desde os efluentes

administrativos mais simples, como os provenientes de banheiros e refeitórios, até os mais complexos gerados nos processos industriais.

O vinhoto, também conhecido como vinhaça, figura como o principal subproduto da indústria sucroalcooleira na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, devido ao seu alto volume de geração e ao potencial poluente associado. Este resíduo é originado tanto da destilação e fermentação da cana durante o processo de fabricação do álcool quanto na cristalização do caldo de cana para a produção de açúcar (LUDOVICE, 1997).

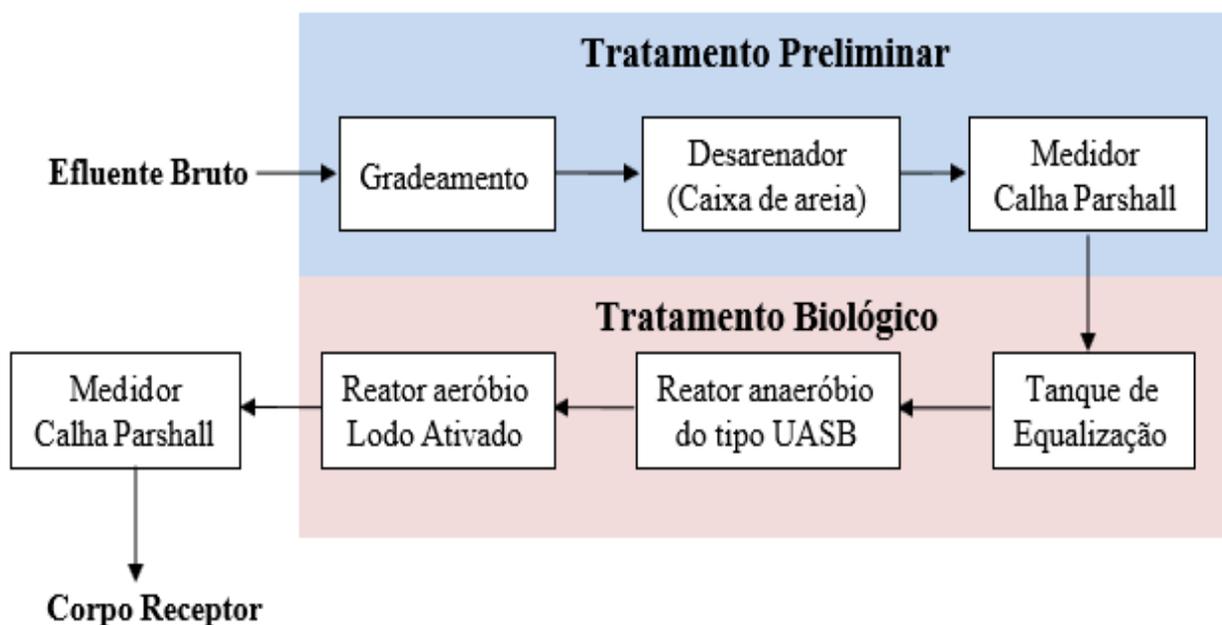
Apesar de apresentar certas variações em sua composição, a vinhaça é geralmente caracterizada por sua riqueza em nutrientes minerais como potássio, cálcio e enxofre, além de conter elevados teores de matéria orgânica, com um índice de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) variando de 20.000 a 35.000 mg/L, e um pH que varia de 3,7 a 5,0 (LUDOVICE, 1997). Sua elevada DBO pode representar uma fonte potencial de contaminação para águas subterrâneas e superficiais, devido à percolação ou ao arraste de altas concentrações de substâncias como amônia, magnésio, alumínio, ferro, manganês, cloreto e matéria orgânica, ou ainda alterar as características do solo (SZMRECSÁNYI, 1994; HASSUDA, REBOUÇAS E CUNHA, 1989).

