



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**GABRIELA CARREGARI JARDIM**

**REDUÇÃO DE FÓSFORO NO EFLUENTE INDUSTRIAL DE UMA  
CERVEJARIA EM UBERLÂNDIA/MINAS GERAIS**

**UBERLÂNDIA**

**2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**GABRIELA CARREGARI JARDIM**

**REDUÇÃO DE FÓSFORO NO EFLUENTE INDUSTRIAL DE UMA  
CERVEJARIA EM UBERLÂNDIA/MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil (FECIV), da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Iridalques Fernandes de Paula.

**UBERLÂNDIA**

**2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**GABRIELA CARREGARI JARDIM**

**REDUÇÃO DE FÓSFORO NO EFLUENTE INDUSTRIAL DE UMA  
CERVEJARIA EM UBERLÂNDIA/MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil (FECIV), da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. MSc. Iridalques Fernandes de Paula – Orientador (UFU)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Alice Rosa da Silva – Examinadora (UFU)

---

Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira – Examinador (UFU)

## RESUMO

A água é um recurso natural essencial para a vida. Porém cada vez mais é necessário diminuir o consumo afim de preservá-la. A indústria cervejeira utiliza grande quantidade de água, por ser também matéria prima, além de usada nos processos secundários. O presente trabalho foi realizado em uma cervejaria na cidade de Uberlândia-MG. Lá a água é retirada do meio, mas devolvida com qualidade igual ou superior ao rio. O estudo avaliou a utilização do coagulante Cloreto Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), dosado em unidade complementar ao sistema de tratamento do efluente industrial existente (ETEI), com o objetivo de redução da concentração de fósforo total no efluente industrial tratado, para atendimento à resolução nº 357 do CONAMA e suas alterações posteriores. Foram feitas análises antes de iniciar a dosagem desse sal, para quantificar o fósforo total presente no efluente final tratado, que é lançado no rio Araguari ou utilizado na fertirrigação de fazendas vizinhas. Posteriormente foi instalado um ponto de dosagem a montante do decantador, em uma caixa de mistura. Verificou-se que os melhores resultados na remoção de fósforo total foram obtidos quando o consumo de cloreto férrico, era equivalente a 17.905,6 kg de por mês. Determinações analíticas mostraram concentrações médias de fósforo total no efluente tratado, de 15,44 mg/L e 5,35 mg/L, sem e com a utilização do Cloreto Férrico, respectivamente. Com base nesses dados verificou-se a redução de 65% da concentração de fósforo total, com a utilização do Cloreto Férrico.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fósforo Total em 2019 nos efluentes da Cervejaria .....	400
Gráfico 2 - Fósforo Total em 2020 nos efluentes da Cervejaria .....	411

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso. ....	18
Tabela 2 - Qualidade da Água de acordo com o IQA e Estados Brasileiros. ....	19
Tabela 3 - Processo Cervejeiro da Cervejaria .....	28
Tabela 4 - Consumo de água na Cervejaria .....	29
Tabela 5 - Valores de cálculo obtidos. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 7
Tabela 6 - Relação de chegada de efluente em 2019.....	38
Tabela 7 - Testes de Fósforo realizados em 2019.....	39
Tabela 8 - Testes de Fósforo realizados em 2020.....	400

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do processo de fabricação da cerveja.....	200
Figura 2 - Representação do processo de fabricação da cerveja.....	266
Figura 3 - Fluxograma do sistema de tratamento do efluente da Cervejaria. ....	31

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
ETA - Estação de Tratamento de Água  
ETEI - Estação de Tratamento de Efluentes Industriais  
ETE - Estações de Tratamento de Efluentes  
IQA - Índice de Qualidade das Águas  
pH - Potencial Hidrogeniônico  
SINDICERV - Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja  
UASB - Reator Anaeróbio de Lodo de Fluxo Ascendente  
PL – Produção Líquida  
hl - hectolitro



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	122
1.1 Objetivo geral.....	122
1.2 Objetivos específicos .....	122
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	133
<b>2.1 A ÁGUA</b> .....	133
<b>2.2 GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS</b> .....	144
<b>2.3 A UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA</b> .....	155
<b>2.4 PADRÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA</b> .....	166
<b>2.5 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA</b> .....	17
<b>2.6 INDÚSTRIA CERVEJEIRA</b> .....	19
<b>2.7 PROCESSO PRODUTIVO DA CERVEJA</b> .....	200
<b>2.8 EFLUENTES NA INDÚSTRIA CERVEJEIRA</b> .....	222
<b>2.9 TRATAMENTOS DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA CERVEJEIRA</b> .....	233
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	266
<b>3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CERVEJARIA</b> .....	266
3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL DA CERVEJARIA ..	27
3.1.2 UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	29
3.1.3 PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	29
<b>3.2 MEMORIAL DE CÁLCULO</b> .....	34
<b>4 RESULTADOS</b> .....	35
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	422
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso proveniente da natureza, essencial para a vida de animais e dos seres humano, sendo recurso base para inúmeros processos. No âmbito industrial, as atividades executadas exigem a sua utilização, seja em etapas de produção ou em sistemas de refrigeração e vapor, dentre outras. Devido ao uso constante, é comum que a água entre em contato com poluentes, que possuem características próprias, podendo promover alterações químicas, físicas e biológicas da água utilizada, gerando um fluido novo, denominado efluente líquido. (Giordano, 2004; Porto e Schoenhals, 2012).

A indústria sofreu grandes mudanças no último século e desde os primórdios do seu desenvolvimento, tornou-se um hábito comum iniciar a construção perto de rios e outros provedores de água, pela disponibilidade constante do recurso para uso nas atividades e para usá-los como receptores de dejetos (Tundisi, 2013). Devido ao crescimento exorbitante deste setor, aumentou-se também o número e quantidade de dejetos que são lançados em mananciais de abastecimento, causando poluição hídrica. A poluição hídrica é conhecida como a consequência da incorporação de materiais diversos a um corpo de água, promovendo alterações das suas propriedades físico-químicas e biológicas (Siegle, 2012).

