



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LUCAS DOS SANTOS MOURA

**LEVANTAMENTO DE CARGA ORGÂNICA, REDOX, TEMPERATURA E PH DOS
PRINCIPAIS EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS DO CEARÁ.**

FORTALEZA

2023

LUCAS DOS SANTOS MOURA

**LEVANTAMENTO DE CARGA ORGÂNICA, REDOX, TEMPERATURA E PH DOS
PRINCIPAIS EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS DO CEARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Larissa Morais Ribeiro da Silva.

Coorientadora: Ma. Sádwa Fernandes Ribeiro

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M8871 Moura, Lucas dos Santos.

Levantamento de carga orgânica, redox, temperatura e pH dos principais efluentes de uma indústria de bebidas do Ceará / Lucas dos Santos Moura. – 2023.

72 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Larissa Morais Ribeiro da Silva.

Coorientação: Profa. Ma. Sádwa Fernandes Ribeiro.

1. Efluentes. 2. Mapeamento. 3. Carga orgânica. 4. Bebidas. I. Título.

CDD 664

LUCAS DOS SANTOS MOURA

**LEVANTAMENTO DE CARGA ORGÂNICA, REDOX, TEMPERATURA E PH DOS
PRINCIPAIS EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS DO CEARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Larissa Moraes Ribeiro da Silva (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Sádwa Fernandes (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Julio Cesar Barbosa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Esp. Mário César Ferreira
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela concessão da vida e saúde para trilhar meus objetivos e sempre me acompanhar.

À minha mãe, Maria Vilanir, por ser minha base e apoio em todos os meus caminhos, todas as conquistas da minha vida até hoje foram inspiradas nela.

Ao meu tio José Francisco por sempre se fazer presente, humilde e apoiador na minha vida.

Ao meu irmão Davi Ribeiro, expresso minha profunda gratidão por seu acolhimento desde o primeiro dia em que nos conhecemos. Sua presença constante, apoio incondicional e papel como fonte de refúgio nos momentos mais desafiadores são tesouros que guardarei eternamente. Agradeço a Janaína Carvalho, cuja ajuda diária facilita minha rotina de trabalho e estudo, além do apoio moral e emocional constante. À Dinha Ribeiro por ter dado apoio a todas as decisões e me acolher junto a sua família. Cada um de vocês permanecerá em minhas orações, e as lembranças do que fizeram por mim serão eternamente valorizadas.

Às minhas tias Verinha e Nena pelo amor e afeto ofertado em toda minha vida. E a aos meus demais familiares, por sempre acreditarem em mim e me apoiarem em todos os meus projetos e iniciativas.

À EEEP EDSON QUEIROZ pela formação cidadã e seu corpo de professores da base comum e técnica no qual me ensinaram a sonhar.

À Sádwa Fernandes por se fazer irmã desde o ingresso no curso de engenharia de alimentos, apoiando, ensinando e comemorando cada conquista junto a mim acreditando no potencial que até eu mesmo desacreditava.

Ao meu parceiro e irmão, Mauro Júnior, expresso minha profunda gratidão pela assistência durante minha retomada acadêmica. Sua presença constante e apoio incondicional eliminaram um dos meus maiores receios ao retornar à UFC, proporcionando um suporte essencial que tornou minha jornada no curso significativamente mais leve.

Aos amigos que me cativaram na Universidade e que levarei para a vida e serei eternamente grato, principalmente os que fizeram e fazem parte do nosso caldeirão. Sem vocês, meus dias e noites com certeza seriam mais duros para prosseguir. Hoje eu levo comigo a consideração por todos vocês: Willian Araújo, Samara Patrício, Thalita Cavalcante, Alana Uchôa, Carlos Alberto, Carlos Almeida, Davi Portela, Eliscia Lima, Larissa Moreira, Lucas Moura, Mariana Gondim, Mateus Leal, Matheus Calixto, Monalisa Varela, Nhaiara Monteiro, Rayanne Menezes e Vanessa Alencar. À Andressa Barroso e ao Bruno Castro que sempre

estiveram dispostos a ajudar e brindando a amizade dentro e fora da universidade. Obrigado por todos os momentos.

Ao Junior Ribeiro, expressei meu sincero agradecimento pelo apoio e dedicação fundamentais para o desenvolvimento bem-sucedido deste trabalho. À Uyara Mary, agradeço por tornar a jornada de trabalho mais satisfatória e alegre. Ao Fabiano Costa, meu reconhecimento pelo valioso conhecimento compartilhado e pela paciência ao ensinar os princípios do meio ambiente. Agradeço também ao Lucas Queiroz pelas oportunidades profissionais na área ambiental. À Camilla Benício por se fazer par no meu desenvolvimento profissional e pela amizade. Ao Guilherme Menezes por tudo que me ensinou e apoio, sem dúvida é um dos meus grandes exemplos de profissionais que quero seguir. Não posso deixar de mencionar o corpo técnico do setor de meio ambiente da indústria estudada, cuja colaboração e suporte foram peças fundamentais para o meu desenvolvimento profissional. Um agradecimento especial a Igor Lúcio, Maycon Mascena, Francisco César, Cleiton Maia, Josélio Ferreira, Hamilton Marinho, Cauby, David Sousa e Victor Santos. Suas contribuições foram essenciais na viabilização e execução deste trabalho.

Ao meu amigo Mário César, que transcendeu a amizade para se tornar um irmão, quero expressar minha profunda gratidão. Além dos momentos descontraídos de pagodes, rolês e brejas, sua presença foi marcada pelo apoio emocional e pelo companheirismo, tanto dentro quanto fora do ambiente de trabalho. Sem sombra de dúvidas, considero essa amizade como um dos presentes mais valiosos que o estágio me proporcionou.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia de Alimentos, por contribuírem na minha formação profissional e intelectual.

Gratidão a minha eterna orientadora Professora Dra. Larissa Moraes, minha grande inspiração no ramo científico-acadêmico.

À todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, cada um de vocês acrescentaram algo no meu perfil profissional, o que sou hoje é a personificação da gratidão!

RESUMO

Os resíduos líquidos provenientes das indústrias de produção de bebidas destacam-se pela alta concentração de açúcar, pH e redox muito variáveis, além de apresentarem uma considerável carga orgânica, medida por parâmetros como Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Diante desta complexidade, é indispensável submeter os efluentes gerados na cadeia produtiva a um tratamento intensivo e adequado antes de seu retorno ao meio ambiente. Com base nestas informações, o presente estudo tem como objetivo realizar o levantamento e mapeamento dos principais geradores de carga orgânica de uma indústria de bebidas no estado do Ceará especializada em cerveja e refrigerante. Os principais descartes foram identificados após o acompanhamento de toda a cadeia produtiva, resultando em 62 fontes geradoras de efluente de impacto para a Estação de Tratamento da unidade estudada. A partir dos pontos identificados, amostras foram coletadas e encaminhadas ao laboratório para a realização das análises de DQO, pH, temperatura e potencial de oxirredução. Os resultados mostraram uma grande variabilidade nas características de pH, redox e temperatura de cada efluente, de acordo com a origem de emissão. Além disso, os dados levantados indicaram que a indústria estudada tem capacidade de gerar 22.554,13 kgDQO/dia. Dessa geração total, a Unidade de Gerenciamento com maior valor aportado é o Processo Cerveja, com 64% da carga, sendo a sala de brassagem a sub-área com maior impacto dentro do Processo Cerveja. Dada a heterogeneidade dos descartes avaliados, é possível concluir que é indispensável uma completa e adequada equalização de todos os efluentes para posteriormente adotar o melhor e mais eficiente tratamento na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da unidade com capacidade mínima de remoção de 22.554,13 kgDQO/dia, além de tomar medidas de controle, contenção e redução na área de Processo Cerveja, que se mostrou como o maior impacto neste estudo.

Palavras-chave: efluentes; mapeamento; carga orgânica; bebidas.

ABSTRACT

The liquid waste from beverage production industries stands out for its high concentration of sugar, variable pH, and redox, in addition to having a considerable organic load, measured by parameters such as Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD). Given this complexity, it is essential to subject the effluents generated in the production chain to intensive and appropriate treatment before returning them to the environment. Based on this information, the present study aims to survey and map the main sources of organic load in a beverage industry in the state of Ceará, specialized in beer and soft drinks. The main discharges were identified after monitoring the entire production chain, resulting in 62 sources generating impactful effluent for the Treatment Station of the studied unit. From the identified points, samples were collected and sent to the laboratory for COD, pH, temperature, and redox potential analyses. The results showed a significant variability in the pH, redox, and temperature characteristics of each effluent, according to the emission source. Additionally, the data collected indicate that the studied industry has the capacity to generate 22,554.13 kgCOD/day. Of this total generation, the Management Unit with the highest value contributed is the Beer Process, with 64% of the load, and the brewhouse is the sub-area with the greatest impact within the Beer Process. Given the heterogeneity of the evaluated discharges, it can be concluded that a complete and adequate equalization of all effluents is essential before adopting the best and most efficient treatment at the Effluent Treatment Station (BTS) of the unit with a minimum removal capacity of 22,554.13 kgCOD/day. Additionally, measures of control, containment, and reduction in the Beer Process area, which showed the greatest impact in this study, should be taken.

Keywords: effluents; mapping; organic load; beverages.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** DQO, Volume e carga orgânica dos descartes da Sala de Brassagem
- Tabela 2 :** Carga Orgânica e volume total gerado na Brassagem.
- Tabela 3:** Redox, temperatura e pH dos descartes da sala de Brassagem
- Tabela 4:** DQO, Volume e carga orgânica dos descartes das Adegas de Fermentação.
- Tabela 5 :** Carga Orgânica e volume total gerado na adega de fermentação
- Tabela 6:** Redox, Temperatura e pH dos descartes da Sala de Adegas de Fermentação
- Tabela 7:** DQO, Volume e carga orgânica dos descartes da sala de Filtração
- Tabela 8:** Carga orgânica e volume total gerado na Adegas de filtração.
- Tabela 9:** Redox, Temperatura e pH dos descartes da sala de Filtração
- Tabela 10:** DQO, Volume e carga orgânica dos descartes da Xaroparia.
- Tabela 11:** Carga Orgânica e volume total gerado na xaroparia.
- Tabela 12 :** Redox, Temperatura e Temperatura dos descartes da xaroparia.
- Tabela 13:** Carga orgânica das linhas de envase de refrigerante.
- Tabela 14:.** Carga orgânica e Volume total por linha.
- Tabela 15:** Redox, Temperatura e pH dos descartes das linhas de envase de refrigerante.
- Tabela 16:** DQO, Volume e Carga orgânica dos descartes do Envase de cerveja 600 mL
- Tabela 17:** Carga Orgânica e volume total gerado no Envase de Volumes de 600 mL
- Tabela 18:** Redox, Temperatura e pH dos descartes da linha de envase de cerveja 600 mL.
- Tabela 19:** Carga Orgânica gerada no envase de cervejas de volume de 300 mL.
- Tabela 20 :** Carga Orgânica e volume total do envase de cerveja de 300 mL.
- Tabela 21:** Redox, Temperatura e pH dos descartes da linha de envase de cerveja 300 mL
- Tabela 22.** Carga orgânica dos descartes do envase de latas.
- Tabela 23:** Carga orgânica e volume total da linha de envase em latas
- Tabela 24:** Redox, Temperatura e pH dos descartes da linha de envase de cerveja em latas.
- Tabela 25.** Carga orgânica dos descartes da Utilidades
- Tabela 26:** Carga orgânica e volume total dos descartes gerados na Utilidades
- Tabela 27:** Redox, Temperatura e pH dos descartes da Utilidades.

LISTA DE FIGURAS

Imagem 1: Fluxograma da área de Processo cerveja

Imagem 2: Fluxograma de processo da Xaroparia

Imagem 3: Fluxograma de processo das linhas de envase.

Imagem 4: Termodigestor

Imagem 5: Espectrofotômetro

Imagem 6 : pHmetro Metrohm 827

Imagem 7: Termômetro digital

Imagem 8: Equipamento de medição do Redox.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Redox dos efluentes coletados nas áreas Produtivas da Unidade Industrial

Gráfico 2: Valores de pH dos efluentes coletados nas áreas produtivas da unidade industrial

Gráfico 3: Temperatura dos efluentes coletados nas áreas produtivas da unidade industrial

Gráfico 4: Carga Orgânica Total das Unidades Gerenciais da indústria estudada

Gráfico 5: Carga Orgânica do Processo Cerveja

LISTA DE SIGLAS

AME	Atividade Metanogênica
APHA	American Public Health Association
Brix	Grau Brix, medida de concentração de açúcares em solução
CH ₄	Metano
CIP	Cleaning in Place (limpezas assépticas realizadas nas linhas)
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
hL	Hectolitro
HM	High Maltose
IC	Reator de Circulação Interna
MON	Matéria Orgânica Natural
MORA	Matéria Orgânica Refratária Aquogênica
MORP	Matéria Orgânica Refratária Pedogênica
NaOH	Hidróxido de sódio (soda cáustica)
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial de Hidrogênio
PNC	Produto Não Conforme
SKU	Stock Keeping Unit (Unidade de Manutenção de Estoque)
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo de Fluxo Ascendente)
UG	Unidade Gerencial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Geral	16
2.2 Específicos	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 A indústria de bebidas no Brasil e a geração de efluentes	17
3.2 Tratamento biológico de efluentes industriais	22
3.3 Matéria orgânica de efluentes Industriais	27
4.1 Mapeamento de Processo	31
4.2 Coleta das Amostras	34
4.3 Análises Laboratoriais	34
4.3.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	34
4.3.2 Análise de pH	37
4.3.3 Análise de Temperatura	38
4.3.4 Análise de Redox	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6 CONCLUSÃO	68

1 INTRODUÇÃO

Na era contemporânea, a indústria de bebidas desempenha um papel fundamental na economia global, representando uma vertente essencial do setor produtivo. No contexto específico do Ceará, essa indústria se destaca não apenas pelos seus significativos volumes de produção, mas também pelos desafios ambientais intrínsecos à sua operação. Das principais bebidas produzidas podemos destacar a cerveja e o refrigerante como predominantes no território cearense.

A cerveja é conceituada como uma bebida carbonatada de teor alcoólico moderado, elaborada por meio da fermentação do malte de cevada por leveduras, e enriquecida com lúpulo e água de alta qualidade. Adicionalmente, a composição pode incluir outras matérias-primas, como arroz, trigo ou milho. O lúpulo desempenha um papel fundamental ao conferir à cerveja um agradável aroma e um sabor distintivo, contribuindo significativamente para suas características distintas e aprimorando sua capacidade de conservação (CARVALHO, 2007).

Já o refrigerante caracteriza-se como uma bebida gaseificada e livre de álcool, originada em 1676, em Paris. É composta predominantemente por água, CO₂, suco de frutas ou extrato vegetal, corantes e açúcares ou edulcorantes. Atualmente, no Brasil, as indústrias de refrigerantes estão sujeitas a rigorosas normativas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, conforme o Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994. (BRASIL, 1994)

Entre os efluentes gerados durante o ciclo produtivo das bebidas como cerveja e refrigerante, destacam-se as águas residuais contendo substâncias poluentes, descartes provenientes do processamento de malte, lúpulo e levedura, da limpeza dos tanques de armazenamento e produção de xarope, assim como resíduos resultantes das fases de filtração e envase (KUNZE, 2006). Nesse contexto, é fundamental adotar práticas apropriadas para o manejo desses despejos industriais de maneira que o efluente volte para o meio ambiente com qualidade adequada de modo que não afete negativamente o ecossistema.

Em agosto de 2010, foi promulgada a Lei 12.305, instituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cujo propósito é aprimorar as abordagens e disposições relacionadas aos resíduos sólidos. Além disso, busca-se conscientizar fabricantes e consumidores acerca das

consequências associadas ao tratamento inadequado, fomentando comportamentos de consumo mais sustentável (BRASIL, 2010).

Após o tratamento, o efluente industrial deve obedecer aos critérios para lançamento direto em um corpo receptor. Estes parâmetros foram definidos com base na Resolução 357/2005 e receberam acréscimos parciais por meio da Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Conforme a normativa estabelecida pela Resolução 355/2017 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA), são delineados padrões para o descarte de efluentes líquidos provenientes de fontes poluentes. Esses padrões incluem uma faixa de temperatura até 40 °C, faixa de pH entre 6,0 e 9,0, ausência de odores desagradáveis, valores máximos aceitáveis de DQO e DBO e a não indução de alterações na coloração do corpo hídrico receptor (BRASIL, 2011, 2017).

Para obter um efluente final com as características exigidas pelas legislações e órgãos ambientais anteriormente citados é imprescindível conhecer e caracterizar os principais despejos líquidos oriundos dos processamentos na indústria de bebidas, de modo a atribuir o sistema que seja mais eficiente na Estação de Tratamento de Efluentes da unidade. Desta maneira, a presente pesquisa propõe-se a realizar um abrangente levantamento das características fundamentais nos descartes de uma indústria de bebidas localizada no estado do Ceará, com foco primordial nas análises de DQO, carga orgânica, potencial redox, pH e temperatura. Ao aprofundar o entendimento desses elementos cruciais, almeja-se não apenas contribuir para a compreensão mais ampla dos impactos ambientais associados a essa indústria específica, mas também fornecer *insights* valiosos para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e eficientes.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Realizar o levantamento dos principais descartes gerados por uma indústria de bebidas localizada no Ceará, cujos principais produtos são cerveja e refrigerante, e avaliá-los em relação ao volume de efluente, pH, temperatura, redox e DQO, além de identificar as áreas de maior impacto na Estação de Tratamento de Efluentes.

2.2 Específicos

- Pontuar os principais descartes que cada Unidade Gerencial (UG) pode realizar a fim de ajudar na tomada de decisões na estação de Tratamento de Efluentes da unidade;
- Verificar a quantidade de carga orgânica que cada UG pode gerar em seu efluente;
- Mapear o principal gerador de Carga orgânica no efluente da indústria de bebidas do processamento de cerveja e refrigerante;
- Identificar a capacidade mínima necessária para a Estação de Tratamento de Efluentes da unidade fabril estudada;
- Identificar as características físico-químicas dos principais efluentes com as análises de pH, redox e Temperatura;
- Calcular a possível carga orgânica máxima gerada em um único dia na indústria avaliada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A indústria de bebidas no Brasil e a geração de efluentes

De acordo com o Decreto nº 6.871/2009, que dispõe sobre a padronização, classificação, registro, inspeção, produção e fiscalização de bebidas, define-se bebida como o produto de origem vegetal industrializado, destinado à ingestão humana em estado líquido, sem finalidade medicamentosa ou terapêutica. Também carrega esta definição a polpa de fruta, o xarope sem finalidade medicamentosa ou terapêutica, os preparados sólidos e líquidos para bebida, a soda e os fermentados alcoólicos de origem animal, os destilados alcoólicos de origem animal e as bebidas elaboradas com a mistura de substâncias de origem vegetal e animal (BRASIL, 2009).