#### **4.4 Processos de tratamento de efluentes na indústria sucroalcooleira**

O tratamento de efluentes na indústria sucroalcooleira aborda uma etapa biológica intrincada, concentrada na decomposição de matéria orgânica. Este processo pode ser segmentado em duas fases principais:

- Tratamento Preliminar: Essa fase tem como propósito a remoção de resíduos sólidos, incluindo o bagaço de cana residual proveniente da extração presente no efluente. Comumente, é constituída por procedimentos como gradeamento, desarenador e calha Parshall.
- Tratamento Biológico: Nesta etapa, o efluente líquido é submetido a tratamentos anaeróbios e aeróbios, empregando microrganismos para degradar a matéria orgânica, reduzindo assim a carga orgânica e tornando viável a sua liberação no corpo receptor. Esta fase inclui procedimentos como equalização e tratamentos anaeróbios e aeróbios.

**Figura 2 - Fluxograma do tratamento de efluentes da indústria sucroalcooleira.**



Fonte: SILVEIRA, (2010)

## **4.5 Descrição pormenorizada de todas as fases do sistema de tratamento dos efluentes na indústria de fabricação de etanol.**

### **4.5.1 Tratamento Preliminar**

- **Gradeamento**

O gradeamento desempenha uma função primordial na separação de materiais grosseiros em suspensão e na proteção das bombas e tubulações utilizadas no transporte dos efluentes. As grades podem ser fabricadas em ferro ou aço, variando de acordo com a natureza corrosiva do efluente, e o espaçamento entre as barras geralmente oscila entre 0,5 e 2 cm. O gradeamento é uma operação essencial para a remoção de materiais flutuantes e de matéria em suspensão com dimensões superiores às aberturas das grades. De acordo com Jordão e Pessoa (2005), as principais características da unidade de remoção de sólidos grosseiros incluem:

- **Espaçamento das barras:** As grades são classificadas em grosseiras, médias e finas, com a possibilidade de incluir grades ultrafinas para remover sólidos menores.
- **Dimensões das barras:** Devem ser adequadas ao tipo de esgoto tratado. As barras precisam ser robustas o suficiente para suportar os impactos e esforços dos procedimentos operacionais.
- **Inclinação das barras:** As barras podem ser instaladas verticalmente ou inclinadas. Grades manuais geralmente são inclinadas para facilitar a limpeza, variando entre 30° a 45° para grades grosseiras e 45° a 60° para grades médias e finas. Inclinações menores que 30° resultam em extensões longas do canal da grade, enquanto inclinações maiores que 60° são usadas para grades com limpeza mecanizada contínua, para evitar que o material retido se desprenda e retorne ao canal durante a limpeza.
- **Forma das barras:** As barras são geralmente retas, especialmente quando o espaçamento é pequeno, mas podem ser curvas com limpeza mecanizada

por ancinho giratório. As barras podem ter seções retangulares, arredondadas ou circulares, influenciando diretamente na perda de carga do sistema.

- Grades Simples: São aplicadas em situações em que o volume de sólidos a ser removido não é considerável, e a limpeza é realizada manualmente.
- Grades Mecanizadas: Neste caso, os detritos são retirados através de um mecanismo de rastreamento, que se movimenta ao longo de trilhos, possibilitando uma limpeza automatizada.

Esta operação é fundamental para garantir a eficiência do tratamento de esgotos, removendo sólidos que poderiam danificar equipamentos ou comprometer o processo de tratamento subsequente. Existem dois tipos de grades amplamente empregadas:

- **Desarenador**

Além dos sólidos grosseiros, os efluentes podem conter partículas de areia e terra, especialmente durante os períodos chuvosos, que necessitam ser removidas. Essa separação é crucial para evitar danos às estruturas e obstruções nas tubulações, bem como interferências adversas nos processos biológicos.

Para atender a essas demandas, após o processo de gradeamento, é empregado um desarenador composto por dois canais paralelos. Essa configuração permite que as partículas sedimentem durante o trajeto ao longo dos canais. Vale ressaltar que os dois canais operam de forma independente, garantindo que enquanto um está em funcionamento, o outro está passando por manutenção e limpeza.