Os efluentes líquidos são parte destes dejetos e quando desprezados sem receber o devido tratamento, isto é, possuindo poluentes característicos, tendem a causar modificações em corpos receptores, contribuindo para a poluição (Castro, 2007; Fleck, Tavares e Eyng, 2013). Tais efluentes não podem ser descartados diretamente na natureza, devido à sua potencial capacidade de contaminação. Objetivando garantir a integridade do meio ambiente e a necessidade da adequação das atividades industriais, há legislações em vigor que exigem das indústrias, tratamento de seus efluentes antes do lançamento, seja em corpo hídrico ou na rede de esgoto (Giordano, 2004; Tipple e Júnior, 2018).

Nos dias de hoje, há uma grande quantidade de estudos sendo realizados buscando uma forma eficaz de amenizar as características dos efluentes, de forma que a poluição seja reduzida. Com intuito de reduzir o potencial poluidor

do efluente são realizados diversos tratamentos, e estes podem ser distintos ou combinados, denominados físicos, químicos, biológicos ou uma combinação de dois ou mais (Almeida *et al.*, 2004). Dentre a metodologia utilizada em estações de tratamento de efluentes (ETE's), é comum adotar técnicas e medidas que promovem a separação do lodo e de efluente industrial, mas para a conclusão do processo é necessário adicionar agentes químicos, que podem gerar uma poluição secundária, impedindo a reutilização dos recursos hídricos, caso os índices não sejam monitorados corretamente (Borba *et al.*, 2010; Crespilho e Rezende, 2004).

A temática da reutilização e conservação do meio ambiente estão em foco, ressaltando a necessidade de aliar alternativas de aumento de produção com redução de custos e menor impacto ambiental. Uma forma utilizada por muitas indústrias é promover, quando possível, a reciclagem da água utilizada durante os processos de produção. Esses processos geram efluentes que, submetidos a processos de tratamento, adquirem qualidade compatível com sua utilização em atividades específicas (Portes, 2016).

As indústrias cervejeiras buscam por opções que permitem a reutilização dos recursos, visto que, no processo de produção da cerveja, é utilizada uma grande quantidade de água. O processo de produção de cerveja gera grandes quantidades de efluente industrial, que devem ser tratados de maneira econômica e segura, de modo a cumprir com as legislações vigentes de descarga ou atingir parâmetros seguros para a sua reutilização. Ao final do processo há a presença de resíduos sólidos, que devem ser submetidos a sistemas de acondicionamento, como descrito na legislação vigente, possibilitando o seu descarte seguro ou a sua reutilização. Geralmente os sistemas de acondicionamento e tratamento de resíduos sólidos e líquidos demandam grande investimento financeiro, tornando-se um problema para a maioria das cervejarias (Simate *et al.*, 2012).

Para definir a tecnologia de tratamento dos efluentes líquidos das cervejarias, é necessário promover a sua caracterização, em razão da utilização de diversos produtos químicos, de propriedades distintas, no processo produtivo da cerveja, avaliando a presença dessas substâncias no efluente industrial. Indicadores de qualidade, definidos na legislação em vigor, permitem a caracterização desses efluentes industriais. Para caracterização são utilizados

indicadores de qualidade como cor, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio, entre outros. (Autora, 2020)

Uma determinada indústria cervejeira de grande porte, objeto do presente trabalho, utiliza as águas do rio Araguari, captadas na Represa de Miranda, no processo industrial. Os efluentes líquidos gerados no processo são conduzidos à ETEI, para tratamento. O efluente líquido da ETEI é lançado no Rio Araguari, cujas águas são utilizadas para de abastecimento público e irrigação, entre outros. O efluente da ETEI também é utilizado em sistemas de fertirrigação (técnicas de adubação que utilizam água de irrigação para levar nutrientes ao solo cultivado, segundo Coelho, Silva e Souza, 2000).. Sendo assim, é importante seguir a legislação ambiental vigente, tendo como base a Resolução CONAMA nº 357/2005 e suas alterações posteriores, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecem as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dão outras providências. (Autora, 2020)

Neste sentido, o presente trabalho visa a proposição e quantificação de um sistema de tratamento complementar ao sistema empregado na ETEI, para adequação do teor de fósforo ao padrão de lançamento especificado pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para rios de classe 2. (Autora, 2020)

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo geral**

Com base na concentração de fósforo total do efluente da ETE 1, que trata as águas residuárias do processo industrial da cervejaria, propor e estudar tecnologia complementar de tratamento dessas águas residuárias, para reduzir essa concentração no referido efluente, visando o atendimento à resolução nº 357 do CONAMA.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Conhecer e descrever o Sistema de Tratamento de Efluente Industrial da cervejaria.
- Apresentar referencial teórico sucinto sobre efluentes da cervejaria.
- Analisar os resultados das determinações analíticas de caracterização do efluente brutos e tratados na ETEI e verificar possíveis desconformidades com o Padrão de Lançamento em rios de classe 2.
- Propor e testar, em laboratório terceiro e dentro do laboratório da própria empresa (comparação), tecnologia complementar de tratamento que elimine possíveis desconformidades no efluente tratado na ETEI.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A ÁGUA

A água é um recurso natural e de extrema importância para garantir a existência de toda a vida, e cobre cerca de 70% da superfície do planeta Terra (Souza *et al.*, 2014). Há uma grande importância em conservar os recursos hídricos disponíveis, visto que de sua quantidade, menos de 1% encontra-se disponível para ser utilizada pelo homem (Macedo e Tavares, 2018).

Existem inúmeras aplicações e formas de utilização da água, que vão desde utilizações simples às mais complexas, como suporte à vida, abastecimento doméstico e industrial, irrigação, geração de energia e navegação, entre outros, podendo até atuar como solvente e para diluição de contaminantes (Torres *et al.*, 2018).

Visto sua tamanha significância e utilidade, em anos anteriores, foi um recurso bastante explorado sem conscientização de reutilização, pois entendia-se que era renovável. No entanto, em todo o mundo, compreende-se que no futuro, ocorrerá escassez da água, tornando-se um recurso limitado, necessitando-se buscar alternativas de reutilização (Santos, 2018; Whately e Campanili, 2016).

O Brasil possui a maior reserva de água doce do planeta, totalizando 11%, contribuindo para o comportamento ambiental irregular e irresponsável adquirido pela população, gerando consumo desordenado e grande desperdício de água (Oenning Junior e Pawlowsky, 2007). Entretanto, mesmo com esse número considerável disponível, a distribuição não se dá de forma uniforme e o elevado consumo de algumas áreas contribuem para a escassez hídrica. É necessário que haja um posicionamento dos partidos e órgãos regulamentadores para verificar o uso da água, tanto para consumo doméstico quanto industrial, tornando obrigatório a adoção de práticas e medidas que atuem no controle e redução da criticidade enfrentada pelo cenário atual (Abib *et al.*, 2010; Sautchuk *et al.*, 2004).