A princípio, é interessante conceituar a indústria de alimentos e bebidas no território brasileiro. De acordo com o que diz Rosenthal (2008), indústrias de alimentos e bebidas compreendem indústrias de processamento primário de todo e qualquer produto da agropecuária comestível, sendo passível de ser ingerido por seres humanos, compostas por empresas que processam alimentos e/ou bebidas.

Assim como no restante do mundo, as indústrias de bebidas no Brasil são formadas por pequenas empresas e empresas globais, que distribuem seus produtos por diversos países e produzem todos os tipos de bebidas (GALVÃO, 2010). As bebidas produzidas são caracterizadas como não alcoólicas (água mineral, refrigerantes, chás, energéticos e sucos prontos para beber) e alcoólicas (vinhos, tequila, cervejas, vodka, espumantes, entre outras) (MORAIS, 2017).

As indústrias de bebidas contribuem significativamente para a transformação no Brasil, apresentando grande distribuição regional de produção e empregando um número considerável de colaboradores (SILVA, 2019). Esta distribuição regional ocorre devido às características dos produtos, pois têm a água como insumo básico. Essa condição faz com que a opção de produzir localmente seja mais viável, pois a redução dos custos logísticos compensa eventuais economias de escala que poderiam ser obtidas com a centralização da produção (CERVIERI JÚNIOR *et al.*, 2014).

De acordo com estudos feitos por Stein (2014), qualquer atividade industrial que envolva a utilização ou o tratamento de água é capaz de gerar resíduo líquido, titulado como efluente. Este resíduo pode apresentar diferentes características dependendo da fonte geradora, tornando-se importante avaliar os processos e operações que utilizam a água tanto como matéria-prima quanto como produto auxiliar.

Verifica-se que no setor de alimentos e bebidas há níveis mais elevados de emissões de gases de efeito estufa, efluentes líquidos e disponibilidade de biomassa, respectivamente, se comparado com qualquer outro setor industrial, isto ocorre em função da biodegradabilidade de suas emissões dos seus resíduos (OLIVEIRA, 2012).

No setor industrial de bebidas, com o aumento da produção, há conseqüentemente, a geração significativa das águas residuárias, que possuem altas cargas devido às grandes vazões de descarte (MORAIS, 2017). A descarga de efluentes industriais em quantidade maior à capacidade de assimilação do corpo receptor, acarreta a contaminação do ambiente e conseqüentemente prejuízos à saúde pública. Além disso, ao longo do tempo, a qualidade da água doce disponível tem sido degradada devido ao descarte de efluentes não tratados, o que limita ou impede seu uso para consumo humano (VASQUEZ *et al.*, 2014).

Dessa forma, as indústrias de bebidas necessitam de tratamento de efluentes levando-se em consideração os parâmetros fixados pela legislação, a exemplo da Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011), que estabelece as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para o descarte apropriado de resíduos em corpos de água receptores (SÊNA e AFONSO, 2014). Esta Resolução estabelece que os efluentes apresentem pH na faixa entre 5 a 9 (DE OLIVEIRA 2012).

Sereno Filho (2013) diz que os efluentes gerados na indústria de bebidas são ricos em açúcares, possuem pH alcalino, temperatura ambiente e apresentam elevada carga orgânica (DBO, DQO e sólidos totais). Estas características mostram a necessidade de um tratamento de alto grau da água de processo. Sendo realizado o tratamento adequado, há garantia da eco-eficiência, no sentido de evitar ou reduzir os danos ao homem e ao ambiente, bem como, possibilitar o reuso deste efluente tratado. Para isso, faz-se necessária a associação de diversos níveis de tratamento para que se torne efetiva a remoção dos poluentes, justamente pelo elevado grau de complexidade da composição dos efluentes industriais gerados nestas indústrias, que varia de acordo com o processo produtivo, principalmente em função da tecnologia empregada durante as etapas de lavagem.

Santos e Ribeiro (2005) concluíram que além da composição do efluente, característica bastante variável, como citado anteriormente, a vazão também varia. Esta ampla variabilidade

das suas características qualitativas, torna-se um problema, já que dificulta uma análise e compreensão das particularidades dos efluentes (MORAIS, 2017). Todavia, o envio de efluentes para a estação com baixas variações em sua composição e vazão, para o sistema de tratamento de efluentes em uma indústria de bebidas é pré-requisito para um comportamento estável desse sistema (SERENO *et al.*, 2013). Logo, é importante ressaltar que para uma melhor gestão, previsão e entendimento do comportamento desse tipo sistema, técnicas de simulação podem ser utilizadas, permitindo a avaliação do desempenho do sistema sem intervenção, antes que as mudanças sejam implementadas na realidade, sendo possível também a análise do impacto de diferentes cenários (ANTONELLI, LITWIN, & STADNICKA, 2018).

Segundo Silva (2012), a presença de certos poluentes em corpos hídricos, especificamente de origem orgânica, ocasiona inúmeros problemas, sendo um deles o decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido e, conseqüentemente, a extinção dos organismos aquáticos aeróbicos. O decréscimo de oxigênio citado possui relação direta com a quantidade e concentração do efluente descartado (BROCHIER e CARVALHO, 2009).

De acordo com Morais (2017) é possível calcular uma estimativa de quanto a empresa corresponde em termos de matéria orgânica a partir da relação em número populacional, este fator é denominado Equivalente Populacional. Segundo o pesquisador Von Sperling (2005), há equivalência entre o potencial poluidor de uma indústria, comumente em termos de matéria orgânica, e uma determinada população, a qual produz essa mesma carga poluidora. Através da vazão média fornecida pela empresa, é possível calcular a carga total de lançamento de efluentes da indústria no corpo hídrico (MORAIS, 2017).

É sabido que os efluentes industriais são alvo de preocupação quanto ao seu tratamento e despejo em corpos d'água. Logo, é imprescindível que se tenha um controle e monitoramento da estação de tratamento por meio dos parâmetros de qualidade (MORAIS, 2017). De modo geral, os processos de tratamento podem ser classificados em função de seu mecanismo predominante, em processos físicos, químicos e biológicos (JORDÃO *et al.*, 1997). De acordo com os pesquisadores Jordão e Pessoa (2009), os processos físicos promovem a separação e remoção das substâncias em suspensão ou com densidade distinta do esgoto, enquanto os processos químicos são aqueles que necessitam da aplicação de dosagem de produtos químicos. É válido ressaltar que para efluentes sanitários, raramente são adotados isoladamente, sendo comumente utilizados quando os processos físicos ou biológicos, por si só, não são considerados suficientes para obtenção da qualidade desejada para o efluente final.

Von Sperling (2005) cita alguns atributos relacionados ao tratamento biológico de efluentes: 1- biodegradabilidade, que é capacidade dos despejos de serem estabilizados por

processos bioquímicos, através de microrganismos; 2- tratabilidade, definida como a factibilidade dos despejos serem tratados por processos biológicos convencionais; 3- disponibilidade de nutrientes, sendo explicada porque o tratamento biológico exige um equilíbrio harmônico entre os nutrientes Carbono: Nitrogênio: Fósforo; 4- toxicidade, da qual é explicada porque determinados despejos industriais possuem constituintes tóxicos ou inibidores, que podem afetar ou inviabilizar o tratamento biológico; 5- concentração de matéria orgânica, podendo a DBO dos despejos ser superior à dos esgotos domésticos (despejos predominantemente orgânicos, tratáveis por processos biológicos) ou inferior à dos esgotos domésticos (despejos não predominantemente orgânicos, em que é menor a necessidade de remoção da DBO, mas em que o caráter poluidor pode ser expresso em termos de outros parâmetros de qualidade).

As tecnologias e sistemas para o tratamento de efluentes são numerosas, no entanto, deve-se levar em consideração os objetivos e o nível de tratamento que se espera atingir (SCOTTÁ, 2015). O tratamento de esgotos é classificado através dos seguintes níveis: tratamento preliminar, primário, secundário, terciário ou avançado. O tratamento preliminar tem como objetivo a remoção de sólidos grosseiros como areia, pedregulho, galhos ou outros materiais maiores, já o tratamento primário objetiva-se na remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Nos dois, a remoção é por mecanismos físicos. Já o tratamento secundário pretende remover a matéria orgânica por meio de mecanismos biológicos, onde eventualmente ocorre a remoção de nutrientes. E o tratamento terciário ou avançado aspira a remoção de poluentes específicos ou a remoção complementar de poluentes não removidos no tratamento secundário com o uso de membranas filtrantes como Ultrafiltração e Osmose Reversa (VON SPERLING, 2005).

Segundo Santos e Ribeiro (2005), a produção de refrigerantes gera efluentes provenientes de etapas de lavagem (equipamentos, recipientes, pisos e tubulações, da instalação em si), das águas de sistemas de resfriamento, dos despejos oriundos de lotes defeituosos e das perdas durante o processo.

A produção da cerveja gera uma grande quantidade de resíduos e efluentes. Estima-se que para a produção de 1 litro de cerveja são gerados de 3 a 10 litros de efluentes em função dos tipos de processos usados. Estes efluentes apresentam altas vazões e mostram valores consideráveis de matéria orgânica, podendo chegar a valores da ordem de 150.000 mg.L⁻¹ de DQO, e faixas de pH extremas, em função da natureza das operações empregadas (PORTES, 2016). Isto faz com que este segmento seja considerado pelos órgãos ambientais como sendo de

alto potencial poluidor, levando este setor a necessidade de investir cada vez mais no sistema de tratamento de seus efluentes (SANTOS, 2005).

A composição destes efluentes é intensamente influenciada pelo tipo de cerveja fabricada, de levedura utilizada, da qualidade dos processos de filtração, dos tipos de aditivos eventualmente acrescentados e da eficiência dos processos de limpeza. Por conta destes fatores e da variabilidade de condições operacionais do processo cervejeiro, tanto a composição como a taxa de geração dos rejeitos deste setor produtivo são muito variáveis (KOCHENBORGER, 2012). A lavagem de garrafas gera grandes volumes de efluente, mas com reduzida carga orgânica. Entretanto, a fermentação e filtragem geram apenas 3% do volume de efluentes, mas são responsáveis por 97% da carga orgânica total (GUERREIRO, 2006).

É sabido que a composição dos efluentes da indústria cervejeira apresenta alto potencial de poluição pela sua carga orgânica, teor de sólidos em suspensão e presença de fósforo e nitrogênio. No entanto, a composição qualitativa de cada fonte principal é descrita como: 1- maltaria, sendo restos de grãos, sólidos sedimentáveis, proteínas e açúcares, o cozimento do mosto, sendo açúcares, proteínas, taninos e resinas; 2- fermentação, sendo álcool, ácido, aldeídos, cetonas, ésteres e levedura; e 3- maturação, sendo proteínas e produtos de sua degradação (KOCHENBORGER, 2012).

A natureza do efluente gerado permite que diferentes formas de tratamento sejam implementadas. Entretanto, dentre as mais utilizadas destacam-se os processos biológicos, sendo que em alguns casos aplica-se a combinação com processos físico-químicos. Todavia, algumas características da geração e do próprio efluente podem determinar dificuldades quanto a utilização de tratamento biológico, como é o caso da intermitência na produção e geração de uma vazão que não seja capaz de alimentar continuamente um reator biológico ou o efluente apresentar características particulares que não sejam favoráveis ao tratamento biológico (SIMATE *et al.*, 2011).

Seluy e Isla (2014) dizem que a geração de efluentes no segmento industrial de cervejas é produzida em duas correntes. A primeira está associada à efluentes resultantes de operações de limpeza de instalações, equipamentos, pisos e vasilhames, e das águas de sistemas de resfriamento. A segunda são os efluentes gerados no processo de produção da cerveja propriamente dito, chamados “*trub*”, os quais são compostos principalmente por excesso de levedura e outros aditivos, resíduos sólidos de bagaço e cerveja oriunda de perdas na linha de produção. Os sólidos em suspensão no efluente contêm matéria orgânica tais como grãos, *trub* e levedura, bem como materiais inorgânicos oriundos de aditivos químicos.

As cervejarias que não utilizam a rede pública coletora de esgoto como destino para seus rejeitos líquidos supostamente empregam os tratamentos primário e secundário. No entanto, se a cervejaria possui autorização para despejo na rede pública coletora, o pré-tratamento pode ser necessário para que se executem os estatutos vigentes e/ou para não sobrecarregar o sistema de tratamento público de esgoto (PORTES, 2016).

Uma estação de tratamento de águas residuárias que aumente a eficiência e reduza o investimento e os custos de operação é um fator chave. Em função da elevada carga orgânica e elevado grau de complexidade da composição dos efluentes gerados neste segmento industrial, torna-se necessário um tratamento eficiente, demandando uma combinação de processos para que a remoção dos poluentes seja efetiva e atenda aos padrões de descarte pertinentes (SERENO FILHO *et al.*, 2013).

Se tratando do pré-tratamento, o mesmo destina-se a alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do efluente, contribuindo com o desempenho dos processos a jusante. Mesmo que alguns processos físicos e químicos sejam bastante utilizados nas indústrias de bebidas e alimentos, atualmente, os efluentes de cervejaria são majoritariamente tratados através de processos biológicos, que podem ser aeróbios ou anaeróbios. A opção pelo tratamento biológico aeróbio precisa de uma quantidade de energia maior em relação ao tratamento biológico anaeróbio, além de resultar na geração de lodo de biomassa (KANAGACHANDRAN & JAYARATNE, 2006).

3.2 Tratamento biológico de efluentes industriais

Em sua maioria as tecnologias adotadas para o tratamento de efluentes, as indústrias de bebidas adotam sistemas de tratamento compostos por tecnologias baseadas em processos biológicos de digestão anaeróbia seguida por digestão aeróbia (SILVA, 2018), sendo bastante eficiente na remoção de poluentes (SILVA, 2021). Segundo Silva (2021), os processos se complementam, conferindo ao efluente tratado aspecto agradável e parâmetros de acordo com os previstos na legislação.

Havia um paradigma de que investimentos em mecanismos de proteção ao meio ambiente eram considerados transtornos que ofereciam prejuízos às indústrias. Entretanto, com o passar dos anos, as indústrias foram dando mais atenção às questões ambientais, se preocupando, principalmente, com os impactos de seus processos produtivos, a fim de assegurar e garantir que seus resíduos, emissões e efluentes não prejudiquem a qualidade dos ecossistemas onde estão inseridos. Então, investir em ferramentas que protejam o meio

ambiente é certeza de retorno financeiro, pois agrega valor ao produto e amplia o número de novos clientes . Além de atender as legislações vigentes. (SILVA, 2018).

Os pontos cruciais para implementar uma Estação de Tratamento de Efluente (ETE) são: conhecer as características do efluente, suas possíveis fontes e o volume gerado. Estes pontos são importantes e devem ser considerados na fase de projeto da ETE, levando em consideração o fluxo de processos e o dimensionamento dos equipamentos em cada etapa. Estes cuidados são imprescindíveis para a minimização dos impactos ao meio ambiente. A Estação de Tratamento de Efluente (ETE) deve ser desenhada de acordo com a capacidade produtiva da unidade fabril, pois a estação precisa ser capaz de tratar o efluente gerado em todas as etapas do processo de fabricação e áreas de apoio (SILVA, 2021).

O tratamento biológico de efluentes compreende na indução de fenômenos naturais, baseando-se na degradação de certas substâncias orgânicas por meio de enzimas secretadas por microrganismos, sendo dividido em aeróbio e anaeróbio. O processo aeróbio acontece quando as reações biológicas estão associadas ao oxigênio, ou seja, o carbono orgânico é convertido em CO_2 e lodos (SANT'ANA JUNIOR, 2010). Este processo baseia-se na utilização de bactérias e fungos que necessitam de oxigênio molecular. As suas formas mais aplicadas industrialmente estão representadas pelas lagoas aeradas e pelos sistemas de lodos ativados (FREIRE, 2000). Já no processo anaeróbio, como o nome exprime, as reações biológicas ocorrem na ausência de oxigênio, resultando na conversão do carbono orgânico em CO_2 , CH_4 (metano) e lodo, que é gerado em menor volume em relação aos processos aeróbios e em pequenas quantidades (variando de 60 a 90% em comparação ao aeróbio) (SANT'ANA JUNIOR, 2010).

Nas lagoas aeradas, os efluentes são submetidos à ação de consórcios de organismos, podendo ser de composição desconhecida, durante vários dias. Neste tipo de tratamento, a toxicidade aguda, que são os efeitos adversos que aparecem geralmente até 14 dias, subsequentemente à exposição de um organismo a única dose da substância ou depois de múltiplas doses em até 24 horas, é removida com certa facilidade. Entretanto, outros parâmetros importantes, como cor e toxicidade crônica, sendo a última responsável pelos efeitos adversos que ocorrem em um organismo durante a maior parte do seu ciclo de vida, não são eficientemente reduzidos. É válido ressaltar que alguns problemas associados a perdas de substratos tóxicos por volatilização e contaminação de lençóis freáticos por infiltração, são bastante sérios (FREIRE, 2000).

Por se tratar de um processo biológico de excelência na remoção de matéria orgânica, o tratamento aeróbio por lodos ativados se torna uma exímia opção para o tratamento de efluentes na indústria de bebidas (MORAIS, 2017).

O sistema funciona com pouco substrato auxiliar e é capaz de remover a toxicidade crônica e aguda, com um menor tempo de aeração (FREIRE, 2000). Fazem parte do sistema de lodos ativados um tanque de aeração, onde o oxigênio pode ser inserido através de ar atmosférico ou oxigênio puro, é neste compartimento que o efluente é introduzido e misturado com o lodo ativado, um decantador secundário, que é utilizado para sedimentação dos flocos microbiais, produzidos durante a fase de oxidação no tanque de aeração, e um sistema de recirculação de lodo (MORAIS, 2017; FREIRE, 2000).