A unidade de remoção de areia, conhecida como caixa de areia ou desarenador, é composta por dispositivos de retenção e remoção. Os dispositivos de retenção controlam o escoamento do esgoto a velocidades que permitam a separação do material denso que se deseja remover, armazenando-o em um compartimento apropriado para posterior remoção. A velocidade horizontal do escoamento é geralmente mantida em torno de 0,30 m/s. Velocidades acima deste valor resultam no arraste de partículas menores do que o desejado. Em contrapartida, uma velocidade em torno de 0,15 m/s causará a sedimentação da

matéria orgânica, resultando em odores desagradáveis devido à sua decomposição (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

- **Calha Parshall**

As calhas Parshall são dispositivos utilizados para medir a vazão, os quais, por meio de estrangulamentos e ressaltos, estabelecem uma relação entre a vazão do fluxo e a altura da lâmina d'água em uma seção vertical específica a montante. Essas calhas são caracterizadas por apresentarem baixa perda de carga e proporcionarem uma leitura precisa das vazões. (Brazilian, 2021)

- **Tanque de Equalização**

O efluente, após atravessar as etapas precedentes, é direcionado para um tanque de equalização, onde é submetido a um processo de homogeneização completo. A incorporação desse tanque é fundamentada por diversas razões:

- Minimização de problemas operacionais decorrentes das flutuações nas características do efluente;
- Aperfeiçoamento do processo de tratamento biológico;
- Mitigação de impactos causados por sobrecargas no sistema;
- Diluição de substâncias inibidoras presentes no efluente;
- Estabilização do pH;
- Aprimoramento da qualidade do efluente tratado.

Portanto, o efluente é preparado de maneira apropriada para ser submetido ao tratamento biológico.

#### **4.5.2 Tratamento Biológico**

A característica proeminente do efluente proveniente da indústria de produção de etanol é a elevada carga orgânica, oscilando entre 30.000 e 40.000 mg/l. Para mitigar essa carga e permitir o lançamento adequado do efluente no corpo receptor,

são empregados tratamentos biológicos que visam à degradação da matéria orgânica por meio da ação de microrganismos (SABBAG, RODRIGUES E PICCHI, 2006).

O tratamento biológico compreende a combinação do tratamento anaeróbio, seguido pelo tratamento aeróbio, utilizando-se de biodigestores do tipo UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente de Manta de Lodo) e tratamento por lodo ativado, respectivamente.

As principais vantagens desse arranjo biológico incluem:

- Requerimento de espaço reduzido para construção;
- Operação simplificada;
- Custo de implantação e operação reduzido;
- Baixo impacto em ambientes urbanos;
- Geração reduzida de lodo;
- Produção de biogás.

#### **4.5.3 Tratamento Anaeróbio – Biodigestor UASB**

No tratamento anaeróbio, ocorre a biodigestão anaeróbia, processo que envolve a fermentação de resíduos contendo matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio, resultando na conversão desses resíduos em compostos mais simples e facilmente degradáveis por bactérias, além da produção de biogás, composto predominantemente por metano ( $\text{CH}_4$ ) em cerca de 60% e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em aproximadamente 40%. Este procedimento ocorre em biodigestores do tipo UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Leito de Lodo), cuja representação esquemática está ilustrada na Figura 2.

Esses biodigestores são equipados com um separador trifásico que facilita a separação do efluente líquido, do biogás e do lodo biológico contendo microrganismos. Enquanto o líquido, após a separação, é direcionado através das calhas dentadas para a próxima fase do tratamento, o lodo, por ser mais denso, se deposita no fundo do reator, e o biogás é coletado através de um sistema de cobertura instalado na superfície dos reatores.