## 2.2 GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade. Nesse contexto, as águas do rio Araguari são enquadradas na classe 2.

É necessário haver comprometimento com a qualidade da água, devido ao seu uso para fins de abastecimento doméstico e em produtos ingeríveis, visto que é comum que as fontes de coleta do recurso hídrico também sejam fontes de despejo de efluentes domésticos, efluentes industriais e deflúvio superficial urbano e agrícola (Merten e Minella, 2002).

Com o uso constante desses recursos hídricos, inclusive para despejo de diversos materiais fluidos e sólidos, é preciso que haja um gerenciamento com objetivo de enfrentar sua escassez, buscando meios de controle de demanda e de redução de perdas, minimização da geração de efluentes e seus impactos, o que possibilita a continuidade de sua utilização para diversos fins (Bertoncini, 2008; Hespanhol, 2002).

Faz-se preciso, então, que haja uma imposição de órgãos responsáveis, garantindo o uso correto da água e qualidade final, de forma a possibilitar o reuso. Tendo isto em mente, em 1997, foi sancionada a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro, onde a água foi considerada um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Além disto, instituiu-se a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando-se o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, visando sua conservação (Brasil, 1997).

Um grande marco neste setor foi a Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Essa Resolução foi alterada e complementada pelas Resoluções CONAMA nº 393/2007, nº 397/2008, nº 410/2009 e nº 430/2011, que visam a proteção e preservação dos recursos hídricos. O cumprimento dessas Resoluções tem requerido das indústrias, o estabelecimento de programas de gestão ambiental, que incluem o tratamento adequado de seus efluentes. (Autora, 2020).

## 2.3 A UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA

A curva de demanda da água se tornou crescente desde meados do século XX, devido ao crescimento e desenvolvimento de três setores: demográfico, agrícola e industrial (Costa e Barros Júnior, 2005).

Estima-se que a indústria seja responsável pela utilização de, aproximadamente, 25% do consumo mundial de água. Este setor é comumente conhecido por desenvolver atividades potencialmente poluidoras, não devolvendo a água e demais recursos para o meio ambiente com a devida qualidade (Beal *et al.*, 2014; Weber *et al.*, 2010).

Em cada processo produtivo industrial, a água pode desempenhar um papel, seja o de matéria prima, que é incorporada quando o produto está em sua fase final; como um composto auxiliar; no setor de limpeza e resfriamento; dentre outros, de forma a se tornar essencial em todos os processos, visto que sua utilização é sempre necessária (Torres, 2019).

Sabe-se que a água é um recurso essencial muito utilizado nos processos de produção que requerem padrão de qualidade compatível com a sua utilização. Sendo assim, este padrão pode variar de acordo com o seu fim específico e a forma como será utilizada (Saraiva *et al.*, 2009). Tem-se vários exemplos de indústrias que fabricam produtos alimentícios, que devem prezar pela máxima qualidade desse recurso hídrico, visto que este encontra-se presente na parte produtiva. Já em outras indústrias, como montadoras de veículos, dentre outros segmentos em que ela não está presente no processo de produção, pode ser utilizada água com qualidade inferior, pois estará presente em sistemas, como os de limpeza e refrigeração, não tendo contato direto com o produto final. Sendo assim, uma empresa pode utilizar água com diversos padrões de qualidade, possibilitando a reutilização em outros setores e a gestão de recursos (Oenning Junior e Pawlowsky, 2007; Torres *et al.*, 2018).



## 2.4 PADRÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA

De acordo com Von Sperling (2005), a qualidade da água pode ser avaliada de acordo com sua composição, sob os aspectos físicos, químicos ou biológicos, identificando-se possíveis inconformidades relativas à sua utilização. A Resolução CONAMA nº 357/2005 buscou estabelecer parâmetros que definem limites aceitáveis de elementos estranhos, considerando seus diferentes usos, possibilitando um padrão de qualidade da água.

Avaliando tais fatores, é possível determinar para quais fins aquela água deve ser utilizada. Quanto maior o número da classe, menos nobre é o uso final do recurso hídrico, ou seja, seus padrões de qualidade são baixos e ela deve ser utilizada em locais e processos que não exigem tamanha seletividade. No que tange à água doce, há alguns fatores de concentração iônica que devem ser levados em consideração, todas seguindo as instruções estabelecidas pela Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005).

Desta forma, os corpos de água foram classificados em nove categorias, sendo cinco classes de água doce, que devem possuir salinidade < 0,5%; duas classes salinas, com salinidade superior a 30%; e duas salobras, com salinidade entre 0,5 e 30%. Esta classificação de forma padronizada permite que hajam níveis de indicadores a serem atingidos, de forma a garantir a classificação desejada.

O CONAMA traz cinco classificações para a água doce: especial, classe I, classe II, classe III e classe IV. A seguir são apresentadas as utilizações de cada classe:

I - Classe Especial - águas destinadas ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - Classe 1 - águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

III - Classe 2 - águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

IV - Classe 3 - águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à dessedentação de animais.

V - Classe 4 - águas destinadas à navegação; à harmonia paisagística; aos usos menos exigentes” (BRASIL, 1986, p. 2).

## 2.5 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é avaliada de acordo com as substâncias primárias presentes. Sendo assim, é avaliada de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas. As características físicas se resumem a sólidos e gases; as características químicas se dividem em orgânicas e inorgânicas; e as características biológicas referem-se aos seres vivos (Von Sperling, 2005). As características de impacto imediato, ou seja, que saltam aos sentidos de visão, paladar e olfato, como cor, sabor e odor, geralmente estão relacionados às características físicas da água. Quando a água pode promover reações, alterar a química de outros produtos e estar impura, são relacionados a composição química da mesma (Libânio, 2008; Richter e Azevedo Netto, 1991).