O floco produzido num esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias zoogleias ou outros organismos, na presença de oxigênio dissolvido, e acumulando em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados, denomina-se lodo ativado (JORDÃO & PESSOA, 2009). Logo, o tratamento refere-se a um processo biológico, onde o esgoto afluente e o lodo ativado são misturados, agitados e aerados, sendo separados novamente. Portanto, uma característica do tratamento biológico de esgotos é a estabilização da matéria orgânica através de mecanismos biológicos, utilizando microrganismos como bactérias, protozoários, fungos e algas (MORAIS, 2017).

Além de ser utilizado na indústria, o sistema de lodos ativados também é bastante utilizado no tratamento de efluentes domésticos, quando se requer uma alta qualidade do efluente e redução de área. Entretanto, este sistema além de exigir uma mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, também necessita de operação mais tecnológica e maior consumo de energia elétrica (SPERLING, 2012). Existem também neste processo algumas variantes que podem classificar o sistema de acordo com a idade do lodo, com o fluxo ou com o objetivo do tratamento (AMORIM, 2014).

As bactérias são a principal composição dos flocos do lodo ativado. Supõe-se que existam aproximadamente 300 espécies de bactérias no lodo, sendo responsáveis pela oxidação da matéria orgânica. Com o decréscimo do nível de oxigênio no floco (na fase de sedimentação), a atividade das bactérias aeróbias diminui. Como a região interna do floco é relativamente grande, a difusão do oxigênio é pequena, favorecendo o desenvolvimento de bactérias anaeróbias. Deste modo, o processo por lodo ativado pode desenvolver um tratamento mais apurado, combinando reações aeróbias e anaeróbias (BITTON, 1994).

Uma característica interessante do processo por lodo ativado é a recirculação de uma grande proporção de biomassa, permitindo que um grande número de microrganismos permaneça por um longo tempo de residência no meio, facilitando o processo de oxidação dos compostos orgânicos, diminuindo o tempo de retenção do efluente. Os pontos negativos do

processo com lodo ativado, são o alto custo de implementação e a formação de grandes quantidades de biomassa (FREIRE, 2000).

É válido salientar que os tratamentos biológicos anaeróbios possuem inúmeras vantagens em relação aos aeróbios, como por exemplo menor produção de lodo, não se torna necessário o fornecimento de oxigênio, custo operacional menor, reduzida mecanização, produção de biomassa estabilizada e biogás com valor comercial e, comumente, requer uma menor área de implantação. No entanto, é aconselhável a aplicação associada de um tratamento anaeróbio com aeróbio para que o efluente produzido esteja dentro dos parâmetros da legislação (CHEN; SENG; HUNG, 2006).

Na oxidação da matéria orgânica anaeróbica acontecem processos metabólicos de fermentação e respiração. Para tal objetivo, é necessária a atividade de pelo menos três grupos de microrganismos: bactérias fermentativas (acidogênicas), acetogênicas e metanogênicas (SILVA, 2021).

Os sistemas anaeróbios de tratamento podem ser convencionais, representados pelos tanques sépticos e lagoas anaeróbias, e sistema de alta taxa, representado pelos reatores com crescimento bacteriano aderido ou disperso (SILVA, 2021). Os tratamentos biológicos anaeróbios que melhor apresentam potencial de inserção no mercado, são: lagoas anaeróbias, filtros anaeróbios e reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manto de lodo (UASB) (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*). (SANT'ANA JUNIOR, 2010). No entanto, é importante ressaltar que o filtro anaeróbio pode apresentar problemas operacionais, sendo o entupimento do meio suporte o mais recorrente. Para evitar esta adversidade, faz-se necessário a instalação prévia de dispositivos de limpeza ao longo da altura do filtro, que permitam a eliminação do excesso de sólidos retidos no meio suporte, exigindo assim uma cuidadosa operação de pré-tratamento e um periódico descarte do excesso de lodo (SILVA, 2019).

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*), em português se chama RAFA (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo de Fluxo Ascendente), é um tipo de leito granular expandido com crescimento bacteriano disperso. Sua alimentação acontece pela seção inferior, já a saída de efluente e a coleta de biogás ocorrem no topo. O afluente passa pelo leito de lodo denso e de alta atividade microbiológica. A estabilização da matéria orgânica ocorre nas zonas de leito de lodo, sendo a região mais densa, e na manta, sendo o lodo mais leve e disperso, onde há formação de biogás. Os gases metano, carbônico e sulfídrico potencializam o fluxo ascensional de efluentes ao longo do reator. O efluente deixa o reator pelo compartimento de decantação. O dispositivo de separação gás-sólido evita que partículas da manta de lodo sejam carregadas para fora do sistema (SILVA, 2021).

O reator UASB possui vantagens, tais como tempo de detenção hidráulica menor e mau odor passível de ser controlado. O funcionamento compreende basicamente no movimento ascendente do afluente no fundo do reator, que passa através de uma câmara biológica de lodo, o biodigestor, propriamente dito, o que transforma o material orgânico em biogás. Um separador de fases gás-líquido-sólido na parte superior garante a separação dos componentes, apresentando-se como fração líquida o efluente tratado, a fase sólida, sendo a maior parte biomassa, que descem por gravidade, e o biogás retido no topo. Entretanto, apesar de apresentar inúmeras vantagens, o reator anaeróbio UASB dificilmente poderia, sozinho, produzir um efluente que atendesse aos padrões estabelecidos pela legislação, logo, existe a inevitabilidade de adoção de um pós-tratamento, para promover ao efluente tratado as características desejáveis ao lançamento em corpo d'água receptor (SILVA, 2019).

Mais um exemplo de sistema de tratamento anaeróbio é o reator IC - reator de fluxo ascendente com leito de lodo com circulação interna. Ele opera como se houvesse dois reatores UASB em série. Analogamente ao UASB, a alimentação acontece próxima à base do reator e a saída de efluente e coleta de biogás pelo topo. O sistema de distribuição proporciona a mistura entre o afluente, o lodo e o efluente. No primeiro compartimento encontra-se o leito expandido de lodo granulado, onde a maioria da DQO é modificada em biogás. O gás coletado no primeiro separador impulsiona água e lodo para cima. No segundo separador, o gás deixa a mistura efluente-lodo. A fase aquosa retorna para o compartimento inferior, resultando em um fluxo de circulação interna. A circulação interna dilui e condiciona o afluente. A fluidização do leito é gerada pelo fluxo ascendente de entrada, recirculação e produção de biogás. A taxa de recirculação necessita da DQO do afluente, sendo assim autorregulável: quanto maior a DQO de entrada, maior o fluxo de gás, o que gera turbulência, elevando a taxa de recirculação. Dessa forma o afluente é diluído sem a necessidade de acionamento de bombas (SILVA, 2021).

De acordo com Van Haandel & Marais (1999), o sistema combinado anaeróbio-aeróbio é vantajoso economicamente, levando em consideração que há uma redução de custos de construção e operação, e ainda, a redução da matéria orgânica do afluente proporcionada pelo tratamento anaeróbio reduz, consideravelmente, a necessidade de oxidação, pelo sistema aeróbio, da matéria orgânica residual. Além do mais, a unidade anaeróbia pode funcionar como um tanque de equalização, reduzindo as oscilações de carga, conseqüentemente de demanda de oxigênio.

O emprego do reator anaeróbio seguido do aeróbio é sem dúvidas o mais vantajoso, pois além das unidades anaeróbias poderem ser operadas com cargas orgânicas volumétricas mais elevadas que os processos aeróbios, a passagem inicial pelo reator UASB acarreta uma

diminuição na carga orgânica do efluente, resultando numa menor produção de lodo excedente, sendo um dos problemas dos sistemas aeróbios. Além disso, o lodo gerado pelo reator aeróbio pode ser direcionado para o reator UASB, onde é diferido e adensado em conjunto com o lodo anaeróbio (SANT'ANA JUNIOR, 2010; NOGUEIRA, 2014)

Se tratando de cervejarias, os tratamentos mais utilizados para efluentes advindos desse tipo de indústria são constituídos por um processo de tratamento preliminar, sendo um processo físico composto por grade e decantadores, seguido de um tratamento secundário, consistindo em um sistema biológico, composto por reatores anaeróbios, e por último o pós-tratamento com lodos ativados, ou seja, lagoa aerada seguida de decantação. Antes do tratamento biológico, deve-se construir um tanque de neutralização, onde o pH deve ser corrigido buscando as condições necessárias para o bom funcionamento e desempenho do reator anaeróbio. As etapas seguintes ao reator supracitado servem como etapas de polimento e clarificação do efluente que será lançado ou reutilizado (SANTOS, 2006).

Uma pesquisa realizada por Silva *et al.* (2018) promoveu um estudo em uma indústria de cervejas e refrigerantes, tendo como tecnologia de tratamento de seus efluentes um sistema composto por um reator anaeróbio IC seguido por um reator aeróbio (UNITANK). E o principal objetivo da pesquisa foi avaliar a eficiência de tratamento do efluente em um reator de circulação interna (IC) durante 3 meses de operação. Avaliou-se os resultados das análises de pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio, (DBO) atividade metanogênica específica (AME) do lodo do reator IC e biodegradabilidade (BIO) do efluente em reator IC.

Ainda sobre o estudo realizado por Silva *et al* (2018), os autores puderam concluir que o efluente da indústria em questão é caracterizado por elevado teor de Matéria Orgânica, em virtude da quantidade de açúcares, xaropes, fermentos, resíduos de cereais, malte e mosto adicionados no processo produtivo, isso foi aferido pelos resultados de DQO. O pH apresentou-se predominante alcalino, devido a adição de soda cáustica nas lavagens, enxagues, assepsias e esterilização dos tanques de maturação, fermentação, pressão, bem como, nas lavadoras de garrafas, tinas de banho de guarda e lavagens de pisos. O reator IC foi a unidade principal de remoção de MO do sistema de tratamento, sendo responsável por mais de 56% das eficiências total de remoção de DQO e DBO, e eficiência de remoção efetiva de 86%. A AME é um dos parâmetros mais importantes para a digestão anaeróbia, pois através da AME pode-se estimar a carga orgânica máxima a ser aplicada no reator IC, evitando-se sobrecargas que podem acarretar toxicidade. Pelos resultados obtidos, o lodo do reator IC apresentou AME

valores ótimos. A pesquisa apresentou resultados bastantes favoráveis, pois o efluente apresentou boa biodegradabilidade, sendo acima de 75%.

3.3 Matéria orgânica de efluentes Industriais

Quando o assunto são as águas residuárias da indústria de alimentos, é importante ressaltar que são bastante ricas em matéria orgânica, levando a reforçar a importância do controle dos parâmetros de DBO e DQO. A matéria orgânica encontra-se, em sua grande maioria, na forma solúvel, mesmo que uma parte importante seja facilmente sedimentável (RODRIGUES, 2006). Os principais constituintes orgânicos são: proteínas, açúcares, óleos e gorduras, microrganismos, sais orgânicos e componentes dos produtos saneantes (GIORDANO, 2004).

A matéria orgânica ao ser biodegradada nos corpos receptores causa uma diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (OD) no meio hídrico, diminuindo a qualidade ou inviabilizando a vida aquática (GIORGIANO, 2004).

Tratando-se da identificação da fonte da matéria orgânica, faz-se necessário fazer determinações qualitativas. Essas fornecem informações sobre os diferentes compostos ou grupos de compostos presentes, diferentemente da DBO, DQO e COT que fornecem informações quantitativas da matéria orgânica contidas no sistema. A matéria orgânica natural (MON) pode ser dividida em duas subclasses (ZUMSTEIN; BUFFLE, 1989): matéria orgânica lábil (pode ser degradada) e a matéria orgânica refratária (formada por compostos estáveis) (BEM, 2013).

A matéria orgânica refratária é subdividida ainda em duas classes; a matéria orgânica pedogênica (MORP), que se destaca pela estrutura química com um grupo funcional aromático, costumeiramente originada no solo, e a matéria orgânica refratária aquogênica (MORA), que se caracteriza pela estrutura química com uma cadeia alifática, originada da biota aquática. Apesar de ser possível diferenciar a classe a que pertence a matéria orgânica, a definição de sua estrutura ainda não é concreta. Por conseguinte, algumas características da matéria orgânica são utilizadas, especialmente das substâncias húmicas que compõem cerca de 70 a 80% da matéria orgânica natural (BEM, 2013).

Algumas especificidades que podem ser consideradas são a cor amarela dos ácidos fúlvicos, a capacidade de absorver luz ultravioleta, a polidispersão, e as grandes quantidades de estruturas aromáticas e polifuncionalidade (BEM, 2013). Ainda segundo Bem (2013),

tratando-se destas características, as avaliações de espectroscopia na região do ultravioleta visível e espectroscopia de emissão de fluorescência podem ser utilizadas para caracterizar a composição da estrutura do carbono orgânico. As propriedades citadas não são tipicamente utilizadas em caracterização da qualidade em rios, mas são amplamente utilizadas em estudos de reservatórios. A espectroscopia na região do ultravioleta visível é utilizada para caracterizar a composição da estrutura do carbono orgânico dissolvido (COD) e identificar suas possíveis fontes (SENESI *et al.*, 1989).

A matéria orgânica está contida na fração de sólidos voláteis, mas normalmente é medida de forma indireta pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) (GIORDANO, 2004).

Tratando de DBO, é ela quem mensura a quantidade de oxigênio necessária para que os microrganismos biodegradem a matéria orgânica (GIORGIANO, 2004). A mesma avalia de forma indireta a concentração de matéria orgânica através da quantificação do oxigênio consumido pelos microrganismos para estabilizar a matéria orgânica que contém na amostra, calculado por meio da diferença da concentração de oxigênio dissolvido entre o primeiro e o quinto dia (BEM, 2013) numa temperatura de incubação de 20 °C (CETESB, 2012).

Calcula-se a DBO através do carbono orgânico da fração mais lábil. Isto se dá devido alguns compostos orgânicos apresentarem estruturas complexas e por conseguinte, serem mais refratários a degradação biológica (BEM, 2013).

Já DQO é a medida da quantidade de oxigênio que necessita para oxidar quimicamente a matéria orgânica (GIORGIANO, 2004) através de um agente químico (CETESB, 2012). Para acontecer a determinação da DQO, utilizando-se de um forte oxidante, seu valor de concentração inclui, além da matéria orgânica presente, também parte da matéria inorgânica que pode ser oxidada. Na DQO a quantidade de oxidante que reage é expressa em termos de oxigênio equivalente (BEM, 2013).

No geral, os valores da DQO são maiores que os da DBO, então o teste é realizado num prazo menor. A elevação da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial. A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, sendo muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para constatar a biodegradabilidade de despejos (CETESB, 2012).

A matéria orgânica também pode ser quantificada como carbono orgânico total (COT), sendo este parâmetro geralmente utilizado em águas limpas e efluentes para reuso (GIORGIANO, 2004). O COT reflete a concentração de matéria orgânica incorporando as frações lábil e refratária (BEM, 2013). O COT, apesar de ser uma determinação mais exata do

carbono orgânico existente numa amostra, não substitui os ensaios de DBO e DQO (APHA, 1998).

Em todas as formas de quantificação da matéria orgânica, muitos questionamentos ainda fomentam sua utilização sistemática em gestão de recursos hídricos. Apesar dos parâmetros DBO e DQO estarem presentes na resolução CONAMA 357/05, esses não permitem entender completamente os aspectos da dinâmica da matéria orgânica em corpos d'água. Já o carbono orgânico dissolvido (COD) é um parâmetro de qualidade da água que, embora não conste na resolução CONAMA 357/05, em conjunto com avaliações espectroscópicas de absorção na região do ultravioleta e visível e de emissão de fluorescência, permite que seja observada a fonte da matéria orgânica. Através destes parâmetros é possível determinar se a principal fonte do COD é originada no sistema (BEM, 2013).

Diversos componentes orgânicos tais como detergentes, fenóis, óleos e graxas podem ser analisados diretamente. Os detergentes são industrialmente aplicados em limpezas de equipamentos, pisos, tubulações e no uso sanitário. Podendo ser utilizados também como lubrificantes (GIORGIANO, 2004).

Existem os detergentes catiônicos e os aniônicos, mas apenas os últimos são controlados pela legislação. Os fenóis podem ter origem nas composições desinfetantes, em resinas fenólicas e outras matérias primas. Os óleos e graxas estão comumente presentes nos efluentes, apresentando diversas origens, sendo a mais comum nos restaurantes industriais (GIORGINO, 2004).

4. METODOLOGIA

4.1 Mapeamento de Processo

Realizou-se o levantamento dos principais descartes de cada UG baseado no *Master Plan*, plano de *startup* de cada área e na observação em campo das fontes que geram mais que 1 m³ de resíduo líquido. Observou-se o fluxograma de cada área, como descrevem as Figuras 1,2 e 3, para melhor entendimento e análise das possíveis fontes de geração de efluentes.