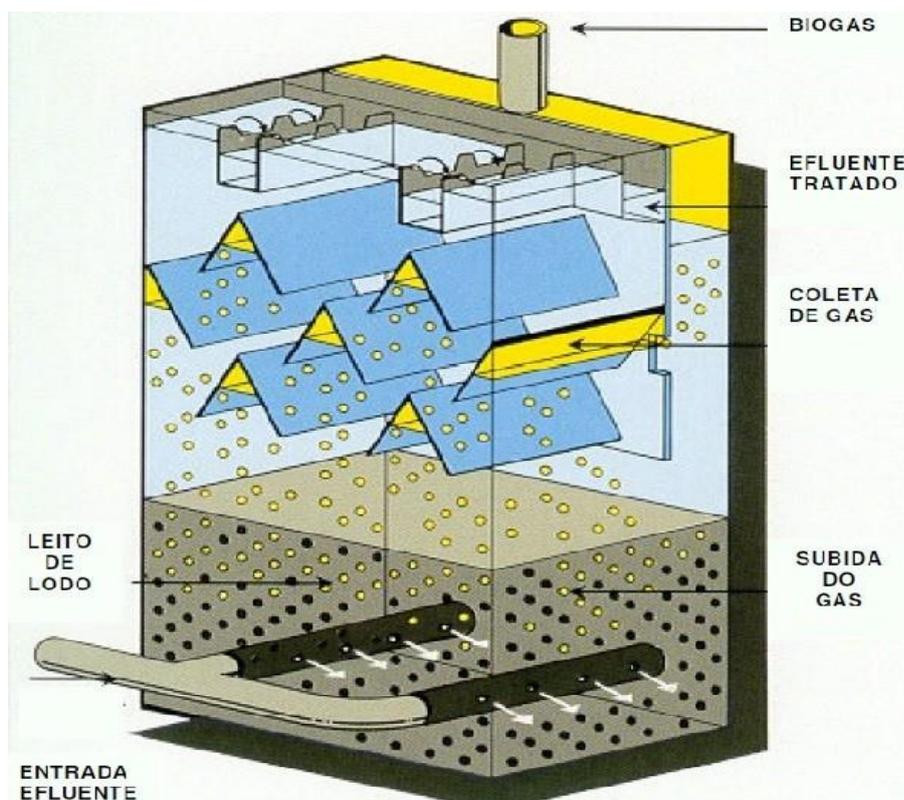
Os parâmetros que regulam o processo de biodigestão anaeróbia incluem o tempo de retenção hidráulica, a carga orgânica e a remoção de matéria orgânica. O tempo de retenção hidráulica é calculado pela relação  $TRH = V / Q$ , onde:

TRH = tempo de retenção hidráulica, em dias,

V = volume do reator, em  $m^3$ ,

Q = vazão hidráulica, em  $m^3/dia$ .

**Figura 3 - Esquema de um reator biológico anaeróbio do tipo UASB**



Fonte: (LAMO E DIAS, 2000)

Quanto menor o tempo de retenção hidráulica necessário para o tratamento do efluente, mais vantajoso é o processo, pois isso implica em volumes menores de equipamentos requeridos. A carga orgânica e a remoção de matéria orgânica são consideradas os parâmetros mais relevantes para avaliar o desempenho de um sistema. A quantidade de matéria orgânica presente em um substrato é comumente quantificada pelo valor de sua demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ou sua demanda química de oxigênio (DQO), que indicam a quantidade de oxigênio necessária para a degradação biológica e química, respectivamente, da matéria orgânica presente no substrato. (SILVEIRA, 2010)

Para fins legais, os órgãos ambientais geralmente utilizam a determinação de DBO; para monitoramento operacional, devido à sua análise mais rápida, a DQO é preferida. Ambas são expressas em kg DQO (ou DBO) por m<sup>3</sup> por dia. A remoção de matéria orgânica corresponde à diferença no teor de DQO ou DBO antes e após o tratamento. As resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 430/2011), que complementa e altera a resolução CONAMA 357/2015, dispõem sobre as circunstâncias e critérios de emissão de efluentes em corpos d'água receptores no âmbito nacional, e não fazem referência ao parâmetro de Demanda Química de Oxigênio (DQO), abordando apenas a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). No entanto, a legislação do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA 355/2017) do estado do Rio Grande do Sul estabelece limites máximos de DQO em função da vazão de efluentes líquidos.