Os Estados Brasileiros adotaram o índice de qualidade das águas criado no ano de 1970, nos Estados Unidos, tendo sido implantado pela primeira vez no Brasil, em 1975, pela CETESB. Conhecido como Índice de Qualidade das Águas (IQA), é o principal utilizado em todo o país. Foi desenvolvido com objetivo de avaliar a qualidade da água, visando seu uso para abastecimento, após receber tratamento correto. Os parâmetros utilizados nesta avaliação estão relacionados a indicadores de contaminação, devido aos dejetos lançados nas bacias hidrográficas.

Avalia-se, portanto, nove parâmetros, com seus pesos, como pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso.

PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA	PESO (w)
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,15
Potencial Hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO5,20	0,10
Temperatura da Água	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fósforo Total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: IQA (2020). Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>.

O IQA é obtido através de um cálculo feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros que integram esse índice. Para determinação do IQA emprega-se a seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

$q_i$  = qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

$w_i$  = peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1.

Tais valores indicam a qualidade da água e podem variar de acordo com o estado brasileiro. Na Tabela 2, apresenta-se a qualidade de acordo com os estados.

Tabela 2 - Qualidade da Água de acordo com o IQA e Estados Brasileiros.

<b>Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS</b>	<b>Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP</b>	<b>Avaliação da Qualidade da Água</b>
91-100	80-100	Ótima
71-90	52-79	Boa
51-70	37-51	Razoável
26-50	20-36	Ruim
0-25	0-19	Péssima

Fonte: IQA (2020). Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>.

## 2.6 INDÚSTRIA CERVEJEIRA

Na antiguidade, o homem aprendeu sobre o fenômeno da fermentação e, desde então, segue na busca de produzir bebidas alcoólicas. Há relatos que a bebida produzida através de cereais, utilizando o malte de grãos, como é visto hoje, teve início à 5 mil anos (Silva, Leite e Paula, 2016).

A comercialização em escala industrial da cerveja começou no século XVIII, tendo como apoio as invenções de máquina de vapor e refrigeração artificial. Já no século XIX, foi desenvolvida a técnica de pasteurização, que permite que o líquido seja conservado por um período maior de tempo. Neste mesmo período, descobriu-se que o produto poderia ser contaminado por uma série de fatores e a higienização do ambiente de produção passou a ser parte do processo (Rosa e Afonso, 2015; Siqueira, Bolini e Macedo, 2009).

Os portugueses trouxeram para o Brasil a cerveja produzida por eles, sendo então, importada. No século XX, as cervejas começaram a ter marca própria e no território brasileiro, durante os anos 1850 e 1888, foram fundadas as primeiras cervejarias pertencentes ao país, conhecidas atualmente como: Bohemia, Brahma e Antarctica (Limberger e Espíndola, 2019).

De acordo com dados disponibilizados pelo Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (SINDICERV), o Brasil é o terceiro maior fabricante do produto no mundo, com cerca de 13,3 bilhões de litros produzidos, sendo a

China, com 46 bilhões, o primeiro, e os Estados Unidos, com 22 bilhões, em segundo. (SINDCERV, 2020).

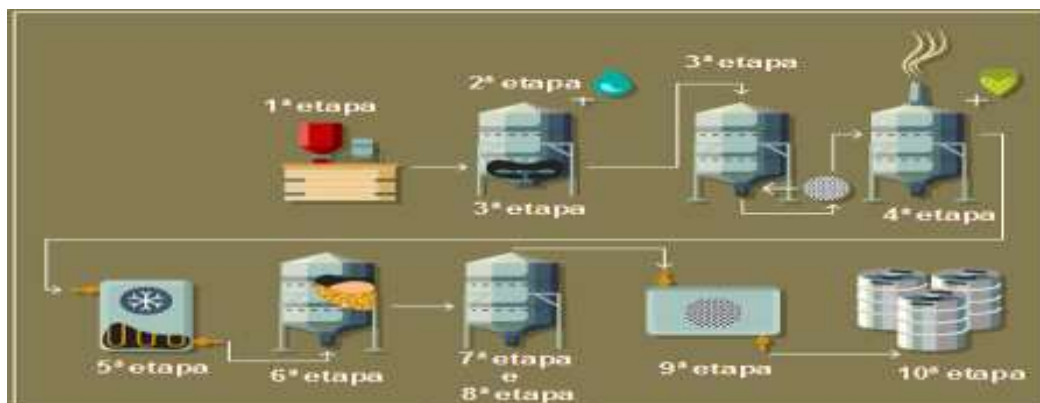
A cerveja, em território brasileiro, é regulamentada por legislações, que são a Lei Federal nº 8.918, de 1994 e pelo Decreto nº 6.871, de 2009. Estes dispõem sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas (Brasil, 1994, 2009).

## 2.7 PROCESSO PRODUTIVO DA CERVEJA

De acordo com o Decreto nº 6.871, de 2009, a cerveja é a “bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo”. O processo cervejeiro comumente consiste em três fases: manufatura e processamento do mosto, fermentação e pós-fermentação. As particularidades de cada processo variam com a natureza do produto a ser produzido e dos ingredientes utilizados. As matérias primas mais comuns são: água, malte, levedura, lúpulo e adjuntos (Boulton e Quain, 2008; McGovern, 2009).

A produção da cerveja passa por diversos processos. Segundo Reinold (1997), Vieira et al. (2009) e Mega et al. (2011), são 10 etapas, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Representação do processo de fabricação da cerveja.



Fonte: Brasil Escola (2020). Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/processo-producao-cerveja.htm>

A primeira etapa do processo consiste na moagem do malte. É um preparo para a mosturação e influencia em processos posteriores. Obtém-se uma farinha grosseira (Mega *et al.*, 2011; Reinold, 1997; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

A segunda etapa é a mosturação, que é a mistura do malte moído com a água. O objetivo é promover a gomificação e posterior hidrólise do amido a açúcares. A temperatura é de 75° C, durante duas a quatro horas e segue o processo de brasagem, onde busca-se solubilizar a maior quantidade possível de matérias hidrossolúveis do malte e dos adjuntos de fabricação empregados, o que se denomina extrato (Mega *et al.*, 2011; Reinold, 1997; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

A terceira etapa consiste na filtração do mosto, sendo que ocorre a separação do bagaço de malte do mosto líquido, visando retirar todos os componentes insolúveis que estão presente na mistura obtida (Mega *et al.*, 2011; Reinold, 1997; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

A quarta etapa consiste na fervura do mosto com o lúpulo, atingindo a marca de 100° C, possibilitando a estabilização dos componentes e a retirada de componentes indesejáveis. O processo todo dura cerca de 2 horas. Esta fervura possibilita a aromatização, a concentração e a esterilização da mistura (Mega *et al.*, 2011; Reinold, 1997; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

Durante a quinta etapa ocorre o resfriamento do mosto lupulado, onde a mistura deve atingir 10° C, com objetivo de separar o material sólido do líquido. Esta fase é de extrema importância e cuidado pois pode afetar toda a produção (Mega *et al.*, 2011; Reinold, 1997; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

Na sexta etapa tem-se o processo de fermentação. Ocorre uma transformação biológica, com a adição de levedura, que é responsável pela conversão da mistura em etanol e dióxido de carbono, sob condições anaeróbicas, liberando calor. Este processo tem uma duração média de 7 dias.