Figura 1: Fluxograma da área de Processo cerveja

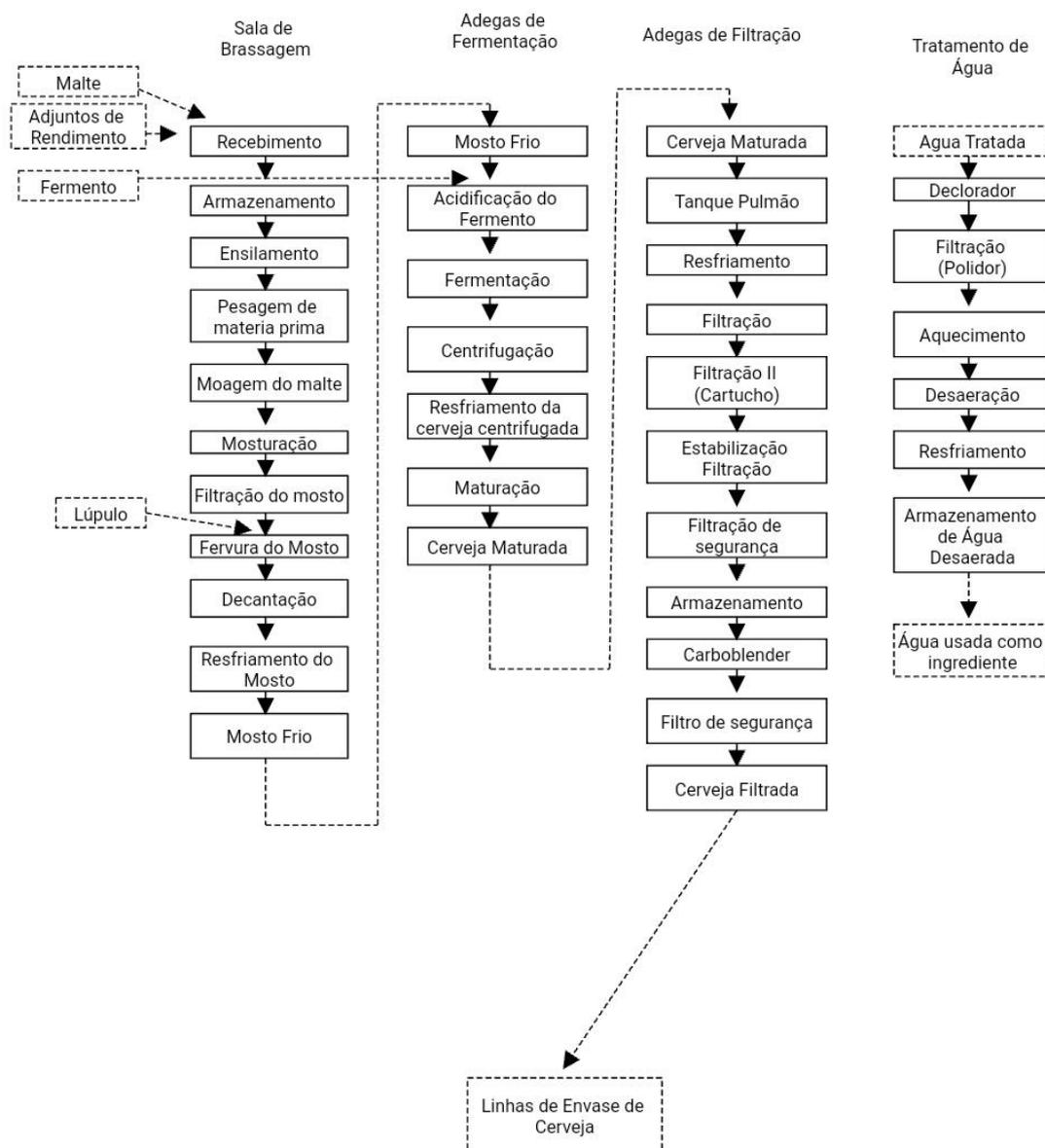
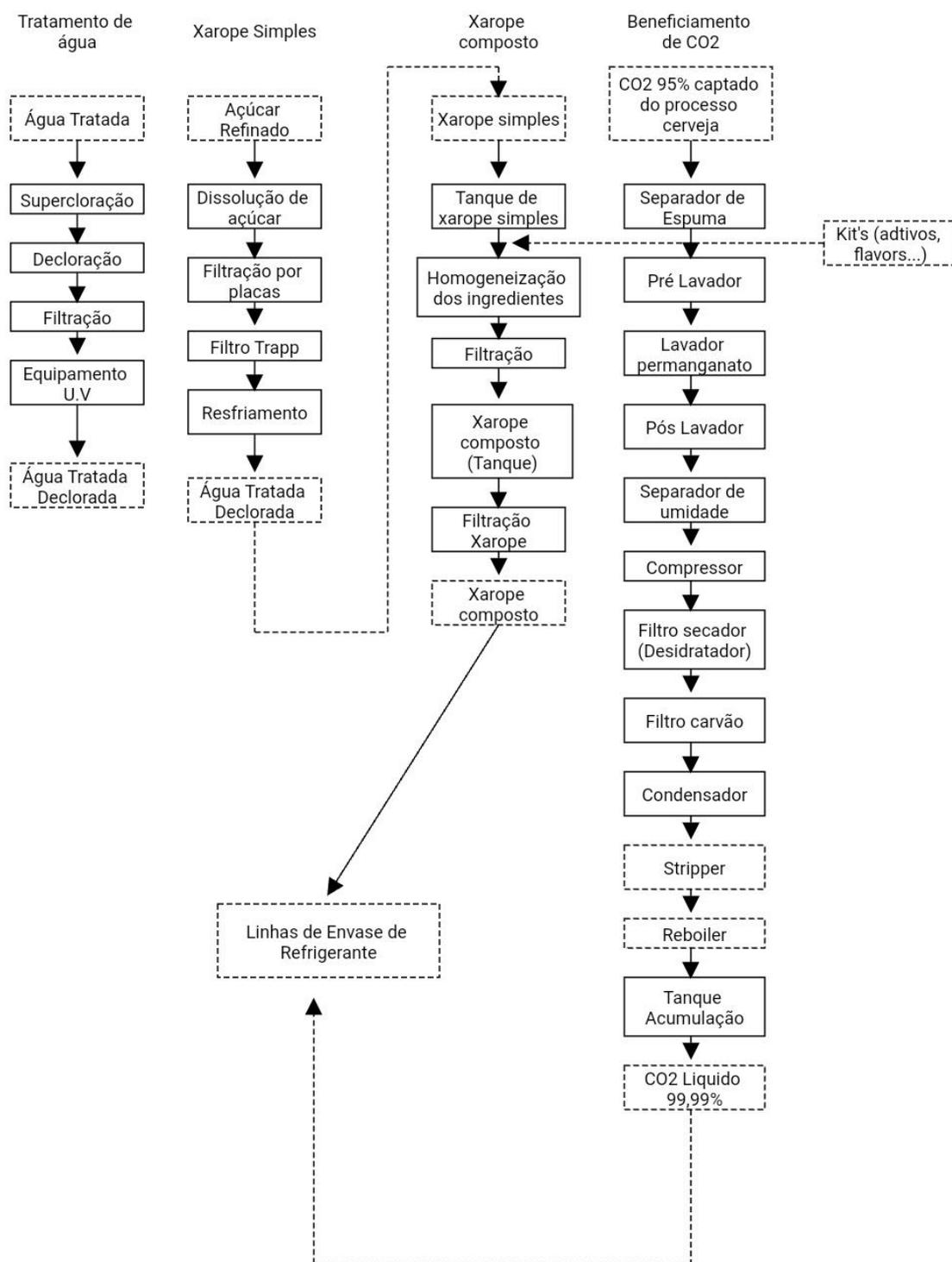
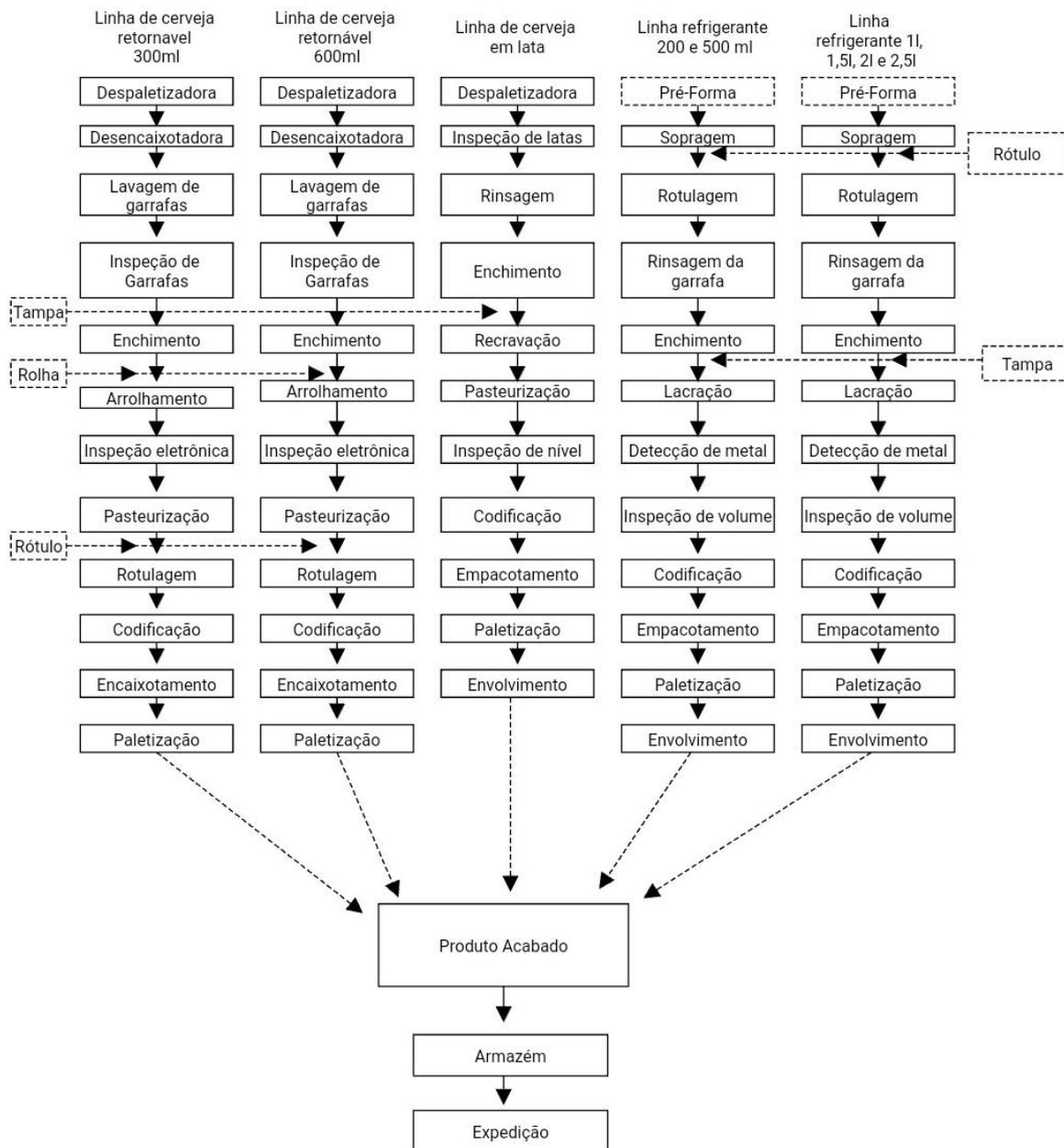


Figura 2: Fluxograma de processo da Xaroparia



Fonte: Autor (2023)

Figura 3: Fluxograma de processo das linhas de envase.



Fonte: Autor (2023)

4.2 Coleta das Amostras

Após o levantamento e organização em planilhas dos principais descartes de cada unidade, iniciou-se a coleta do corpo amostral a partir do recolhimento de aproximadamente 1 L de amostra de cada fonte geradora de efluente. Foram coletadas amostras das áreas de Brassagem, adegas de filtração e fermentação, Processo de produção de refrigerante, das linhas de envase de refrigerante e cerveja e do setor de utilidades. O líquido foi armazenado em frascos estéreis de Polietileno previamente limpos e codificados, logo realizou-se o transporte em recipiente isolante (caixa de isopor) até a Estação de Tratamento de Efluentes da unidade para prosseguir com as análises laboratoriais. Logo, as amostras foram disponibilizadas e dadas o tratamento segundo exigência das análises que foram realizadas.

4.3 Análises Laboratoriais

4.3.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A análise de Demanda Química de Oxigênio baseia-se num experimento onde a amostra do efluente sofre refluxo em forte solução ácida contendo excesso de $K_2Cr_2O_7$ por um período de 2 horas a 148 °C. Durante esse período de digestão, o íon Dicromato oxida a matéria orgânica, resultando na mudança de estado do cromo hexavalente (Cr^{+6}) para cromo trivalente (Cr^{+3}). Como ambas as espécies são coloridas, a quantificação é realizada através da medição de absorção de luz da região visível do espectro.

Para valores de DQO menores que 100 mg O_2/L , determina-se a redução da concentração de cromo hexavalente (Cr^{+6}) na região de 420 nm. Para valores de DQO entre 100 e 900 mg O_2/L , determina-se o aumento da concentração de cromo trivalente (Cr^{+3}) na região de 600 nm. Valores acima de 900 mg O_2/L devem ser medidos através de diluição da amostra.

A geração de Cr^{+3} representa uma pequena absorção na região de 420 nm e é compensada através do procedimento de calibração do fotômetro. No método de Refluxo, a amostra é refluxada com quantidades conhecidas de Dicromato de Potássio e Ácido Sulfúrico, e o excesso de Dicromato é titulado com Sulfato Ferroso Amoniacal. A quantidade de matéria orgânica oxidável, medida como equivalente em oxigênio, é proporcional ao Dicromato consumido. O método para determinação da DQO realizado neste trabalho seguiu as diretrizes definidas por APHA (2017).

Para o preparo da solução digestora de faixa baixa (0-100 mg/L) foram dissolvidos 1,022 g de $K_2Cr_2O_7$ (previamente seco durante 3 horas em estufa a $106\text{ }^\circ\text{C}$) em cerca de 500 mL de água destilada. Adicionou-se com cuidado e sob resfriamento, 167 mL de H_2SO_4 concentrado e em seguida 33,3 g de $HgSO_4$. Realizou-se a dissolução completamente e transferiu-se para um balão volumétrico de 1000 mL. Completou-se o volume do balão com água destilada.

Realizou-se também a formulação da solução digestora de faixa alta (100-1000 mg/L), consistindo na dissolução de 10,216 g de $K_2Cr_2O_7$ (previamente seco durante 3h em estufa a $106,0 \pm 1,0\text{ }^\circ\text{C}$) em cerca de 500 mL de água destilada. Adicionou-se cuidadosamente e sob resfriamento 167 mL de H_2SO_4 concentrado e em seguida 33,3 g de $HgSO_4$; realizou-se a homogeneização por completo seguida da transferência para um balão volumétrico de 1000 mL completando-se o volume com água destilada.

A fim de obter-se a solução catalítica, adicionou-se 10,12 g de $AgSO_4$ em cerca de 500 mL de H_2SO_4 . A solução obtida foi transferida para um balão de 1000 mL, cujo volume foi completado com H_2SO_4 . A solução foi mantida em repouso durante 2 dias para completa dissolução do $AgSO_4$.

Adicionou-se lentamente e sob resfriamento 100 mL de H_2SO_4 concentrado a um balão de 500 mL contendo cerca de 250 mL de água destilada. Completou-se, vagarosamente, o volume com água destilada para a obtenção da solução de H_2SO_4 20% v/v.

De modo a conservar e manter as características dos reagentes, todas as soluções foram armazenadas em frascos de vidro âmbar e mantidas em validade de até 3 meses.

Antes do início de todas as bateladas de análises, foi realizada a calibração do equipamento utilizando soluções de concentração conhecida de DQO de Biftalato de Potássio, para isso, necessitou-se diluir 850 mg de Biftalato de Potássio, previamente seco em estufa a $106,0 \pm 1,0\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas, em água destilada. A solução foi transferida para um balão de 1000 mL e avolumada com água destilada. Após isso, foram realizadas diluições nas seguintes proporções: 10:100; 25:100; 50:100; 60:100; 80:100; 100:100.

Para a leitura das amostras, cada efluente foi diluído em proporções diferentes (10:100; 25:100; 50:100) com o propósito de se adaptar a curva de leitura do espectrofotômetro. Em seguida, transferiu-se, com uso de pipeta volumétrica, uma alíquota de 2,0 mL de amostra para a cubeta do equipamento. Para o ensaio Controle substituiu-se a alíquota de efluente por água destilada. Com uso de pipeta graduada (resolução 0,1 mL), transferiu-se cuidadosamente 1,2 mL da solução digestora e 2,8 mL da solução catalítica para o tubo, todas as alíquotas foram homogeneizadas.

Após realização das diluições, as amostras foram colocadas em termodigestor, apresentado na Figura 4, previamente aquecidas por 10 minutos e deixadas em digestão a 148 °C /2 horas. Terminada a digestão, as amostras foram colocadas em local arejado a fim de atingir temperatura ambiente (± 32 °C). Em seguida, foi realizada a leitura em espectrofotômetro modelo HACH DR 5000, exibido na Figura 5, na configuração DQO FAIXA ALTA 100-1000 mg/L e no comprimento de onda de 620 nm.

Figura 4: Termodigestor



Fonte: Autor (2023)

Figura 5: Espectrofotômetro



Fonte: Autor (2023)

4.3.2 Análise de pH

Após a coleta das amostras, os frascos foram levados para o laboratório em recipientes limpos, anteriormente lavados e enxaguados para não haver nenhum resquício de produtos químicos. Os frascos foram homogeneizados, divididos em 3 alíquotas de 200 mL e encaminhados para leitura.

Utilizou-se o equipamento Metrohm 827 pH (Figura 6) para a leitura das amostras, que foi previamente calibrado com soluções tampão Metrohm pH 4,00 e pH 7,00 disponibilizadas pelo fabricante. Manteve-se o eletrodo do equipamento submerso na amostra de cada efluente até a leitura apresentar-se estável, logo, realizou-se a média da triplicata e obteve-se o resultado de pH da amostra.

Figura 6: pHmetro Metrohm 827



Fonte: Autor (2023)

4.3.3 Análise de Temperatura

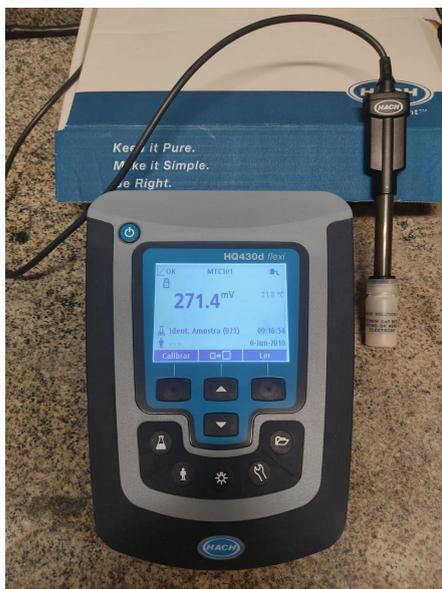
As análises de temperatura foram realizadas em campo durante a coleta de cada amostra. Foi utilizado o termômetro para alimentos com sensor de temperatura dobrável, portátil, modelo Testo 104 da Lebensmittel-Thermometer conforme exposto na Figura 7.