Outro parâmetro relevante é a produção de biogás, que normalmente varia entre 8 a 10 litros de biogás por litro de vinhoto, dependendo de sua origem e da eficiência do sistema anaeróbio (SABBAG, RODRIGUES e PICCHI, 2006).

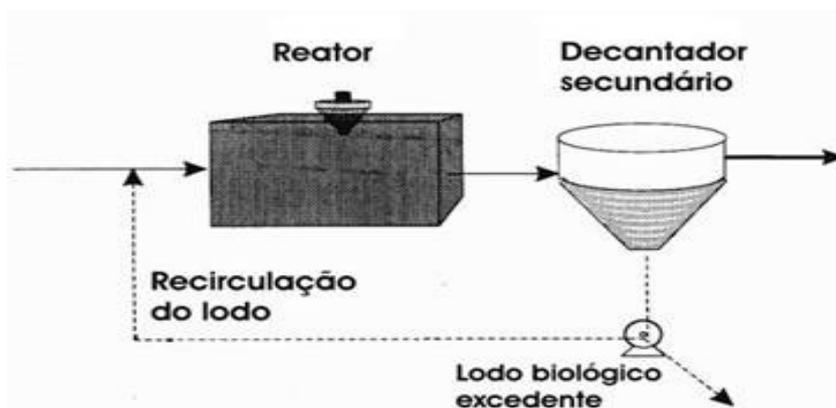
#### **4.5.4 Tratamento Aeróbio – Lodo Ativado**

Uma das limitações do tratamento anaeróbio em comparação com o tratamento aeróbio é a necessidade de um tratamento subsequente, já que cerca de 10 a 15% da matéria orgânica original do efluente permanece após o tratamento

anaeróbio. Para assegurar uma remoção mais eficaz dessa matéria orgânica não degradada pelos microrganismos anaeróbios, é essencial um tratamento que envolva microrganismos capazes de sobreviver em ambientes com presença de oxigênio. Portanto, o método mais comum é o tratamento aeróbio por meio do processo de lodo ativado.

O tratamento por lodo ativado, ilustrado esquematicamente na Figura 4, consiste em um processo biológico de tratamento de efluentes projetado para eliminar poluentes orgânicos biodegradáveis. Esse processo se baseia na oxidação da matéria orgânica em reatores biológicos seguida pela decantação. O lodo decantado, também conhecido como lodo ativado, é recirculado de volta ao reator biológico, onde, em uma fase endógena, é misturado ao efluente bruto rico em poluentes orgânicos, aumentando assim a eficiência do processo. (VON SPERLING, 2007)

**Figura 4- Desenho esquemático do tratamento aeróbio por lodo ativado**



Fonte: (VON SPERLING, 2007).

O sistema representado na Figura 4 compreende um tanque de aeração (reator biológico e sistema de aeração) e um decantador secundário. O excesso de lodo ativado gerado no processo é encaminhado para uma etapa adicional de estabilização (tratamento do lodo), pois ainda apresenta um teor significativo de matéria orgânica.

O processo de lodos ativados consiste em fomentar o crescimento de uma cultura microbológica na forma de flocos (lodos ativados) em um tanque de aeração, alimentado pela carga orgânica presente no efluente a ser tratado.

Neste tanque, a aeração tem a função de fornecer oxigênio aos microrganismos, impedindo a sedimentação dos flocos bacterianos no fundo do reator e garantindo sua homogênea mistura com o efluente, formando o chamado "licor". O oxigênio necessário para o crescimento biológico é introduzido no licor por meio de um sistema de aeração mecânica, utilizando ar comprimido, ou pela injeção de oxigênio puro.

O licor é continuamente direcionado para um decantador secundário, onde ocorre a separação do efluente tratado do lodo. O lodo é recirculado ao tanque de aeração para manter a concentração de micro-organismos proporcional à carga orgânica do efluente.

O sobrenadante resultante do decantador é o efluente tratado, pronto para ser descartado no corpo receptor. O excesso de lodo, devido ao crescimento biológico, é removido do sistema quando a concentração do licor excede os valores projetados. Esse lodo pode passar por processos de espessamento e desidratação, sendo utilizado na agricultura.