A sétima etapa consiste na maturação e filtração do líquido, ocorrendo uma fermentação complementar, provocando mudanças de aroma e sabor. Há uma segunda filtragem para que seja retirado todos os resquícios restantes da levedura e de componentes diversos que não devem estar presentes no processo final (Mega *et al.*, 2011; Reinold, 1997; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

A oitava etapa permite a estabilização da cerveja, que é submetida a um novo aquecimento, sendo este leve, e resfriamento, com temperatura média de

2º C, para garantir melhor fixação das suas propriedades (Mega *et al.*, 2011; Reinold, 1997; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

A nona etapa é conhecida como a de acabamento, onde ocorre a clarificação e carbonatação. Após estar estável, a cerveja é submetida a um novo processo de filtração, eliminando todas as partículas restantes que estejam em suspensão. Após filtragem, é submetido ao processo de carbonatação, que tem como objetivo conservar a qualidade da bebida (Mega *et al.*, 2011; Reinold, 1997; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

Por fim, a última etapa ao enchimento e embalagem da cerveja. Em seu último processo, o líquido é armazenado em latas e garrafas, que são pasteurizadas ou ultrafiltradas. A pasteurização é realizada em túneis à temperatura elevada até cerca de 60°C e mantém-se por período necessário para garantir a destruição dos microrganismos deteriorantes, sendo em seguida resfriada (Mega *et al.*, 2011; Reinold, 1997; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

Entende-se que para cada litro de cerveja produzido, 1.5L de água é utilizado. Durante o processo de brassagem e cozimento do mosto, uma parte é evaporada. Os grãos de cevada fazem a absorção de uma parte e o restante torna-se efluente. Sendo assim, o processo produtivo da cerveja gera efluentes e resíduos orgânicos sólidos, que devem receber tratamento antes de realizar o descarte (D'Avila *et al.*, 2012; Mega *et al.*, 2011).

## **2.8 EFLUENTES NA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

De acordo a norma brasileira da ABNT NBR 9800:1987, efluentes líquidos industriais são

“Despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial” (ABNT, 1987, p. 2).

A indústria cervejeira gera quantidades significativas de efluentes. A composição destes pode variar, visto que o tipo de cerveja, a levedura utilizada, a forma e qualidade dos processos de filtração, aditivos acrescentados e os processos de limpeza podem impactar no tipo de efluente gerado. Em decorrência da produção de efluentes em grande quantidade e variabilidade, é

necessário ter tratamentos efetivos que englobem todos os tipos, visando diminuir o impacto ambiental causado por estes.

Segundo Ferrari (2008), na produção de cerveja gera-se, em média, 3 L a 6 L de efluentes para cada litro de cerveja produzida.

A composição dos efluentes da indústria cervejeira apresentam, usualmente, alto teor de sólidos em suspensão, cor elevada, além da presença de fósforo e nitrogênio. Sendo assim, é importante compreender e buscar métodos de tratamento dos efluentes produzidos em todas as indústrias. Nas Cervejarias, são utilizadas grandes quantidades de água para produzir cada litro de cerveja, sendo assim, gera um número exorbitante de efluentes, que serão descartados no meio ambiente. Visando a segurança e a manutenção do meio, é necessário reduzir e tratar da melhor forma os resíduos descartáveis, visto que estes são despejados em rios, estações de tratamento, nos campos e afins (Kochenborger, 2012).

## **2.9 TRATAMENTOS DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

O setor cervejeiro se caracteriza como um grande consumidor de recursos hídricos que, para utilização no processo, devem encontrar-se com alto padrão de qualidade, visto que comporão o produto final que será consumido. Esse setor produz dois tipos de efluentes: líquidos e sólidos. A cerveja, durante a sua produção, passa por vários processos, sendo os de filtração, fermentação e limpeza, que produzem mais efluentes. Os principais resíduos gerados são o bagaço de malte, trub grosso e fino (formados a partir de partículas que se dispersaram durante o processo), excesso de levedura, pasta celulósica e os oriundos do envasamento, devido à grande carga orgânica e resíduos sólidos suspensos que devem ser descartados (Ferrari, 2008; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

O tratamento de efluentes normalmente é composto de diversas fases. Sendo assim, os sistemas de tratamento mais utilizados nas Estações de Tratamento de Efluentes Industriais de cervejarias são normalmente compostos por sistema de gradeamento e decantadores, responsáveis pelos tratamentos preliminar e primário, com objetivo de evitar obstruções e danos nos equipamentos subsequentes, reduzindo a formação de sólidos grosseiros em



suspensão (Torres, 2019). O efluente desta etapa de tratamento primário é conduzido ao tanque de neutralização, onde é feita a correção do pH.

A seguir inicia-se a fase do tratamento secundário, com o objetivo estabilizar a matéria orgânica biodegradável do efluente. São utilizados processos biológicos aeróbios e anaeróbios, que utilizam a matéria orgânica como substrato para microrganismos, obtendo como produto gases, como o biogás, sólidos inorgânicos e material biológico (Ferrari, 2008; Vieira, Ferreira e Junior, 2009).