Figura 7: Termômetro digital

Fonte: Autor (2023)

4.3.4 Análise de Redox

Em laboratório, as amostras foram homogeneizadas e segregadas em alíquotas de 150 mL. A leitura do potencial redox foi realizada no Medidor multi-parâmetros de entrada única de laboratório HQ430D (Figura 8) a partir da submersão do eletrodo nas amostras de efluente durante 30 segundos ou até a estabilização da leitura em mV. O equipamento foi previamente calibrado de acordo com as recomendações do fabricante, a amostragem para realização do teste foi feita em duplicata e determinou-se a média dos resultados obtidos.

Figura 8: Equipamento de medição do Redox.

Fonte: Autor (2023)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para DQO, volume e quantidade de matéria orgânica da sala de brassagem separados por equipamento estão apresentados na Tabela 1, em seguida é possível observar o volume total desta sub-área e a carga orgânica total na tabela 2.

Tabela 1: DQO, Volume e carga orgânica dos descartes da Sala de Brassagem

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
Brassagem	Moinho de malte	Enxágue Moinho de Malte	3,0	36000,0	6	648,00
Brassagem	Tina Mostura	Enxágue Tanque de Mostura	7,4	14800,0	6	657,12
Brassagem	Cozinhador de Adjunto	Água com Mosto	5,5	6600,0	6	217,80
Brassagem	Tina Filtro	Água com resíduo de mosto	5,5	59100,0	6	1950,3
Brassagem	Tanque Intermediário Retenção	Água com resíduo de mosto	3,7	15600,0	6	346,32
Brassagem	Whirlpool (Decantador)	Enxágue Decantador	2,0	7600,0	6	91,20
Brassagem	Tanque Trub	Descarte de Trub	0,6	7600,0	6	27,36
Brassagem	Aquecedor de mosto	Água com resíduo de mosto	2,3	168000,0	6	2318,4
Brassagem	Linha de HM	Água com resíduo de HM	2,1	70000,0	6	882,00
Brassagem	Linha de Mosto	Água com resíduo de mosto	2,0	2000,0	6	24,00

Brassagem	Faduko	Enxágue Faduko	1,2	1800,0	6	12,96
-----------	--------	-------------------	-----	--------	---	-------

Fonte: Autor (2023)

Tabela 2: Carga Orgânica e volume total gerado na Brassagem.

Carga orgânica Total Máxima	7175 kg/dia
Volume máximo Gerado	212 m³/dia

Fonte: Autor (2023)

Após o recebimento do malte como matéria prima, que corresponde ao grão de cevada germinado, o mesmo é encaminhado para a sala de brassagem, também conhecida como sala de mostura ou área quente, a qual é responsável por extrair do grão a quantidade necessária de açúcares fermentescíveis e produzir o mosto. Colaboradores do SEBRAE (2014) definem mosto como uma solução de açúcares fundamentais para que aconteça a posterior fermentação, que dá origem ao álcool. Portanto, o correto preparo do mosto é de fundamental importância para que se obtenha um produto final de qualidade. Desta forma, é justificável que a sala de Brassagem tenha apresentado maior carga orgânica de toda a indústria, isso também equivale ao seu potencial de gerar volume de efluente máximo por dia com 212 m³/dia.

O descarte do Aquecedor de mosto apresentou maior carga orgânica, visto que neste equipamento é realizado o cozimento, ocasionando a concentração da DQO, pois com a evaporação da água os açúcares dissolvidos no mosto tendem a ficar mais concentrados, e quando realizada a limpeza deste equipamento as incrustações geradas pelo cozimento são levadas na água de enxágue inicial, sendo assim o equipamento de maior impacto dentro da área quente.

Segundo estudos realizados por Portes (2016) é na fase do cozinhador de mosto que se adicionam os aditivos como o lúpulo, caramelo, maltose, açúcares e extratos vegetais, que agregam características organolépticas de cada tipo e marca de cerveja. Esses aditivos agregam um potencial orgânico ainda maior, o qual é intensificado pelo aditivo principal usado no processo de Brassagem da indústria estudada: a High Maltose (HM), um xarope de milho concentrado, que apresentou a segunda maior DQO da área da brassagem, com 70000 mg/L, logo após a tina filtro, que é responsável pela decantação e filtração do mosto, retendo parte do resíduo sólido denominado bagaço ou breche, e permeando o mosto filtrado.

O controle preciso dos valores de pH e potencial redox (redox) nos efluentes gerados durante o processo de brassagem na produção de cerveja desempenha um papel crucial na

garantia da qualidade ambiental e na eficiência do processo. O ajuste adequado do pH é essencial para otimizar as reações enzimáticas durante a brassagem, garantindo a conversão eficiente dos amidos em açúcares fermentáveis. Além disso, a manutenção do redox adequado é vital para evitar processos indesejados de oxidação ou redução, que poderiam resultar em alterações no sabor e aroma da cerveja final. A gestão cuidadosa desses parâmetros contribui não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para a consistência e qualidade do produto final, destacando a importância da integração de práticas ambientais responsáveis na indústria cervejeira. Como pode-se observar na Tabela 3, os valores de pH dos efluentes gerados nos equipamentos da Brassagem variaram de valores muito baixos (ácidos), como no caso do Cozinhador com valor de 2,45, à valores mais alcalinos, como o resíduo originado da Tina filtro com 11,95.

Além disso, a manutenção do redox adequado é vital para evitar processos indesejados de oxidação ou redução, que poderiam resultar em alterações no sabor e aroma da cerveja final. Pode-se observar que em toda a área quente de elaboração cervejeira os valores de redox são negativos, o que define que o melhor tratamento para estes efluentes seria o anaeróbico.

Tabela 3: Redox, temperatura e pH dos descartes da sala de Brassagem

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8$ °C	Temperatura do descarte (°C)	pH do descarte $\pm 23,2$ °C
Brassagem	Moinho de malte	Enxágue Moinho de Malte	-168,4 \pm 0,1	80	6,74 \pm 0,01
Brassagem	Tina Mostura	Enxágue Tanque de Mostura	-38,4 \pm 0,1	80	11,26 \pm 0,01
Brassagem	Cozinhador de Adjunto	Água com Mosto	-346,4 \pm 0,1	80	2,45 \pm 0,01
Brassagem	Tina Filtro	Água com resíduo de mosto	-205,3 \pm 0,1	80	11,95 \pm 0,01
Brassagem	Tanque Intermediário	Água com resíduo de	-281,4 \pm 0,1	80	6,95 \pm 0,01

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura do descarte ($^{\circ}\text{C}$)	pH do descarte $\pm 23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Retenção	mosto			
Brassagem	Whirlpool (Decantador)	Enxágue Decantador	$-262,2 \pm 0,1$	80	$11,20 \pm 0,01$
Brassagem	Tanque Trub	Descarte de Trub	$-262,6 \pm 0,1$	80	$11,20 \pm 0,01$
Brassagem	Aquecedor de mosto	Água com resíduo de mosto	$-243,2 \pm 0,1$	80	$7,56 \pm 0,01$
Brassagem	Linha de HM	Água com resíduo de HM	$-169,4 \pm 0,1$	80	$2,78 \pm 0,01$
Brassagem	Linha de Mosto	Água com resíduo de mosto	$-247,4 \pm 0,1$	80	$7,73 \pm 0,01$
Brassagem	Faduko	Enxágue Faduko	$-15,2 \pm 0,1$	80	$11,60 \pm 0,01$

Fonte: Autor (2023)

A aplicação de temperaturas elevadas no processo de brassagem da cerveja é um elemento fundamental que influencia diretamente nas características sensoriais e no perfil de sabor da bebida final. Os valores de temperatura encontrados nos efluentes analisados na área quente foram iguais a 80°C , o que corrobora aos estudos elaborados por TOZETTO (2017), onde afirma que temperaturas mais altas durante a brassagem podem favorecer a extração de compostos específicos, como polifenóis e dextrinas, que desempenham um papel crucial na textura, corpo e estabilidade da espuma da cerveja. Além disso, segundo ARAÚJO (2016), o controle preciso da temperatura é essencial para a atividade enzimática adequada, impactando diretamente na eficiência da conversão de amidos em açúcares fermentáveis.

Nas Adegas de fermentação (Tabela 4), é realizado o processo fermentativo da cerveja, onde a levedura *Saccharomyces cerevisiae* utiliza os açúcares presentes no mosto como fonte de energia para a produção de etanol e CO_2 . No entanto, esta etapa do processo cervejeiro é geradora de efluentes com alto índices de carga orgânica. Segundo Portes (2016) esta fase é essencialmente dividida em duas etapas: uma aeróbia, na qual há a reprodução das leveduras, que aumentam de 2 a 6 vezes a sua quantidade; e outra anaeróbia, onde as leveduras realizam a

conversão dos açúcares presentes no mosto em CO₂ e álcool (a fermentação propriamente dita). Na tabela 5 é possível conferir os valores total de volume e carga orgânica do setor de Adeegas de Fermentação.

Tabela 4: DQO, Volume e carga orgânica dos descartes das Adeegas de Fermentação.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
Adeegas de Fermentação	Tanque TFM	Enxágue resíduo de Fermento	2,4	25000	2	120,00
Adeegas de Fermentação	Linha de recolha	Enxágue Resíduo de Fermento	3,0	19000	2	114,00
Adeegas de Fermentação	Linha de Descarte	Enxágue Resíduo de Fermento	5,0	47800	2	478,00
Adeegas de Fermentação	Linha de dosagem	Enxágue Resíduo de Fermento	6,0	23500	2	282,00
Adeegas de Fermentação	Cip Fermat	Enxágue Resíduo de cerveja	6,0	43100	6	1551,60
Adeegas de Fermentação	Tanque Fermentador	Enxágue Resíduo de Fermento	6,0	47800	1	286,80
Adeegas de Fermentação	Centrífuga	Resíduo Fermento	3,0	14000	1	42,00
Adeegas de Fermentação	Linha de centrífuga	Resíduo Fermat/ cerveja	1,2	14300	1	17,16
Adeegas de Fermentação	Descarte de produto	Chop	0,9	109000	1	92,65
Adeegas de Fermentação	Purga GELAGER	Residuo de fermento	3,0	110000	2	660
Adeegas de Fermentação	Tanque de fermento	Enxágue resíduo de	3,0	99800	1	299,4

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
	excedente	Fermento				
Adegas de Fermentação	Tanque de Descarte de Fermento	Resíduo Fermento	3,0	112000	3	959,4

Fonte: Autor (2023)

Tabela 5: Carga Orgânica e volume total gerado na adegas de fermentação

Carga orgânica Total Máxima	6791 kg/dia
Volume máximo Gerado	118 m³/dia

Fonte: Autor (2023)

A principal geração de efluente nas adegas de fermentação é o resíduo de fermento deixado após o processo fermentativo, por tratar-se de levedura viva. O enxágue realizado antes das limpezas químicas com ácido ou soda cáustica acaba arrastando grande parte destes resíduos fermentativos, o que justifica os valores elevados de DQO. A carga orgânica do resíduo de fermento chega a ser mais elevada que a carga do Chopp, como pode-se observar na Tabela 4.

Santos *et al.* (2005) corroboram para o estudo ao afirmar que, ao final da etapa de fermentação, tem-se como produtos finais o mosto fermentado, um excesso de leveduras (que se multiplicam durante o processo) e uma grande quantidade de CO₂, que após ser purificado é enviado para a etapa de carbonatação da cerveja. O excesso de leveduras é então levado para tratamento e estocagem, sendo uma parte reutilizada em novas bateladas de fermentação e outra parte vendida para indústria de ração animal. No entanto, pequenas proporções de fermento excedente são enviadas a estação de tratamento de efluentes ao realizar as limpezas dos tanques e dornas de fermentação, como indiciado pelas altas cargas da purga de GALAGER que apresenta 110000 mg/L de DQO e o resíduo de fermento do Tanque de enxágue de fermento com 112000 mg/L.

Observando os resultados físico-químicos na Tabela 6, evidenciam-se os baixos valores de pH, que variou de 3,91 a 5,71. Esses valores baixos de potencial hidrogeniônico desempenham um papel fundamental na atividade enzimática e na viabilidade celular. Estudos realizados por Kunze (2006) indicam que valores de pH adequados, geralmente encontrados na

faixa de 4,2 a 4,8, promovem condições ideais para a atividade das enzimas responsáveis pela conversão dos açúcares. Além disso, o controle preciso do pH durante a fermentação contribui para a produção de cervejas de alta qualidade, minimizando a formação de subprodutos indesejados.

Tabela 6: Redox, Temperatura e pH dos descartes da Sala de Adegas de Fermentação

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura do descarte ($^\circ\text{C}$)	pH do descarte $\pm 23,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Adegas de Fermentação	Tanque TFM	Enxágue resíduo de Fermento	$135,2 \pm 0,1$	20	$5,71 \pm 0,01$
Adegas de Fermentação	Linha de recolha	Enxágue Resíduo de Fermento	$224,6 \pm 0,1$	24	$5,71 \pm 0,01$
Adegas de Fermentação	Linha de Descarte	Enxágue Resíduo de Fermento	$-168,8 \pm 0,1$	25	$4,37 \pm 0,01$
Adegas de Fermentação	Linha de dosagem	Enxágue Resíduo de Fermento	$109,4 \pm 0,1$	25	$3,68 \pm 0,01$
Adegas de Fermentação	Cip Fermat	Enxágue Resíduo de cerveja	$141,6 \pm 0,1$	20	$3,98 \pm 0,01$
Adegas de Fermentação	Tanque Fermentador	Enxágue Resíduo de Fermento	$224,8 \pm 0,1$	25	$5,23 \pm 0,01$
Adegas de Fermentação	Centrífuga	Resíduo Fermento	$-59,6 \pm 0,1$	80	$5,14 \pm 0,01$
Adegas de Fermentação	Linha de centrífuga	Resíduo Fermat/ cerveja	$-247,4 \pm 0,1$	25	$5,71 \pm 0,01$
Adegas de Fermentação	Descarte de produto	Cerveja	$60,8 \pm 0,1$	8	$3,91 \pm 0,01$
Adegas de Fermentação	Purga GELAGER	Residuo de fermento	$104,2 \pm 0,1$	18	$4,11 \pm 0,01$

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) ± 22,8 °C	Temperatura do descarte (°C)	pH do descarte ± 23,2 °C
Adegas de Fermentação	Tanque de fermento excedente	Enxágue resíduo de Fermento	104,2 ± 0,1	22	4,93 ± 0,01
Adegas de Fermentação	Tanque de Descarte de Fermento	Resíduo Fermento	-183,4 ± 0,1	18	4,11 ± 0,01

Fonte: Autor (2023)

Na fermentação cervejeira, a temperatura é uma variável crítica que exerce influência direta sobre a atividade metabólica dos microrganismos envolvidos no processo. Manter uma faixa de temperatura adequada é essencial para garantir a eficiência da fermentação e a produção de compostos desejados. Estudos recentes destacam que temperaturas ótimas para a fermentação alcoólica, conduzida principalmente por leveduras, situam-se geralmente entre 18 °C e 24 °C. Briggs *et al.* (2004) explicam em seus estudos que essa faixa de temperatura proporciona um ambiente propício para a expressão ideal das enzimas envolvidas na conversão dos açúcares, resultando em uma fermentação vigorosa e na produção de cervejas com características sensoriais desejadas.

Ao analisarmos os resíduos gerados durante a fermentação, a temperatura continua a desempenhar um papel crucial. Variações abruptas ou extremas podem levar a processos fermentativos indesejados, influenciando negativamente o perfil sensorial do produto final. Referente ao Redox das amostras selecionadas, observam-se grandes variabilidades, o que exige atenção nas etapas de equalização desses efluentes para obter um líquido mais homogêneo e assim tomar decisões corretas no seu tratamento.

Outra área geradora de efluentes dentro do processo produtivo cervejeiro é a Filtração (Tabela 7), que constitui um conjunto de tanques, dornas de filtração e trocadores de calor. Nesta área também são encontrados os tanques pressurizados responsáveis por enviar o Chopp para as linhas de envase. É possível observar na tabela 8 que os valores totais de volume de efluente e carga orgânica na sala de filtração são bem baixos, pois o maior impacto nesta área são os químicos usados para *cip* e estes possuem mais impacto em toxicidade do descarte.

Tabela 7: DQO, Volume e carga orgânica dos descartes da sala de Filtração

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
Filtração	Linha de cerveja maturada	Enxágue resíduo de Cerveja	2,0	46900	1	93,80
Filtração	Linha de filtração	Enxágue resíduo de Cerveja	0,5	12900	7	45,15
Filtração	Tina filtro	Resíduo terra+água	3,0	30000	3	270,00
Filtração	BT 01	Enxágue resíduo de Cerveja	2,0	340	8	5,44
Filtração	IFF's	Enxágue com Resíduo	3,0	1010	1	3,03
Filtração	TP	Água com resíduo de Cerveja	3,0	980	1	2,94
Filtração	TP	Água de início	3,0	980	3	8,82
Filtração	Trocador de calor	Água quente trocado de calor	5,1	180	3	2,75
Filtração	TP	Enxágue TP	3,0	980	1	2,94
Filtração	PVPP	Enxágue INICIAL	40	1300	1	52,00

Fonte: Autor (2023)

Tabela 8: Carga orgânica e volume total gerado na Adegas de filtração.

Carga orgânica Total Máxima	487 kg/dia
Volume máximo Gerado	103,8 m³/dia

Fonte: Autor (2023)

De acordo com Rosa e Afonso (2016), após a fermentação o líquido cervejeiro é resfriado e transferido para os tanques de maturação, onde a temperatura é mantida abaixo de 0 °C. A maturação pode durar de 6 a 30 dias, variando de uma cervejaria para outra, ou até semanas, ocorrendo alterações químicas que auxiliam a clarificação e melhoram o aroma e sabor da bebida. Nesta etapa, são removidos os resquícios de fermento que permaneceram e que são posteriormente enviados para a linha de despejos líquidos. Quando é realizada a troca de líquido dentro dos tanques de maturação e os tanques de pressão, se faz necessária a realização de esterilização destes tanques para não haver contaminação cruzada entre as cervejas. Desse modo, a cada batelada de produção, a água de realização do enxágue nestes tanques carrega uma quantidade considerável de matéria orgânica, o que evidencia o alto valor de DQO do descarte da linha de maturação de cerveja com 46900 mg/L.