As funções dos tanques e acessórios neste sistema são as seguintes:

- Tanque de aeração: promover o crescimento de uma colônia microbiológica (biomassa) que irá consumir a matéria orgânica do efluente;
- Aeradores, compressores ou sistema de oxigênio puro: fornecer oxigênio para manter uma concentração adequada (1,5 - 2,0 mg/l) de oxigênio dissolvido, essencial para o metabolismo dos micro-organismos aeróbios;
- Decantador secundário: separar a biomassa que consumiu a matéria orgânica do efluente, permitindo que o sobrenadante seja descartado como efluente tratado, com sua carga orgânica reduzida e livre de biomassa;
- Bombas de recirculação: retornar a biomassa ao tanque de aeração para continuar o processo de depuração; como o crescimento da biomassa é contínuo, é necessário fazer descartes periódicos de quantidades definidas da mesma.

## 5 CONCLUSÃO

Concluindo, ao examinar os sistemas de tratamento de efluentes na indústria sucroalcooleira, observa-se uma lacuna em relação à implementação de práticas sustentáveis, diferentemente do que ocorre em setores como a siderurgia. Enquanto empresas siderúrgicas, como a Gerdau Riograndense, já alcançaram um alto nível de reutilização de água, ultrapassando os 90%, na indústria sucroalcooleira, essa abordagem ainda não está tão difundida.

Portanto, este estudo também explorou alternativas para aprimorar os processos nesses setores, como o aproveitamento de efluentes tratados e a instalação de torres de resfriamento para formar circuitos fechados com determinados equipamentos. Além disso, foram discutidas tecnologias específicas para lidar com os desafios dos efluentes, como a concentração e estabilização do vinhoto na indústria sucroalcooleira, visando sua utilização como fertilizante sem comprometer a qualidade do solo.

Dessa forma, o estudo oferece uma visão abrangente das particularidades dos efluentes líquidos na indústria sucroalcooleira, destacando a importância de adotar práticas sustentáveis e soluções inovadoras para enfrentar os desafios ambientais e promover o desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C. S. et al. **Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 5, p.1441-1448, 2008
- ALMEIDA, R. G. **Aspectos legais para a água de reuso.** Revista Vértices, v. 13, n. 2, p.31-43, 2011. Campos de Goytacazes. 2011 Disponível em: <http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/1809-2667.20110012/701>. Acesso em: 24/05/2024.
- ARAÚJO, E. S.; SANTOS, J. A. P. **O desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no Brasil e sua relevância na economia nacional.** Facider, Colíder, v. 4, n. 34342, p.1-16, 2012.
- AZEVEDO, MILENA. S.; SANTOS, RAQUEL. V. C.; MAGALHÃES, THAÍS V. **Produção de Etanol no Brasil.** Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v. 2, n. 1, p. 151-154, 2012.
- BARDIN, J. L'Ére logique, Paris: Robert Laffont, 1977.
- BERRY, M. A.; RONDINELLI, D. A. **Proactive corporate environmental management: a new industrial revolution.** The Academy of Management Executive, v. 12, n. 2, p. 38-50, 1998.
- BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Resolução nº 357. Brasília, DF, 17 mar. 2005.
- BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Resolução nº 430. Brasília, DF, 13 mai. 2011.
- BRASIL. **Conselho Estadual do Meio Ambiente-CONSEMA.** Resolução nº 355. Porto Alegre, RS, 13 jul. 2017.
- BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, Curitiba, v.7, n.4, p.37278-37292 apr 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/issue/view/127> Acesso em: 24/05/2024
- BROOKS, B. (1998) - **“Strategies for Sustainable Development”**, paper SPE 46701, Environmental Enterprises Assistance Fund, apresentado no SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil Gas and Production, Caracas, Venezuela, 7-10 June 1998.
- BUZZINI, A. P. et al. **Aplicação da oxidação eletroquímica como pós-tratamento de um reator uasb tratando água residuária de indústria de pasta celulósica.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005. Campo Grande.