Entre as tecnologias que promovem o tratamento biológico anaeróbio do efluente de cervejarias, destaca-se o Reator Anaeróbio de Lodo de Fluxo Ascendente, conhecido como UASB. Neste reator, o efluente a tratar é distribuído na sua parte inferior e caminha no sentido ascendente até a saída localizada na parte superior. Nesse percurso atravessa uma camada de lodo (biomassa) com grande atividade microbiológica. Sendo assim, estes reatores possuem três partes, que são: leito de lodo, zona de sedimentação e separador gás-líquido-sólido trifásico (Santos e Ribeiro, 2005). Quando o efluente entra em contato com o leito de lodo, dá início ao processo de degradação dos microrganismos presentes no lodo, via digestão anaeróbia. Já os sólidos orgânicos, aqueles que ficam suspensos, são degradados e digeridos, formando uma massa microbiana. Todos os fatores microbiológicos estão interligados com a temperatura, alcalinidade, pH e compostos inibidores. Nesta etapa ocorrem o polimento e a clarificação do efluente, que poderá ser lançado, reutilizado ou conduzido a etapas posteriores de tratamento (Barbosa, 2019; Mendonça, 2002).

Entre as tecnologias que promovem o tratamento biológico aeróbio do efluente de cervejarias, destaca-se o Sistemas de Lodos Ativados Convencionais, composto de tanque de aeração onde ocorrem as reações bioquímicas de remoção aeróbia da matéria orgânica, e decantador secundário. Esta aeração pode ocorrer de duas formas, por ar difuso ou agitação mecânica, de forma que haja oxigênio suficiente para a atividade microbiológica e se evite a deposição de flocos bacterianos. Após passar por este tanque de aeração, o efluente é enviado a um decantador secundário, onde do que foi tratado é feita a separação do lodo biológico, que sedimenta no fundo. Segundo Barbosa (2019) a produção de lodo nos sistemas de lodos ativados é consideravelmente

maior se comparada à produção nos reatores anaeróbios. É promovida a recirculação do lodo sedimentado no decantador secundário, retornando ao tanque de aeração, com o objetivo de aumentar a concentração de microrganismos para estabilizar a matéria orgânica (Von Sperling, 2005).

Por fim, o tratamento de efluentes da indústria de cerveja, um dos componentes do sistema de gestão ambiental da indústria, busca a sua adequação às condições e padrões de lançamento de efluentes preconizadas na Resolução CONAMA nº 357/2005 e suas atualizações.

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo foram levantadas informações e dados sobre os efluentes da cervejaria.

Estas informações são obtidas referentes a produtos utilizados no processo cervejeiro. Possuem extrema importância, pois elas serão utilizadas para calcular qual produto e dosagem podem diminuir a concentração de fósforo presente no efluente. A obtenção das informações citadas foi realizada com base em pesquisas na própria unidade da cervejaria.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CERVEJARIA

A área industrial da cervejaria se localiza na Fazenda Jardim, no município de Uberlândia/MG, próximo à rodovia BR-452, trecho Uberlândia/Araxá, a cerca de 24 km da cidade de Uberlândia, ilustrada na figura 2. A unidade industrial está implantada em um terreno com área total de 187,00 ha.

Figura 2 - Vista aérea da Cervejaria.



Fonte: Google Earth (2020).

A cervejaria possui uma capacidade de produção de 1.940.000 L/dia, classificada, pela DN COPAM 74/2004, como classe 05 e médio potencial

poluidor. Como principais infraestruturas da fábrica têm-se oficina, almoxarifados, laboratórios, Estação de Tratamento de Água – ETA, Estação de Tratamento de Efluentes Industriais - ETEI, refeitório, vestiários e sanitários, prédio administrativo, galpões de produção e ilhas de armazenamento de produtos químicos.

A água consumida na Cervejaria é captada e aduzida do reservatório da Usina Hidrelétrica de Miranda até a Estação de Tratamento de Água, antes das suas utilizações no processo industrial e na unidade fabril.

Quanto aos efluentes, estes serão interligados ao emissário para transporte até a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais - ETEI e posteriormente ao ponto de lançamento no rio Araguari, a jusante da barragem da UHE Miranda, no Trecho de Vazão Reduzida a montante da UHE Capim Branco 1.

### **3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL DA CERVEJARIA**

O processo industrial de produção de cerveja, na cervejaria, inclui as fases de Brassagem, Adegas, Filtração e Envase, e suas respectivas etapas, resumidamente apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Processo Cervejeiro da Cervejaria

<b>PROCESSO CERVEJEIRO RESUMIDO</b>	
<b>Brassagem</b>	
Etapa 01	Recebimento e beneficiamento de malte, griz (quirela de milho), high maltose, xarope cervejeiro e lúpulos;
Etapa 02	Fabricação do mosto.
<b>Adegas</b>	
Etapa 01	Fermentação/Maturação (aeração e fermentação);
Etapa 02	Centrifugação
Etapa 03	Maturação
<b>Filtração</b>	
Etapa 01	Dosagem de lúpulo e filtração.
Etapa 02	Estabilização: estabilização proteica, blendagem, carbonatação e dosagem antioxidante;
Etapa 03	Armazenagem/pressurização (armazenamento em adega de pressão).
<b>Processo de envase da cerveja</b>	
	<p>O envase da cerveja é realizado em 02 linhas operacionais de garrafas retornáveis com capacidade produtiva de 60.000 garrafas por hora cada, 01 linha operacional referente ao envase de latas com capacidade produtiva de 163.800 latas por hora e 01 linha de garrafa long neck com capacidade produtiva de 65.000 garrafas por hora.</p> <p>O envase de latas começa com o processo de despaletização (retirada das latas dos paletes e verificação das suas condições) e indo para o processo de rinsagem que consiste na lavagem interior das latas com água clorada. Após isso, as latas passam pelo processo de enchimento e cravação. Posteriormente é injetado o CO<sub>2</sub> na lata, eliminando o oxigênio, e então a lata é fechada pelo processo de dupla cravação seguindo para o processo de pasteurização (banho na lata a diversas temperaturas), codificação (datação) e empacotamento com plástico termo-encolhível (<i>shrink</i>).</p>

Fonte: Autoria própria (2020).

### 3.1.2 UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A demanda de água necessária ao empreendimento é de 125 L/s. O fornecimento de água é realizado através de uma captação no reservatório da UHE Miranda, localizado próximo às coordenadas X: 813.268 e Y: 7.900.478. A água captada no reservatório é encaminhada através de uma adutora de aproximadamente 4,5 km para tratamento físico-químico na ETA, com capacidade de tratamento da vazão de demanda da indústria. A Tabela 4 apresenta a distribuição do consumo de água em toda a empresa.