Na elaboração de cerveja, a escolha e aplicação de materiais filtrantes desempenham um papel vital na obtenção de características desejadas. A terra diatomácea, conhecida por sua eficácia na retenção de partículas sólidas, destaca-se como um agente eficiente na clarificação do mosto cervejeiro (KUNZE, 1996). Além disso, o polivinilpolipirrolidona (PVPP), reconhecido por sua capacidade de adsorver polifenóis indesejados, emerge como uma ferramenta valiosa na modulação da estabilidade coloidal e na melhoria da qualidade sensorial da cerveja final (SCHMIDELL, W. *et al.*, 2001). A integração estratégica desses materiais filtrantes revela-se essencial para atingir os padrões exigentes da indústria cervejeira, contribuindo significativamente para a excelência sensorial e a estabilidade do produto final. Por ter contato direto com a cerveja já pronta, a área de filtração apresentou faixas de pH baixas devido a característica ácida da cerveja, como pode-se observar na Tabela 9.

Tabela 9: Redox, Temperatura e pH dos descartes da sala de Filtração

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) ± 22,8 °C	Temperatura do descarte (°C)	pH do descarte ± 23,2 °C
Filtração	Linha de cerveja maturada	Enxágue resíduo de Cerveja	-27,2 ± 0,1	80	5,37 ± 0,01
Filtração	Linha de filtração	Enxágue resíduo de Cerveja	49,4 ± 0,1	80	5,16 ± 0,01
Filtração	Tina filtro	Resíduo terra+água	-153,2 ± 0,1	24	5,81 ± 0,01

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura do descarte ($^\circ\text{C}$)	pH do descarte $\pm 23,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Filtração	BT 01	Enxágue resíduo de Cerveja	-133,0 \pm 0,1	80	5,37 \pm 0,01
Filtração	IFF's	Enxágue com Resíduo	90,0 \pm 0,1	25	5,31 \pm 0,01
Filtração	TP	Água com resíduo de Cerveja	399,8 \pm 0,1	16	4,81 \pm 0,01
Filtração	TP	Água de início	402,8 \pm 0,1	25	4,80 \pm 0,01
Filtração	Trocador de calor	Água quente trocado de calor	99,4 \pm 0,1	80	6,90 \pm 0,01
Filtração	TP	Enxágue TP	202,2 \pm 0,1	20	4,82 \pm 0,01
Filtração	PVPP	Enxágue INICIAL	-342,4 \pm 0,1	80	13,14 \pm 0,01

Fonte: Autor (2023)

Os valores encontrados para redox foram em sua maioria positivos, tornando-se justificáveis devido ao contato direto com a cerveja e os resíduos oriundos da filtração. Para manutenção, limpeza e regeneração das linhas que possuem o material filtrante, com a finalidade de retirar resíduos de matéria orgânica, é usada periodicamente uma solução de soda cáustica (NaOH), desta forma, alguns descartes alcalinos podem ocorrer constantemente. As temperaturas altas evidenciadas estão relacionadas ao primeiro enxágue antes da limpeza dos tanques ser realizada com água quente, facilitando a remoção do residual deixado nos tanques e tubulações da produção.

Já no processo de elaboração de refrigerantes, a carga orgânica gerada não apenas influencia as características sensoriais destas bebidas, mas também desempenha um papel crítico no tratamento de efluentes gerados durante o processo de produção. Pesquisas recentes indicam que a elevada carga orgânica nos resíduos líquidos dessas indústrias pode representar um desafio significativo para os sistemas de tratamento de águas residuais (Silva *et al.*, 2021).

A presença de compostos orgânicos complexos nos xaropes, como açúcares e aditivos, pode exigir abordagens específicas e avançadas para garantir uma eficiente remoção durante as etapas de tratamento, minimizando assim o impacto ambiental associado à descarga desses

efluentes. Como pode-se observar na Tabela 10, despejos industriais do processo produtivo de refrigerantes apresentam elevadas cargas de DQO, principalmente quando considera-se as bebidas no sabor cola, devido a quantidade de açúcar usada na sua formulação. Na tabela 11 é possível verificar que o volume gerado na xaroparia é baixo, no entanto possui grande impacto quando é analisado o seu valor de carga orgânica. Essa relação justifica-se pela grande quantidade de sacarose usada durante o processo de fabricação de refrigerantes.

Tabela 10: DQO, Volume e carga orgânica dos descartes da Xaroparia.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope Guaraná	3,0	8000	3	72,00
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope cola	3,0	209250	3	1883,25
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope Limão	3,0	27000	3	243,00
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope laranja	3,0	30000	3	270,00
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope uva	3,0	45100	3	405,90
Xaroparia	Produto não conforme	Refrigerante	3,0	43100	3	387,90

Fonte: Autor (2023)

Tabela 11: Carga Orgânica e volume total gerado na xaroparia.

Carga orgânica Total Máxima	3262 kg/dia
Volume máximo Gerado	54 m³/dia

Fonte: Autor (2023)

As características físico-químicas dos refrigerantes abrangem uma gama de propriedades que influenciam diretamente sua qualidade e aceitação pelos consumidores. Almeida (1993) descreve que a acidez, medida pelo pH, desempenha um papel vital na percepção do sabor, enquanto a concentração de açúcares, determinada pela Brix, influencia diretamente a doçura e a densidade calórica, além de conferir matéria orgânica na solução. A presença de dióxido de carbono confere carbonatação e efervescência, afetando a sensação na boca. Além disso, a coloração, frequentemente ajustada com corantes caramelos, contribui para a estética do produto. A estabilidade coloidal, medida pela turbidez, é essencial para a manutenção da aparência ao longo do tempo. Compreender essas características é crucial para garantir a consistência sensorial e a conformidade com os padrões regulatórios, destacando a interdisciplinaridade na análise de refrigerantes. Desta maneira os resultados das características físico-química do setor de xaroparia estão dispostas na tabela 12.

Tabela 12: Redox, Temperatura e pH dos descartes da xaroparia.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) ± 22,8 °C	Temperatura do pH do descarte (°C)	pH do descarte ± 23,2 °C
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope Guaraná	378,0 ± 0,1	18	3,45 ± 0,01
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope cola	420,0 ± 0,1	20	2,22 ± 0,01
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope Limão	345,0 ± 0,1	15	4,01 ± 0,01
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope laranja	399,4 ± 0,1	18	3,79 ± 0,01
Xaroparia	TQ xarope	Enxague com xarope	290,0 ± 0,1	18	3,65 ± 0,01

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura do pH do descarte descarte ($^\circ\text{C}$)	pH do descarte $\pm 23,2 \text{ }^\circ\text{C}$
		uva			
Xaroparia	Produto não conforme	Refrigerante	$411,2 \pm 0,1$	18	$2,36 \pm 0,01$

Fonte: Autor (2023)

Com influência dos aditivos e ingredientes usados no processo de elaboração do xarope, é possível observar que o perfil dos resultados do potencial de oxirredução apresentou-se positivo, o que sugere o tratamento aeróbico a fim de obter melhor eficiência na remoção de carga orgânica. O perfil de pH apresenta-se ácido em todas as amostras, corroborando com o método de barreiras, estendendo a vida de prateleira do produto e a temperatura dos materiais estudados não ultrapassou a faixa de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Após a produção da cerveja e do refrigerante, os líquidos seguem por tubulações até a área de *packaging* onde serão envasados nos respectivos vasilhames de acordo com os respectivos SKU's. Na unidade estudada são utilizadas garrafas PET (Polietileno Tereftalato) para o envase de refrigerantes, esta embalagem representa uma face essencial da indústria de bebidas carbonatadas, desempenhando um papel significativo tanto na preservação da qualidade do produto quanto na satisfação do consumidor.

A escolha pela utilização de garrafas PET como recipiente primário reflete uma combinação de características que visam atender aos requisitos de praticidade, leveza e resistência, além de proporcionar benefícios logísticos e ambientais. A durabilidade e maleabilidade do PET facilitam o processo de envase, permitindo a produção em larga escala com eficiência operacional. A unidade fabril estudada dispõe de duas linhas de envase de refrigerantes, uma para os volumes de 200 mL e 500 mL e outra linha para os volumes de 1 L, 1,5 L, 2 L e 2,5 L. Cada linha de produção produz em média 4500 hL/dia. Os resultados de Carga Orgânica, volume total, carga orgânica total, pH, Temperatura e Redox das linhas que envasam em PET's estão descritos a seguir nas Tabelas 13, 14 e 15 .

Tabela 13: Carga orgânica das linhas de envase de refrigerante.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m^3)	DQO (mg/L)	Quantidade máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m^3)
Envase	Linha	Início/Final	0,6	4000	1	1,44

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
(Refrigerante)		de produção				
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Guaraná	0,4	90000	1	36
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Cola	0,4	100000	1	40
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Limão	0,4	2700	1	1,08
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Uva	0,4	120000	1	48
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Laranja	0,4	115000	1	46

Fonte: Autor (2023)

Tabela 14: Carga orgânica e Volume total por linha.

Carga orgânica Total Máxima	172,52 kg/dia
Volume máximo Gerado	2,60 m³/dia

Fonte: Autor (2023)

Os valores de DQO variam de acordo com o sabor da bebida que está sendo processada, isto é, refrigerantes que usam suco de fruto e têm açúcar como base para o xarope apresentam valores de DQO mais elevados, o que impacta diretamente no valor de carga orgânica. É o exemplo dos efluentes gerados no enchimento do refrigerante de uva e laranja, como observado na Tabela 12. Já os produtos que usam edulcorantes para substituir a sacarose mostram-se com valores bem reduzidos de DQO, como é o caso do refrigerante sabor limão estudado.

Tabela 15: Redox, Temperatura e pH dos descartes das linhas de envase de refrigerante.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) ± 22,8 °C	Temperatura do descarte (°C)	pH do descarte ± 23,2 °C
Envase	Linha	Início/Final	420,2 ± 0,1	18	2,33 ± 0,01

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura do descarte ($^{\circ}\text{C}$)	pH do descarte $\pm 23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
(Refrigerante)		de produção			
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Guaraná	$325,4 \pm 0,1$	18	$2,43 \pm 0,01$
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Cola	$340,4 \pm 0,1$	18	$2,43 \pm 0,01$
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Limão	$345,6 \pm 0,1$	15	$4,00 \pm 0,01$
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Uva	$350,4 \pm 0,1$	18	$3,91 \pm 0,01$
Envase (Refrigerante)	Enchedora	Refrigerante Laranja	$340,4 \pm 0,1$	18	$4,31 \pm 0,01$

Fonte: Autor (2023)

Os descartes oriundos do envase de refrigerante mostraram-se ácidos com pH abaixo de 4,5 em todas as amostras e os valores de redox resultaram positivos e acima de 300 mV. Em bebidas gaseificadas, os valores de potencial redox são determinantes para a manutenção da estabilidade e qualidade do produto. O controle rigoroso desses parâmetros é fundamental para prevenir processos oxidativos que poderiam comprometer o sabor, cor e aroma da bebida. O potencial redox influencia diretamente na preservação dos ingredientes presentes, como ácidos orgânicos e compostos aromáticos, contribuindo para a durabilidade e aceitabilidade sensorial do refrigerante.

O potencial redox é influenciado pelos ingredientes presentes, como ácidos, açúcares, antioxidantes e conservantes. Em geral, as bebidas refrigerantes comerciais são formuladas de maneira a manter um equilíbrio adequado entre os componentes oxidantes e redutores para preservar a qualidade do produto ao longo do tempo.

Colocando em evidência o envase de cerveja, a escolha por garrafas de vidro, especialmente quando concebidas para serem retornáveis, reflete uma abordagem sustentável, alinhada aos princípios de redução de resíduos e gestão ambiental. Esta modalidade de embalagem não apenas preserva a integridade sensorial da cerveja, protegendo-a contra fatores externos prejudiciais, mas também promove a responsabilidade ambiental ao minimizar o impacto associado ao descarte de embalagens. Neste estudo foram contempladas duas linhas de

envase de cerveja retornáveis, uma que envasa o volume de 600 mL por garrafa e na outra o volume de 300 mL. Ambas possuem capacidade média diária de envasar 4500 hL/dia. Os resultados das análises destas linhas seguem nas Tabelas 16,17, 18 ,19, 20 e 21. Os resultados foram bem semelhantes nas duas linhas, devido o processo e equipamentos seguirem o mesmo fluxo diferenciando apenas o volume de enchimento.

Tabela 16: DQO, Volume e Carga orgânica dos descartes do Envase de cerveja 600 mL

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
Envase (Retornáveis 600 ml)	Linha	Início/Final de produção	1,0	67000	1	67
Envase (Retornáveis 600 ml)	Lavadora	Água com soda	100,0	1000	1	100
Envase (Retornáveis 600 ml)	Enchedora	Enxágue	5	60	1	0,3
Envase (Retornáveis 600 ml)	Mal cheia	Cerveja	2	67000	1	134
Envase (Retornáveis 600 ml)	Descarte PNC	Cerveja	0,6	120000	2	144

Fonte: Autor (2023)

Tabela 17: Carga Orgânica e volume total gerado no Envase de Volumes de 600ml

Carga orgânica Total Máxima	445,3 kg/dia
Volume máximo Gerado	190,2 m³/dia

Fonte: Autor (2023)

A carga orgânica gerada na área de envase de retornáveis foi bem baixa quando comparada aos outros setores da fábrica, isso é justificável devido ao uso de soluções de soda cáustica nas rotinas de CIP. Sua natureza altamente alcalina permite que ela reaja vigorosamente com resíduos orgânicos, tais como depósitos de óleos e compostos orgânicos

complexos presentes nas tubulações. A soda cáustica, ao interagir com a matéria orgânica, promove reações de saponificação e hidrólise, resultando na quebra de moléculas complexas em componentes mais simples e solúveis em água. Este processo de degradação química não apenas facilita a remoção eficiente de resíduos, mas também contribui para a redução da carga orgânica no sistema, promovendo a eficácia da limpeza e minimizando potenciais impactos ambientais.

Estudos desenvolvidos por Paiva (2009), relatam que o uso de soda cáustica para tratamento primário de efluentes reduz consideravelmente a carga orgânica total da solução a partir do mecanismo de consumo e da quebra das moléculas mais complexas de açúcares presentes no efluente.

Os resultados físico-químicos das amostras analisadas no envase de retornáveis estão dispostos na Tabela 17. Os resultados de começo de linha e amostras envolvendo produtos não conformes revelaram baixos valores de pH e redox positivo por se tratar de cerveja já pronta para consumo. Já os despejos provenientes dos demais equipamentos estudados mostraram-se mais alcalinos e com valores de redox negativos devido aos resíduos de carga orgânica deixados nas tubulações e ao uso de agentes alcalinos.

Tabela 18: Redox, Temperatura e pH dos descartes da linha de envase de cerveja 600 mL.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8$ °C	Temperatura do descarte (°C)	pH do descarte $\pm 23,2$ °C
Envase (Retornáveis 600 ml)	Linha	Início/Final de produção	102,2 \pm 0,1	18	4,00 \pm 0,01
Envase (Retornáveis 600 ml)	Lavadora	Água com soda	-244,2 \pm 0,1	70	11,93 \pm 0,01
Envase (Retornáveis 600 ml)	Enchedora	Enxágue	-187,4 \pm 0,1	70	9,62 \pm 0,01
Envase (Retornáveis 600 ml)	Mal cheia	Cerveja	102,6 \pm 0,1	20	4,02 \pm 0,01

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura do descarte ($^{\circ}\text{C}$)	pH do descarte $\pm 23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Envase (Retornáveis 600 ml)	Descarte PNC	Cerveja	102,4 \pm 0,1	20	4,02 \pm 0,01

Fonte: Autor (2023)

Tabela 19: Carga Orgânica gerada no envase de cervejas de volume de 300 mL.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
Envase (Retornáveis 300 ml)	Linha	Início/Final de produção	1,5	120000	1	180,00
Envase (Retornáveis 300 ml)	Lavadora	Água com soda	40,0	1000	1	40,00
Envase (Retornáveis 300 ml)	Enchedora	Enxágue	38,0	60	1	2,00
Envase (Retornáveis 300 ml)	Mal cheia	Cerveja	2	120000	1	240,00
Envase (Retornáveis 300 ml)	Produto não conforme	Cerveja	2	12000	1	240,00

Fonte: Autor (2023)

Tabela 20: Carga Orgânica e volume total do envase de cerveja de 300ml.

Carga orgânica Total Máxima	702,3 kg/dia
Volume máximo Gerado	84,5 m³/dia

Fonte: Autor (2023)

Tabela 21: Redox, Temperatura e pH dos descartes da linha de envase de cerveja 300 mL

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura do descarte ($^{\circ}\text{C}$)	pH do descarte $\pm 23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Envase (Retornáveis 300 ml)	Linha	Início/Final de produção	108,2 \pm 0,1	18	4,00 \pm 0,01
Envase (Retornáveis 300 ml)	Lavadora	Água com soda	-369,2 \pm 0,1	70	12,86 \pm 0,01
Envase (Retornáveis 300 ml)	Enchedora	Enxágue	-229,4 \pm 0,1	70	9,62 \pm 0,01
Envase (Retornáveis 300 ml)	Mal cheia	Cerveja	106,6 \pm 0,1	18	4,00 \pm 0,01
Envase (Retornáveis 300 ml)	Descarte PNC	Cerveja	104,4 \pm 0,1	18	4,00 \pm 0,01

Fonte: Autor (2023)

Existem alguns equipamentos específicos para limpeza de garrafas retornáveis, como a lavadora de garrafas e a extratora de rótulos. Desta forma, o volume de efluente gerado em cada linha dependerá da eficiência e integridade destes equipamentos, além de ser proporcional à quantidade de líquido envasado por dia. Os valores anteriormente descritos são baseados na produção média diária planejada para cada linha. A média de produção para cada uma das linhas mencionadas é de 4500 hL/dia.

Em ambas as linhas retornáveis, a maioria dos descartes industriais são provenientes das limpezas assépticas que são realizadas periodicamente, conhecidas como CIP (*Cleaning in Place*). Estas limpezas são realizadas constantemente em trocas de líquido de envase, trocas de tanques, mudança de cervejas, por tempo de funcionamento da linha de envase e outras situações que estão descritas no *Master Plan* da linha. Dependendo da demanda e da descrição da atividade, são utilizadas altas concentrações de soluções de soda cáustica como fonte alcalina com a finalidade de remover a carga orgânica, além de soluções de ácido nítrico e ácido peracético para auxiliar na limpeza e desinfecção da linha.