CADETE, R.M., et al (2012) **Diversidade e Caracterização Fisiológica de Leveduras Fermentadoras de D-Xilose Isoladas da Floresta Amazônica Brasileira**. PLoS ONE 7(8): E43135.

CAMPOS, R., SENA; M. E. R.; SIMÕES, C. L. N. **Estudo da viabilidade econômica da concentração de vinhoto através de osmose inversa**. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2004. Florianópolis. Disponível em: [Estudo da viabilidade econômica da concentração de vinhoto através de osmose inversa \(abepro.org.br\)](#) Acesso em 14 nov. 2023.

CAREGNATO, Sônia Elisa. **Google acadêmico como ferramenta para os estudos de citações**: Avaliação da Precisão das Buscas por Autor. Ponto de Acesso, Salvador, v. 5, n. 3, p. 72-86, dez 201.

CARVALHO, C. P. **Novas Estratégias Competitivas para o Setor Sucroalcooleiro**: o Caso de Alagoas. Revista Política Agrícola, Ano IX, n. 01, pp. 14-26, jan.-mar. 2000.

CARVALHO, C. C.; SILVA, C. L.; **Redução da quantidade de vinhaça através da evaporação**. Fórum Ambiental de Alta Paulista, v. 6, 2010.  
[https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNSP\\_60197e67420e29567752086d89e25749](https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNSP_60197e67420e29567752086d89e25749). Acesso em: 22 nov. 2023.

CHAVEZ-RODRIGUEZ, M. F.; MOSQUEIRA-SALAZAR, K. J.; ENSINAS, A.V.; NEBRA, S. A. **Water reuse and recycling according to stream qualities in sugar-ethanol plants**. Energy Sustain. Dev., v. 17, p. 546-554, 2013.

ELIA NETO, A.; SHINTAKU, A. **Usos e Reusos de Água e Geração de Efluentes**. In: ANA. Agência Nacional de Águas. Manual de Conservação e Reuso de Água na Agroindústria Sucroenergética. Brasília: ANA, 2009.

GEMTOS, T. A.; Chouliaras, N.; Marakis, S. **Vinasse rate, time of application and compaction effect on soil properties and durum wheat crop**. Journal of Agriculture and Engineering Research, v.73, n.3, p.283-296, 1999.

GLEICK, P. H. **The world's water**. 2000. Report on Freshwater Resources. Island Press, 2000. 315p

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008. ISBN 978-85-224-5142-5.

GONZALES-BENITO J.; GONZALES-BENITO O. **Environmental proactivity and business performance: an empirical analysis**. Omega The International Journal of Management v. 33, p. 1–15, 2005.

GUSTAVO ECHENIQUE. **Sistemas de tratamento de efluentes industriais**. 2010, trabalho de conclusão em engenharia química – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

HASSUDA, S.; REBOUÇAS, A. C.; CUNHA, R. C. A. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru**. Revista Instituto Geológico. Volume 11. Nº 2. 1990.USP. São Paulo. Disponível em: [Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru \(usp.br\)](#) Acesso em 05 Fev. 2024.

HEERDT, Mauri Luiz; LEONEL, Vilson. **Metodologia científica e da pesquisa**: livro didático.5. Ed. rev. e atual. Palhoça: Unisul Virtual, 2007. 266 p. ISBN 978-85-7817-029-5.

HEMALATHA, R.; **Comparative study of bioethanol production from agricultural waste materials using Saccharomyces cerevisiae (MTCC 173) and Zymomonas mobilis (MTCC 2427) by enzymatic hydrolysis process**. Int J Microbiol Res. 2015; 6:74-78. 2015.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4 ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005. 932 p.

KOCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e prática da pesquisa**.15. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 1997.

LAMO, P.; DIAS, N. **Reatores anaeróbios de leito expandido para o tratamento de efluentes das indústrias de bebidas**. 2000. DEDINI Indústrias de Base. Campinas. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35193/000792974.pdf> Acesso em 05 março. 2024.