Tabela 4 - Consumo de água na Cervejaria.

<b>USO</b>	<b>CONSUMO</b>	<b>FONTE</b>
Processo de fabricação de cerveja, limpeza e assepsia	60%	Captação superficial
Envase, limpeza e assepsia	27%	Captação superficial
Utilidades, limpeza e assepsia	10%	Captação superficial
Consumo humano e refeitório	3%	Captação superficial
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>Captação superficial</b>

Fonte: RCA – CERVEJARIA (2013).

### 3.1.3 PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

As medidas mitigadoras têm como objetivo minimizar ou eliminar eventos adversos que se apresentam com potencial para causar prejuízos aos itens ambientais destacados nos meios físico, biótico e antrópico. A Cervejaria possui uma medida para cada atividade e produto proveniente da produção.

Para este estudo, o foco é o efluente industrial gerado durante o processo produtivo, formado por compostos orgânicos e inorgânicos. Os efluentes são coletados em rede confinada e encaminhados por gravidade para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais. Os efluentes líquidos oleosos passam previamente por caixas separadoras de água e óleo e são encaminhados para a ETEI.

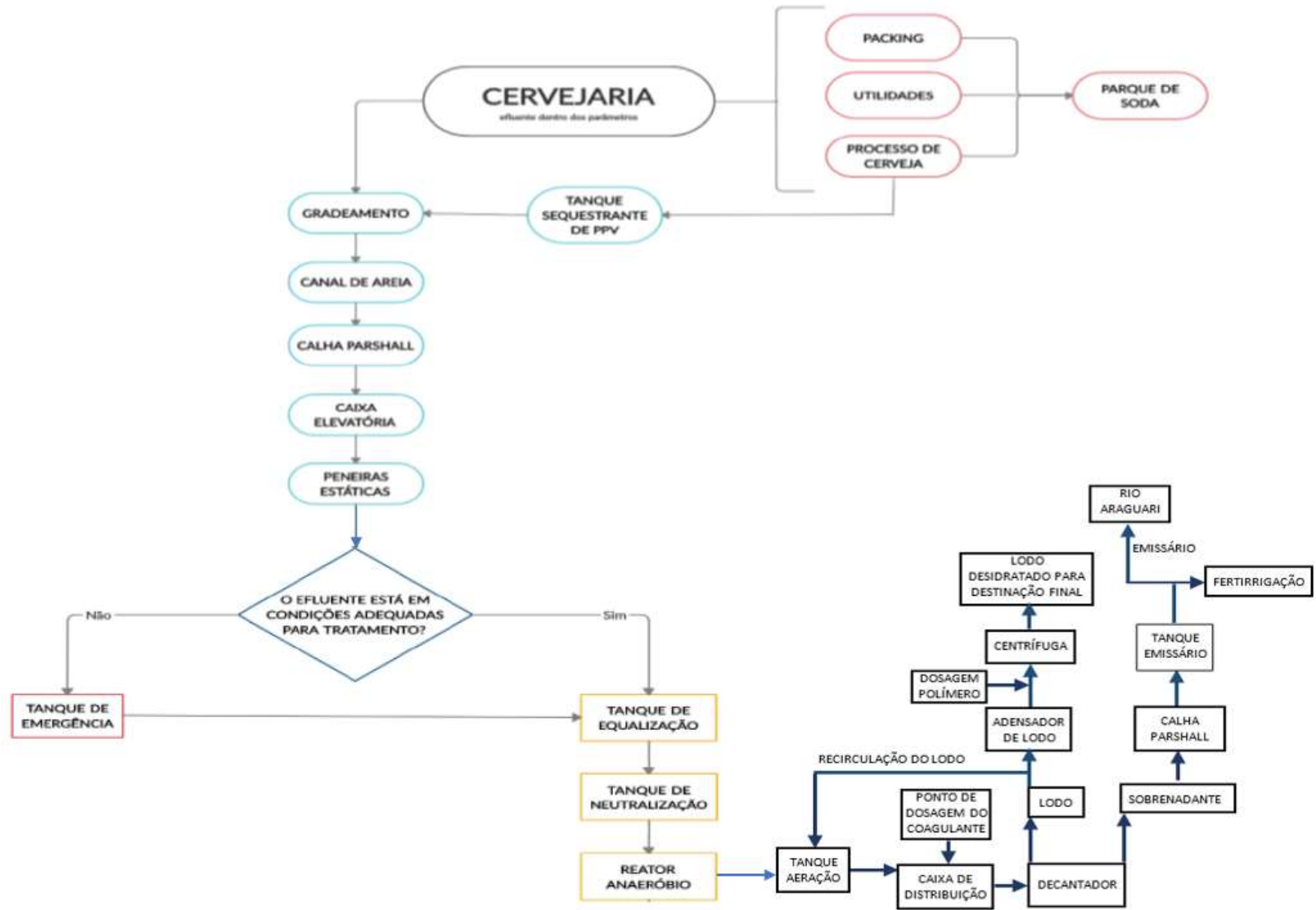
Os efluentes industriais são tratados em uma ETEI composta por medidor de vazão, gradeamento, desarenador, elevatória, peneiras estáticas, tanque de

equalização, tanque de neutralização, sistema anaeróbio, 02 tanques de aeração e 01 decantador secundário. Foi instalado um sistema de adição de cloreto férrico a montante do decantador para precipitação e remoção do fósforo. Existe também um tanque pulmão para casos de manutenção ou correção na ETEI. O lodo gerado na ETEI passa por uma centrífuga e é destinado a compostagem.

O lançamento do efluente tratado é feito a jusante da barragem de Miranda (coordenadas 18° 53' 24" / 48° 3' 24") por meio de tubulação submersa e possui 05 ramificações de dutos para lançamento.

A tecnologia de tratamento adotada para a estação de tratamento de efluentes da indústria em estudo é composta por três etapas básicas, o tratamento preliminar, a etapa anaeróbia (reator UASB), e uma etapa aeróbia (tanque de aeração), conforme apresenta o fluxograma do processo na Figura 3 e a descrição do processo de tratamento utilizado pela estação.

Figura 3 - Fluxograma do sistema de tratamento do efluente da Cervejaria



Fonte: Autora (2020).