Com o avanço das tecnologias, as linhas de produção e envase de cerveja estão sendo adaptadas para promover o mínimo de perdas possíveis, ajudando na eficiência e rendimento

industrial. Na indústria estudada, a linha de envase em latas fisicamente é a mais tecnológica e automatizada dentre as outras evidenciadas, além disso, é a linha com a maior média de produção diária, com 5500 hL/dia, e a que menos gera efluentes para o tratamento, como pode-se observar na Tabela 22. Na tabela 23 podemos observar o baixo volume e a baixa carga orgânica total gerada na linha de envase de latas.

Tabela 22. Carga orgânica dos descartes do envase de latas.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade e máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
Envase (latas)	CIP Enchedora	Enxágue de soda	5,0	720	1	3,60
Envase (latas)	CIP Enchedora	Água quente	5,0	150	1	0,75
Envase (latas)	Pasteurizador	Água da saída pasteurizador	36,0	690	1	24,84

Fonte: Autor (2023)

Tabela 23: Carga orgânica e volume total da linha de envase em latas

Carga orgânica Total Máxima	29,19 kg/dia
Volume máximo Gerado	46,00 m³/dia

Fonte: Autor (2023)

Por ser uma linha mais compacta e com equipamentos mais eficientes, o volume total gerado foi um dos menores de toda a indústria estudada. Comportamento semelhante foi observado em relação à DQO, cujos baixos valores evidenciam o mínimo de perdas de líquido possível e a eficiência dos equipamentos. Desta maneira, esta linha foi a que menos apresentou impacto nos despejos industriais para carga orgânica. Já os valores de pH, redox e temperatura foram mais significativos, como é disposto na tabela 24.

Tabela 23: Redox, Temperatura e pH dos descartes da linha de envase de cerveja em latas.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) $\pm 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura do descarte ($^\circ\text{C}$)	pH do descarte $\pm 23,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Envase (latas)	CIP Enchedora	Enxágue de soda	$-263,2 \pm 0,1$	80	$13,31 \pm 0,01$
Envase (latas)	CIP Enchedora	Água quente	$24,4 \pm 0,1$	70	$8,32 \pm 0,01$
Envase (latas)	Pasteurizador	Água da saída pasteurizador	$-248,4 \pm 0,1$	70	$12,31 \pm 0,01$

Fonte: Autor (2023)

Os descartes gerados no envase de latas mostraram-se alcalinos com pH mínimo de 8,32 e máximo de 13,31. Os altos valores de temperatura devem-se à realização dos CIP's que são realizados a quente para melhorar a remoção de matéria orgânica e evitar contaminações e sujidades residuais nas tubulações.

Para o funcionamento integral da fábrica de bebidas, é necessário o fornecimento de utilidades como vapor, ar comprimido, CO_2 , água e frio. Ao observar e acompanhar o setor de utilidades, constatou-se que os únicos sistemas que geram carga orgânica são a casa de máquinas com o descarte de etanol, a usina de beneficiamento de CO_2 no lavador de espumas e a área de subprodutos com os despejos de produtos não conformes. Desta maneira, foram analisadas apenas estas amostras, como demonstrado nas Tabelas 25 e 26. Os demais sistemas que constituem a utilidades são geradores de toxicidade devido ao uso de químicos como coagulantes, anti-incrustantes, metabissulfito, permanganato e água.

Tabela 25. Carga orgânica dos descartes da Utilidades

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m^3)	DQO (mg/L)	Quantidade e máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m^3)
Utilidades	Casa de máquinas	Etanol	2	340000	1	680,00
Utilidades	Separador de espumas	Água separador de espuma	144	7200	1	1036,80

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Volume (m ³)	DQO (mg/L)	Quantidade e máxima de descartes por dia	Carga Orgânica total (kg/m ³)
Subprodutos	Prensa	Descarte cerveja	14,4	175000	1	2520,00
Subprodutos	Prensa	Descarte Refri	7,0	120000	1	840,00

Fonte: Autor (2023)

Tabela 26: Carga orgânica e volume total dos descartes gerados na Utilidades

Carga orgânica Total Máxima	3360,0 kg/dia
Volume máximo Gerado	21,4 m³/dia

Fonte: Autor (2023)

Os valores encontrados de DQO foram bem altos no setor de Utilidades, (Tabela 26) no entanto, o volume gerado neste setor foi bem baixo e com pouca incidência.

Tabela 27: Redox, Temperatura e pH dos descartes da Utilidades.

Área Produtiva	Equipamento	Amostra	Redox (mV) ± 22,8 °C	Temperatura do descarte (°C)	pH do descarte ± 23,2 °C
Utilidades	Casa de máquinas	Etanol	-554,4 ± 0,1	28	6,32 ± 0,01
Utilidades	Separador de espumas	Água separador de espuma	-308,4 ± 0,1	22	5,02 ± 0,01
Subprodutos	Prensa	Descarte cerveja	420,4 ± 0,1	30	3,91 ± 0,01
Subprodutos	Prensa	Descarte Refri	102,6 ± 0,1	30	3,51 ± 0,01

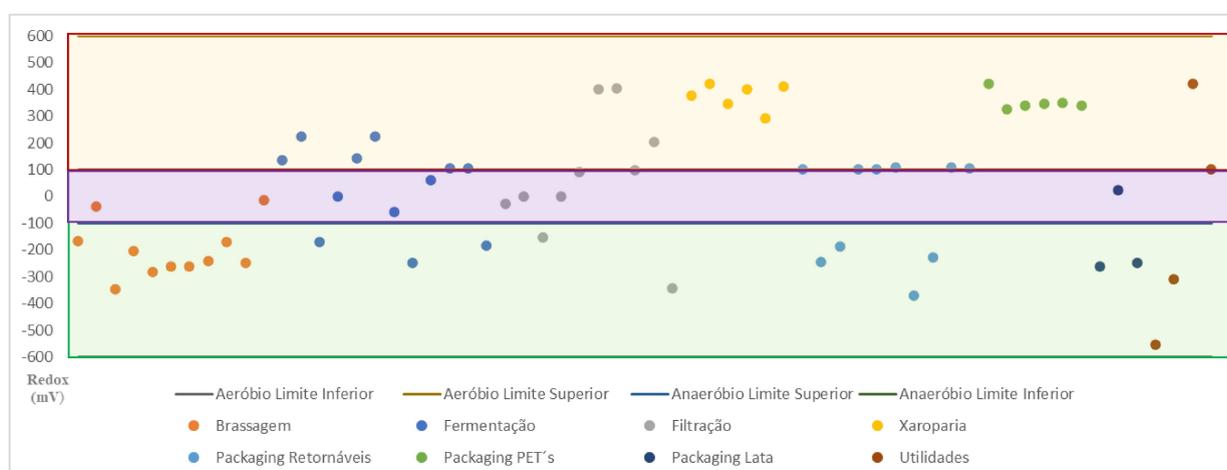
Fonte: Autor (2023)

As temperaturas dos despejos industriais da área de utilidades mantiveram-se entre 22 °C e 30 °C, visto que nesta área não é tão presente o uso de altas temperaturas. Assim, a maioria dos seus processos se mantém em temperatura ambiente e as rotinas de limpeza de tanques e tubulações também são realizados com soluções com temperaturas ambiente. Em relação ao

pH, as amostras avaliadas resultaram em valores baixos, com exceção ao etanol, que se mostrou mais próximo da neutralidade. A concentração do etanol usado na planta do setor utilidades é de 8%. Já para o potencial redox pode-se observar variação do extremo negativo ao extremo positivo no mesmo setor. Nesse sentido, no etanol vê-se que o valor sugere um tratamento biológico anaeróbico e nos produtos residuais das prensas na área de subprodutos sugere um tratamento aeróbico ou com uma prévia etapa de equalização no qual a homogeneização dos diferentes efluentes ajudariam na caracterização do efluente final para prosseguir com o tratamento.

Avaliando os valores obtidos em toda cervejaria para o potencial de oxirredução, é possível observar valores que vão do extremo positivo ao extremo negativo, como apontado no Gráfico 1. Estudos realizados por Faulwetter *et al.* (2009) descrevem que a presença de valores elevados de potencial redox (ORP = +100 a +500 mV) indica um ambiente susceptível à oxidação, propiciando processos aeróbicos, como a nitrificação. Em contrapartida, níveis mais baixos de potencial redox (ORP = -100 a -500 mV) estão associados às condições redutoras, estimulando processos anaeróbicos como a redução de sulfato, acetogênese e metanogênese. Em cenários anóxicos, onde o ORP se aproxima de 0 mV, observa-se uma propensão aos processos de desnitrificação (VON SPERLING, 1996), como observa-se no gráfico a seguir.

Gráfico 1: Redox dos efluentes coletados nas áreas Produtivas da Unidade Industrial



Fonte: Autor (2023)

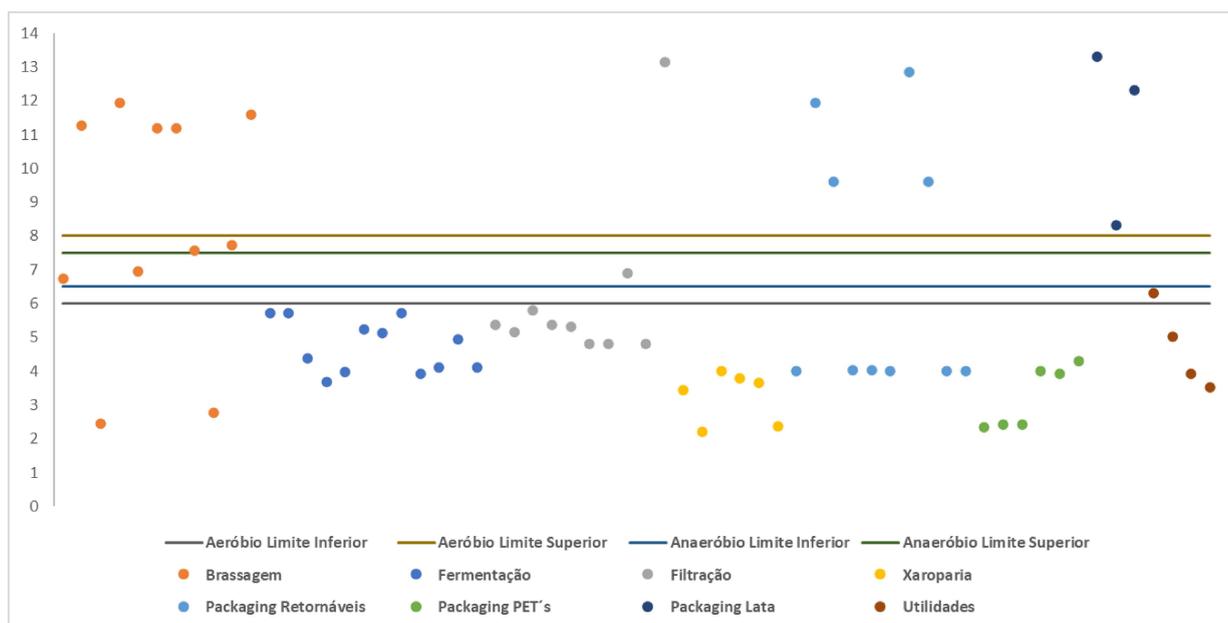
Sperling (1996) define que, para o tratamento anaeróbio, o ideal é que o potencial redox se mantenha abaixo de -100 mV, pois indica que a proporção de produtos químicos no efluente está em uma quantidade ideal para as bactérias metanogênicas. O mesmo estudo define que nos potenciais de oxirredução acima de 100 mV o tratamento biológico sugerido é o aeróbio e que no intervalo de -100 mV a 100 mV ocorre a zona anóxica anaeróbia. Desta maneira, evidencia-se no Gráfico 1 que os efluentes industriais gerados na indústria estudada apresentaram valores bem diferentes dependendo do setor de geração e do equipamento. Desta forma, é indispensável que na estação de Tratamento de efluentes responsável por tratar esse despejo seja realizada uma etapa eficiente de equalização para regular os valores de Redox e, assim, ser precisa quanto a escolha do tipo de tratamento a ser aplicado.

A presença de oxigênio no ambiente desempenha um papel crucial na definição das condições de oxidação e redução, influenciando, assim, as vias de transformação de poluentes. As trajetórias de conversão de matéria carbonácea e nitrogenada são determinadas pelo aceptor de elétrons e pelo estado de oxidação do composto, aspectos elucidados pelo potencial redox (VON SPERLING, 1996).

Estudos realizados por Barbosa (2012) relatam que o valor ideal de redox para efluentes equalizados deve ser no máximo 0 mV para o tratamento anaeróbio. Desta maneira, com a grande dispersão que observamos no Gráfico 1, podemos afirmar que é imprescindível que haja uma excelente equalização de todos os efluentes como tratamento inicial na Estação de Tratamento de Efluentes da Unidade, desta forma, o acompanhamento do potencial de oxirredução deve ser realizado na saída da equalização para tomada de decisões dentro da estação.

Outro parâmetro no qual observa-se grande dispersão nos resultados é o pH, cujos valores estão apresentados no Gráfico 2. Estudos realizados por Weiland (2010) revelam que a produção de metano ocorre dentro da faixa de pH entre 6,5 e 8,5, sendo que a faixa ideal se situa entre 6,5 e 7,5. Qualquer desvio neste intervalo pode resultar em inibição significativa do processo anaeróbio, sendo especialmente prejudicial a redução do pH para valores inferiores a 6,0 ou o aumento para valores superiores a 8,5.

Gráfico 2: Valores de pH dos efluentes coletados nas áreas produtivas da unidade industrial.



Fonte: Autor (2023)

No gráfico de dispersão dos valores de pH dos efluentes gerados é notório que há uma grande variação nos resultados, que vão de um extremo a outro. É possível notar também que poucos despejos se enquadram no range ótimo para o tratamento biológico, seja ele aeróbio ou anaeróbio, o que reforça ainda mais a necessidade de uma excelente equalização destes efluentes com um tempo adequado de detenção hidráulica para homogeneização e adequação do efluente. Após observar as características do efluente equalizado será possível tomar decisões de neutralização e adequação de pH para seguir com o tratamento biológico.

Para aumentar o pH dos efluentes, geralmente são empregados compostos como hidróxido de sódio ou soda cáustica, devido à sua alta solubilidade, o que facilita a dosagem no sistema. O hidróxido de cálcio ou cal hidratada é uma opção mais econômica, porém sua baixa solubilidade e a presença de impurezas podem resultar em corrosão. O carbonato e bicarbonato de sódio, conhecidos como barrilha, são mais caros, mas oferecem a vantagem de atuar como tampão.

A cal tem uma vantagem sobre a soda devido à presença do íon cálcio bivalente, que pode ser crucial para a floculação ou ajuste de pH desejado. A barrilha é comumente utilizada em reatores anaeróbios (PIVELLI e KATO, 2006).

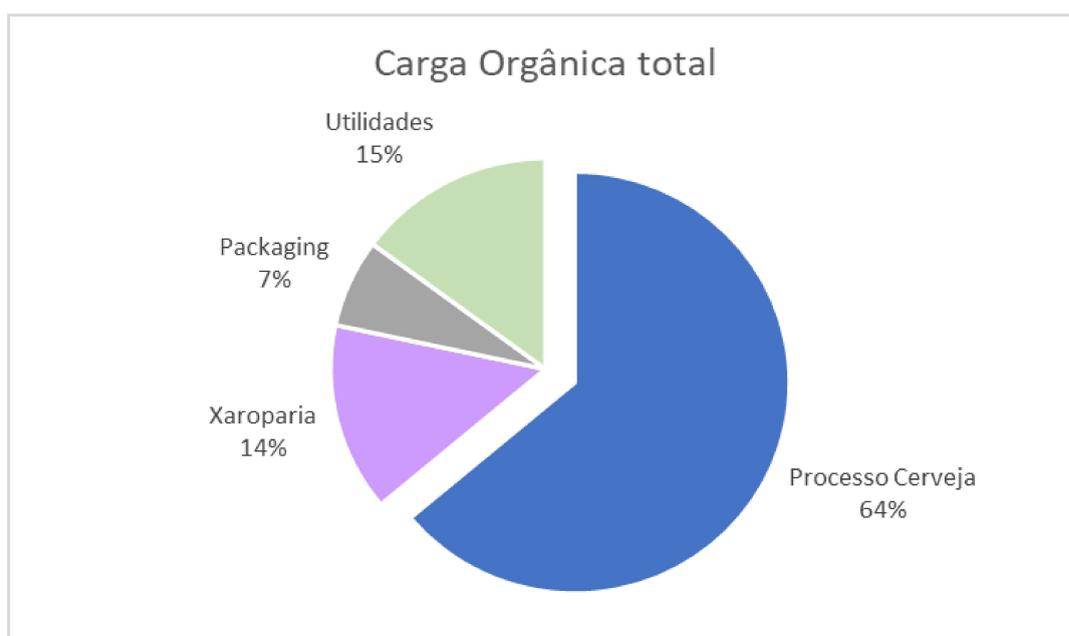
Para diminuir o pH da água, ácidos minerais como o clorídrico e sulfúrico são geralmente empregados. O ácido clorídrico comercial, mais acessível, é preferido no tratamento de esgoto, mas sua utilização pode gerar problemas quando o efluente tratado contém sulfato, resultando em odor, toxicidade e corrosividade. A presença de sulfato é um padrão de emissão

A escolha da temperatura ideal depende do tipo de microrganismo predominante no sistema biológico. Por exemplo, em sistemas de lodo ativado, organismos mesófilos prosperam em temperaturas moderadas, enquanto organismos termofílicos, adaptados a temperaturas mais elevadas, podem ser mais eficientes em condições específicas. A manutenção cuidadosa da temperatura é vital para garantir um ambiente propício ao crescimento e metabolismo eficiente desses microrganismos, otimizando assim o processo de tratamento.

Além disso, é importante considerar as flutuações sazonais e climáticas ao projetar sistemas de tratamento biológico para garantir que as condições ideais sejam mantidas ao longo do ano. A compreensão detalhada das características biológicas e das exigências térmicas dos microrganismos envolvidos é essencial para o sucesso do tratamento biológico de efluentes industriais.