LEITE, H. T. C. **Cobrança pelo uso da água e redução deste recurso natural no setor sucroalcooleiro**. SIMPÓSIO DA UNIÃO NACIONAL DE BIOENERGIA, 2005.

LUDOVICE, M. T. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1997. Dissertação de Mestrado. UNICAMP. Campinas. Disponível em: [Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em... - BV FAPESP](#). Acesso em 05 abr. 2024.

MATIAS, A. **Geopolítica do Etanol e do Petróleo**. 2015. Disponível em: <https://augustomatias.jusbrasil.com.br/artigos/260972981/geopolitica-do-etanol-e-do-petroleo>. Acesso em: 14 nov 2023.

NASCIMENTO, N.O., BAPTISTA, M.B., VON SPERLING, E. **Problemas de Inserção Ambiental de Bacias de Detenção em Meio Urbano**. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Rio de Janeiro, – anais eletrônicos. 1999.

PEARCE, D.W., WARFORD, J.J. **World Without End: economics, environment, and Sustainable development**, Oxford: Oxford University Press, 440 p. 1993  
SABBAG, M. G.; RODRIGUES, N. M.; PICCHI, A. R. **Tratamento de Efluentes de Usinas do Setor Sucroalcooleiro**. 2006.

SCHUCHARDT , ULF; MARCELO L.; GONÇALVES , ADILSON R.; **A Indústria Petroquímica no Próximo Século: Como Substituir o Petróleo Como Matéria Prima.** Quim. Nova , vol. 24, Nº pág. 247 251, 2001.

SCHMIDHEINY, S. **Mudando o Rumo: Uma Perspectiva Empresarial Global sobre Desenvolvimento e Meio ambiente.** Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1992. 372p.

SIQUEIRA, MARIAE. T. **Estudo da Utilização de Coagulantes Naturais e 61 Químicos em uma Estação de Tratamento de Água Piloto (ETA-Piloto).**2009. 91p. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) –Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

SIQUEIRA, MARIAE. T. **Estudo da Utilização de Coagulantes Naturais e 61 Químicos em uma Estação de Tratamento de Água Piloto (ETA-Piloto).**2009. 91p. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) –Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

SZMRECSÁNYI, T. **Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canvieira no Estado de São Paulo.** 1994. Revista Informações Econômicas. Vol. 24, nº 10, outubro 1994. São Paulo. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=1148>> Acesso em 05 fev. 2024.

TEIXEIRA, MÔNICA. **Brasil Deixa de Ser Autossuficiente na Produção de Petróleo.** In: Bom Dia Brasil. Disponível em: <[http://g1.globo.com/bom dia brasil/noticia/2013/04/brasil deixa de ser autossuficiente na producao de petroleo.html](http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2013/04/brasil-deixa-de-ser-autossuficiente-na-producao-de-petroleo.html) > Acesso em: 07 fev.2024

THEODORO, JOSEANE. D. **Estudo Dos Mecanismos de Coagulação/Floculação Para a Obtenção de Água de Abastecimento Para o Consumo Humano.** 2012. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) –Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

THOMPSON, W.; MEYER, S. **Second generation biofuels and food crops: Coproducts or competitors.** Glob Food Secur. v. 2, p. 89-96, 2013.

UNICA. **Produção nacional de álcool e área plantada de cana-de-açúcar no Brasil.** Disponível na página: <http://www.unica.com.br>. Acesso em 23 de Novembro de 2023.

UNICA. **União da Indústria da Cana-de-Açúcar. FNS – Gestão dos Recursos Hídricos na Agroindústria Canvieira.** 2013. Disponível em: <https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Gestao-dos-Recursos-Hidricos.pdf>. Acesso em: 27 fev 2024.

VON SPERLING, M. **Biological Wastewater Treatment: Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors** – Volume 5. Londres: IWA Publishing, 2007.

WILKIE, A. C.; RIEDESEL, K. J.; OWENS, J. M. **Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks.** Biomass and Bioenergy, v. 19, p. 63-102, 2000.