Ao focar nos valores de carga orgânica encontrados, é possível entender uma distribuição significativa ao longo dos diferentes setores da cervejaria. O processo de fabricação de cerveja lidera com 14.453 kg DQO/dia, destacando-se como uma área crucial de maior impacto na carga orgânica da indústria estudada. Como pode-se observar no Gráfico 4, essa UG representa 64% de todo o impacto levantado neste estudo. As outras Unidades Gerenciais juntas totalizam 36% de todo o impacto, demonstrando baixa participação na carga orgânica total quando comparadas ao Processo cerveja.

Gráfico 4: Carga Orgânica Total das Unidades Gerenciais da indústria estudada



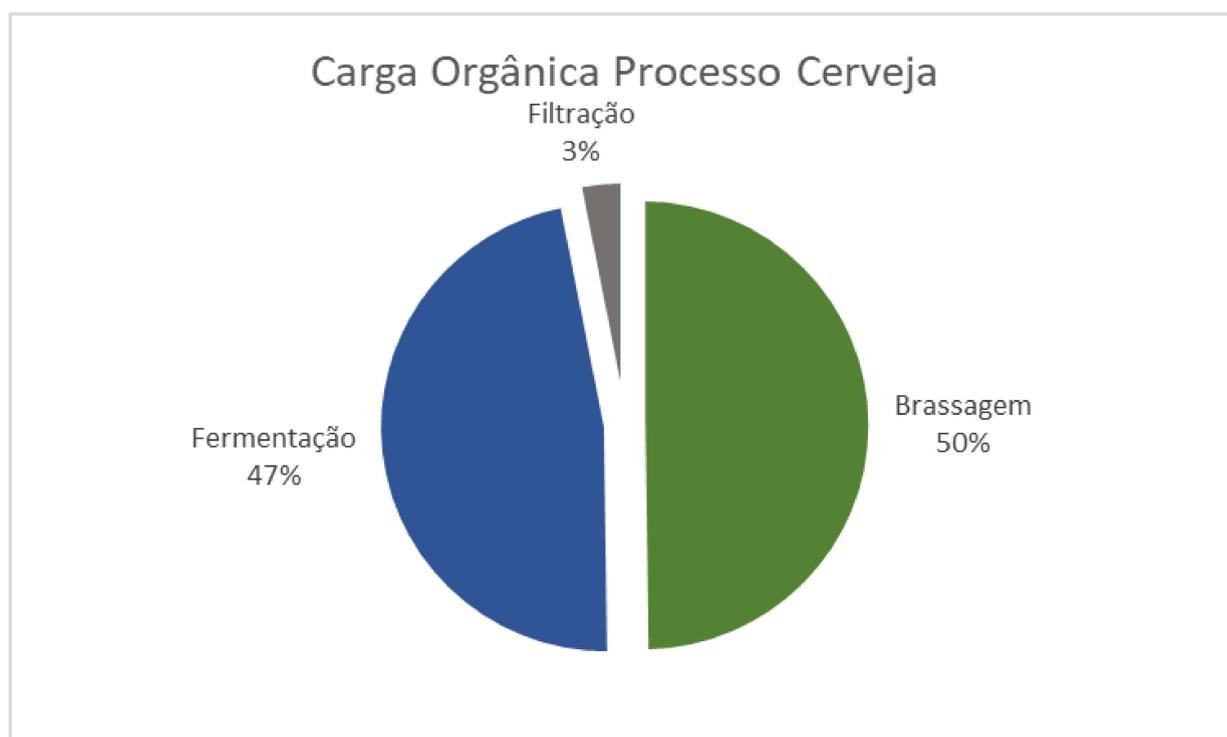
Fonte: Autor (2023)

A xaroparia, com 3262 kg DQO/dia, destaca-se como uma etapa relevante, enquanto o *packaging* também contribui de maneira substancial. Essa variedade indica a complexidade ambiental da cervejaria, sugerindo a importância de estratégias diferenciadas para otimizar a eficiência e reduzir a carga orgânica em cada fase específica. A alocação de carga orgânica no setor utilidades, com 3360 kg DQO/dia, ressalta a influência das operações de suporte. Embora não diretamente ligada à produção de cerveja, a gestão eficiente das utilidades pode impactar positivamente a sustentabilidade geral da cervejaria

Além disso, o setor de *packaging*, com 1.520,83 kg DQO/dia, demonstra que a fase final do processo também desempenha um papel relevante na carga ambiental. O gerenciamento eficiente dessa etapa pode não apenas reduzir a carga orgânica, mas também contribuir para a sustentabilidade geral da cervejaria.

Os dados ainda revelam uma distribuição significativa de carga orgânica em várias etapas do processo cervejeiro, conforme evidenciado no Gráfico 5. A brassagem, com 7175 kg DQO/dia, e a fermentação, com 6791 kg DQO/dia, destacam-se como os principais contribuintes dentro desta UG. Isso sugere que otimizar essas fases pode ter impactos notáveis na gestão da carga orgânica.

Gráfico 5: Carga Orgânica do Processo Cerveja.



Fonte: Autor (2023)

Ainda observando o Gráfico 5, é notório que a brassagem sozinha como sub-área do Processo Cerveja possui mais impacto que as outras UG's. A filtração, assim como a sala de

Brassagem, mostrou grande contribuição para o valor final do Processo Cerveja, com 47% de geração do valor total aportado pelo processo cervejeiro.

Ao avaliar o contexto geral e todos os efluentes levantados e analisados neste estudo, constatou-se que a produção máxima diária desta unidade fabril é 22.554,13 kgDQO/dia. Este valor é essencial para o levantamento e dimensionamento da capacidade mínima necessária da Estação de Tratamento de Efluentes desta planta. Desta forma, a capacidade de remoção de DQO do sistema de tratamento a ser adotado deverá ser superior a 22.554,13 kgDQO/dia.

6 CONCLUSÃO

Com base nos objetivos delineados, a presente pesquisa buscou realizar uma abordagem abrangente sobre os descartes em uma indústria de bebidas, com foco primordial em cerveja e refrigerante. Ao analisar meticulosamente parâmetros como volume de efluente, pH, temperatura, redox e DQO, visou-se não apenas compreender a magnitude dos impactos ambientais, mas também identificar áreas críticas que demandam especial atenção na Estação de Tratamento de Efluentes. Observou-se que a UG com maior impacto em carga Orgânica foi o Processo cerveja, com 64% da geração total diária estimada com os levantamentos realizados, e a área com maior impacto dentro desta unidade foi a sala de brasagem, com 50% da carga atribuída ao processo.

A partir do estudo realizado, é possível afirmar que a capacidade mínima essencial para a Estação de Tratamento de Efluentes é de 22.554,13 kg DQO removidas diariamente. Os resultados das análises físico-químicas evidenciaram variações substanciais nos parâmetros críticos de pH, Redox e temperatura nas amostras de efluentes analisados e grandes dispersões dentro das áreas estudadas. Diante dessa heterogeneidade, torna-se imprescindível implementar uma equalização cuidadosa dos efluentes, visando atingir características homogêneas que serão essenciais para tratamentos subsequentes. Além disso, a identificação de um tempo de detenção

hidráulica ideal emerge como um fator-chave para otimizar a eficácia do tratamento. Nesse contexto, ressalta-se a necessidade de pesquisas futuras direcionadas à seleção do tratamento biológico mais eficiente, considerando as particularidades dessas variações. Esses esforços adicionais não apenas contribuirão para a compreensão mais profunda dos desafios ambientais enfrentados pela indústria, mas também fornecerão bases sólidas para estratégias de gestão ambiental mais eficazes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA P. G. **A produção de refrigerante**. Engarrafador moderno, São Bernardo do Campo, v. 3, n. 26, p. 8-19, mar./abr. 1993.

AMORIM, L. L. G. **Análise de eficiência do sistema de lodo ativado no tratamento de efluentes de um curtume na cidade de Uberlândia – MG**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, V., 2014. Belo Horizonte/MG. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais

ANTONELLI, Dario; LITWIN, Paweł; STADNICKA, Dorota. Multiple System Dynamics and Discrete Event Simulation for manufacturing system performance evaluation. **Procedia CIRP**, v. 78, p. 178-183, 2018.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed. Washington: APHA, 1998.

ARAÚJO, G.S. **Elaboração de uma cerveja ale utilizando melão de caroá [sicana odorífera (vell) naudim] como adjunto do malte**. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

BARBOSA, R. A. **Fundamentos dos Parâmetros do PTP de ETEI**. Workshop de Meio Ambiente, Ambev, Jacareí, 2012.

BEM, Carla Cristina *et al.* Características da matéria orgânica–Estudo comparativo de padrões de espectrometria de fluorescência e UV-Vis de rio e lago em bacias urbanizadas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 1, p. 135-147, 2013.

Bitton, G.; **Wastewater Microbiology**; Wilry-Liss, New York, 1994; p 143

BRASIL. Decreto nº 6.871, de 4 de Junho de 2009. Regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Decreto 24.643, de 10 de julho de 1934. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-24643-10-julho-1934-498122-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 9 mar. 2019.

BRASIL. Governo do Brasil. **Brasil é o terceiro maior produtor mundial da bebida.** 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/08/brasil-e-o-terceiro-no-ranking-de-producao-mundial-de-cerveja/cerveja.jpg/view>>. Acesso em: 24 fev. 2013.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/vigilancia-agropecuaria/ivegetal/bebidas-arquivos/lei-no-12-305-de-02-de-agosto-de-2010.pdf/view>>. Acesso em: 30 jun. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 02 jul. 2023.

BRASIL, Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Resolução Consema nº 355, de 19 de julho de 2017. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. Malts, adjuncts and supplementary enzymes. In: BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. **Brewing: Science and Practice**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004b. cap. 2, p. 11-51.

BROCHIER, Mariana; CARVALHO, Sérgio. Aspectos ambientais, produtivos e econômicos do aproveitamento de resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cordeiros em sistema de confinamento. *Ciência e Agrotecnologia*: Universidade Federal de Lavras. Out. 2009.

CARVALHO, Lilian. Guerreiro. **Dossiê Técnico: Produção de cerveja**. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em :<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc>. Acesso em: 23 de Setembro de 2023.

CERVIERI JÚNIOR, O.; TEIXEIRA JUNIOR, J. R.; GALINARI, R.; RAWET, E. L.; SILVEIRA, C. T. J. O setor de bebidas no Brasil. BNDES Setorial, n. 40, p. 93-130, 2014.

CETESB. Câmara ambiental do setor de abata, frigorífico e graxaria. São Paulo.

CHEN, J. P.; SENG, S. S.; HUNG, Y.T. **Soft drink waste treatment**. In: WANG, L. K.; HUNG, Y. T.; LO, H. H.; YAPIJAKIS, C. Wastewater Treatment. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006.p.255-269.

CONAMA. RESOLUÇÃO – RE Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011.

DE OLIVEIRA, Celso Eduardo Lins *et al.* Avaliação e Perspectiva de Aplicação de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo em Indústrias de Alimentos e Bebidas no Brasil. **Journal of Health Sciences**, v. 14, n. 4, 2012.

FAULWETTER, J. L.; GAGNON, V.; SUNDBERG, C.; CHAZARENC, F.; BURR, M. D.; BRISSON, J.; CAMPER, A. K.; STEIN, O. R. Microbial processes influencing performance of treatment wetlands: A review. *Ecological Engineering*, v. 35, p. 18, 2009.

FREIRE, Renato Sanches *et al.* Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química nova**, v. 23, p. 504-511, 2000.

GIORDANO, Gandhi *et al.* Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.

GUERREIRO. L. Efluente em cervejaria. Resposta técnica. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

Indústria de Bebidas Garanhuns Ltda: aspectos do processo, controle de qualidade e tratamento de efluentes.

JORDÃO, E. P.; BÔAS, D. V.; CONCEIÇÃO, J. R.; SILVA, T. C. R.; SOBRINHO, P. A. Controle Microbiológico na operação de um sistema de lodos ativados – Estudo em escala piloto. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental,1–114, 1997.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª edição. 2009

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª edição. 2009 52
JUNIOR, A.S.V. Bebidas não alcoólicas: segmento de refrigerantes.

KANAGACHANDRAN, Kanagasooriyam; JAYARATNE, R. Utilization potential of brewery wastewater sludge as an organic fertilizer. *Journal of the Institute of Brewing*. Vol 112. P 92–96. 2006

- KOCHENBORGER, Guilherme. Tratamento físico-químico para efluente de cervejaria. **Passo Fundo**, 2012.
- KUNZE, W. Beer filtration: In Technology brewing and malting, 7th ed., 401–416. Trans. by T. Wainwright. Berlin: VLB Berlin, 1996.
- KUNZE, W. **Beer filtration: In Technology brewing and malting**, 7th ed., 401–416. Trans. by T. Wainwright. Berlin: VLB Berlin, 1996.
- KUNZE, W. La cerveza terminada. In: KUNZE, W. **Tecnología para Cerveceros y Malteros. Berlín**: VLB Berlin, 2006. cap. 7, p. 826-885.
- MANUAL DE MÉTODOS HACH. 2ª edição, Alemanha© Hach Company, 2005
- MANUAL DO FOTÔMETRO SQ - 118. Merck.
- MARCONDES, JOSIANE GASPARINI. Tratamento de efluentes. **Fema-Fundação Educacional do Município de Assis-Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis-Campos José Santilli Sobrinho**". Assis-SP, p. 49, 2012.
- MORAIS, Palloma Damascena. **Eficiência da estação de tratamento de efluente de uma empresa de bebidas não alcoólicas na região metropolitana de João Pessoa/PB**. 2017.
- MORAIS, Palloma Damascena. Eficiência da estação de tratamento de efluente de uma empresa de bebidas não alcoólicas na região metropolitana de João Pessoa/PB. 2017.
- PAIVA, Frederico José de Vaz e. **Redução de carga orgânica recalcitrante de efluente de industriográfica por reação de fenton**. 2009.78f. Dissertação(Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- PORTES, Amanda C. Pré-tratamento de efluente de microcervejaria por adsorção empregando adsorventes alternativos. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2016.
- PORTES, Amanda Costa *et al.* **Pré-tratamento de efluente de microcervejaria por adsorção empregando adsorventes alternativos**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- RODRIGUES, A. C. *et al.* Tratamento de efluentes vitivinícolas: uma caso de estudo na região dos vinhos verdes. 2006.
- ROSA, Natasha Aguiar; AFONSO, Julio Carlos; Química e sociedade: A química da cerveja. São Paulo: Revista Química Nova Escola, 2015, v 37. Disponível em: .
- ROSENTHAL, A. Tecnologia de Alimentos e Inovação: Tendências e Perspectivas. Ed. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2008.

SANT'ANA JUNIOR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.

SANTOS, H. R. **Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação**. 2006. 331 f. Tese (Programa de Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. Cervejas e Refrigerantes. São Paulo, CETESB. **Série P+ L**, p. 58, 2005.

SANTOS, M.S.; RIBEIRO, F.M. Cervejas e refrigerantes (Série P + L). São Paulo: CETESB, 2005. 58 p. Disponível em: https://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf
Acesso em: 25/01/2023.

SCOTTÁ, J. Avaliação e otimização de uma estação de tratamento de esgoto com sistema fossa e filtro de um município da Serra Gaúcha. (Monografia). Lajeado: Centro Universitário UNIVATES, 2015.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Potencial de consumo de cervejas no Brasil**. Agronegócio. Resposta Técnica. 2014. Disponível em: . Acesso em: 24/01/2023.

SELUY, Lisandro G.; ISLA, Miguel A. A process to treat high-strength brewery wastewater via ethanol recovery and vinasse fermentation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 53, p 17043-17050, 2014.

SÊNA, Julia; AFONSO, Júlio. Tratamento de efluentes de uma indústria de bebidas. Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, UFRJ. Rio de Janeiro, 2014.

SENESI, N.; MIANO T. M.; PROVENZANO, M. R.; BRUNETTI, G. Spectroscopy and compositional comparative characterization of I.H.S.S. reference and standard fulvic and humic acids of various origins. *Science of the Total Environment*, v. 81/82, p. 143- 156, 1989.

SERENO FILHO, José Amaro *et al.* Tratamento de efluentes da indústria de bebidas em reator anaeróbio de circulação interna (IC). **Revista Internacional de Ciências**, v. 3, n. 1, p. 21-42, 2013.

SILVA, Francisco Pereira Gomes da *et al.* **Sistema de tratamento de efluente industrial: reator anaeróbio de circulação interna**. 2018.

SILVA, Luana. Estudo da correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da região amazônica. Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas, 2012.

Silva, A. *et al.* (2021). "Challenges and Strategies for Organic Load Reduction in Wastewater from Beverage Industries." **Environmental Science and Technology**, 50(8), 4321-4335.

SILVA, Pedro Brivaldo Viana da. **Indústria de Bebidas Garanhuns Ltda: aspectos do processo, controle de qualidade e tratamento de efluentes**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.

SILVA, Pedro Brivaldo Viana da. **Indústria de Bebidas Garanhuns Ltda: aspectos do processo, controle de qualidade e tratamento de efluentes**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.

SILVA, Tamiris Pinzon. **Avaliação do desempenho do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de bebidas**. 2021.

SCHMIDELL, W. *et al.* **Biotecnologia industrial**. Sao Paulo, v. 3, 2001.

SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos Ativados**. Belo Horizonte: DESA/UFMG. V4, 3.ed. 2012. 428p.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. APHA. 23rd edição 2017 – 5220B. Open Reflux Method;

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. APHA. 23rd edição 2017 – 5220C. Closed Reflux,, Titrimetric Method;

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. APHA. 23rd edição 2017 – 5220D. Closed Reflux,Colorimetric Method;

STEIN, Ronei Tiago. **Caracterização e avaliação do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia, visando o reuso**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.

TOZETTO, L.M. **Produção e caracterização de cerveja artesanal adicionada de gengibre (Zingiber officinale)**. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211 p.

VON SPERLING, M. *et al.* Performance evaluation of a UASB – activated sludge system treating municipal wastewater. *Water Science and Technology* vol 43 n° 11 pg: 323–328, 2001.

ZUMSTEIN, J.; BUFFLE, J. Circulation of pedogenic and aquagenic organic matter in an eutrophic lake. *Water research* , v. 64, p. 41-59, 1989.