Quando o efluente chega na ETEI, inicia-se o processo de tratamento. Caso ele não esteja nas devidas condições para início imediato, é preciso passar por uma etapa no tanque de emergência, para estar nos parâmetros necessários.

O efluente tem diversos caminhos até chegar na ETEI. Alguns têm a finalidade de evitar que a estação seja sobrecarregada. Por exemplo, quando sai da filtração (processo de cerveja), o efluente segue para o tanque sequestrante de PVPP, pois a estação não consegue absorver a quantidade que é descartada a cada filtração, a cor ficaria muito acima do parâmetro e muito difícil de ser reduzida. Desse tanque o efluente é dosado em uma vazão baixa ( $10\text{m}^3/\text{h}$ ) para ser tratado e diluído. Já alguns descartes de brassagem, adegas e packaging são enviados primeiro ao Parque de Soda, no intuito de tentar reaproveitar tanto a água (metas apertadas de economia de água), quanto a soda (economia de recursos com insumos) e além disso não alterar o pH bruscamente, pois pode alterar a capacidade de trabalho do lodo anaeróbio.

Porém, muitas vezes os tanques estão em sua capacidade máxima, então acabam sendo descartados direto para a estação. Ou acontece de alguns produtos mais tóxicos serem descartados sem aviso prévio, deixando os operadores da ETEI sem manobras ou como controlar a dosagem para o reator anaeróbio. Nesses casos é preciso passar por uma etapa no tanque de emergência, para diluição e evitar a intoxicação do lodo anaeróbio.

O tratamento preliminar é composto por um sistema de gradeamento, que tem como objetivo remover os sólidos grosseiros; um desarenador para remoção de partículas suspensas sedimentáveis e uma calha Parshall para a medição de vazão; passam pela caixa elevatória e por peneiras estáticas, que visam remover os sólidos remanescentes. Todo o processo inicial de pré-tratamento tem como objetivo reduzir, eliminar ou alterar a natureza dos poluentes antes do lançamento para o tratamento subsequente.

Se o efluente não se encontra nas condições adequadas da segunda fase do tratamento, ele é enviado a um tanque de emergência, com objetivo de homogeneizá-lo e assim enviá-lo para a próxima etapa. Estando pronto para entrar na segunda etapa de tratamento, é enviado para o tanque de equalização, onde é homogeneizado por meio de uma bomba centrífuga e um sistema, e em

seguida passa pelo tanque de neutralização, e assim tem seu pH e carga orgânica equalizados.

A etapa seguinte é o Reator Anaeróbio, onde ocorre a remoção da maior parte da matéria orgânica do efluente, com geração de biogás que é queimado em um queimador atmosférico. O reator é do tipo UASB, sigla proveniente do inglês Upflow Anaerobic Sludge Blanket, que significa que é um reator anaeróbio de fluxo ascendente com leito de lodo (Tipple e Júnior, 2018).

O efluente que sai do reator é conduzido, por gravidade, para o tanque de aeração, um sistema de polimento final aeróbio constituído de um tanque de concreto armado com sistema de aeração por ar difuso, no fundo do aerador, e recirculação na superfície que introduzem ar no líquido. Nessa etapa ocorre a oxidação dos compostos orgânicos presentes no efluente por meio da ação das bactérias aeróbias.

Após o tanque de aeração, o efluente vai para um decantador, também chamado de clarificador, onde as partículas sólidas sedimentam, conferindo ao efluente uma diminuição de sua cor e turbidez. O sobrenadante do decantador constitui o efluente final da ETEI, que pode ser conduzido, por emissário, ao rio Araguari, a jusante da represa de Miranda, ou conduzido a sistemas de fertirrigação de fazendas vizinhas à cervejaria.

Para controlar a qualidade do efluente despejado, uma empresa terceirizada, contratada pela cervejaria, realiza análises mensais do efluente bruto, do efluente tratado, do corpo receptor a montante do lançamento e a jusante da zona de mistura. Os parâmetros analisados são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, a qual estabelece limites máximos de lançamento para cada parâmetro, visando a preservação do corpo receptor.

### 3.2 MEMORIAL DE CÁLCULO

O memorial de cálculo descreve todos os procedimentos utilizados para que fosse possível chegar ao resultado final apresentado neste estudo. Sendo assim, será apresentado neste tópico, o memorial utilizado para cálculo da quantidade (concentração) de fósforo total nos efluentes tratados pela cervejaria.

Utilizou-se algumas informações padrões, que podem ser obtidas através de normas e fontes bibliográficas, como referência, que são: ABNT – NBR 7229:1982 e a Resolução CONAMA nº 357/2005.

#### **Dados de projeto** (fornecidos pela Cervejaria)

- Vazão Média (Q): 3500 m<sup>3</sup>/dia;
- Concentração de fósforo bruto (x): 20 mg/L;
- Concentração de fósforo tratado (y): 11 mg/L;
- Massa Fe<sup>3+</sup>: 0,13784 Fe<sup>3+</sup> por kg de FeCl<sub>3</sub>;
- Densidade Fe<sup>3+</sup>: 1,4 kg/L;
- (A) PL orçamento em Janeiro/2020: 324.376,81 hl;
- (B) Índice de água em Janeiro/2020: 3,34 hl/hl;
- (C) Índice de efluente em Janeiro/2020: 1,83 hl/hl;
- (D) Índice de carga orgânica em Janeiro/2020: 1 kgDQO/hl
- (E) Preço do kg de cloreto férrico: R\$5,51;

## 4 RESULTADOS

**Cálculos** (imposição do método pelo grupo da Cervejaria responsável pelo estudo)

- Massa fósforo efluente bruto (Br) – [kg/dia]

$$Br = \frac{Q \times x}{1000} = \frac{3500 \times 20}{1000} = 70 \text{ kgP/dia} \quad [1]$$

- Massa fósforo efluente tratado (Tr) – [kg/dia]

$$Tr = \frac{Q \times y}{1000} = \frac{3500 \times 11}{1000} = 38,5 \text{ kgP/dia} \quad [2]$$

- Remover (Rem) – [kg/dia]

$$Rem = Br - Tr = 70 - 38,5 = 31,5 \text{ kgP/dia} \quad [3]$$

- Quantidade de Fe<sup>3+</sup> - [kg]

$$\text{Quantidade Fe}^{3+} = Rem \times 3,5 \text{ (bi bl i ografi)} = 31,5 \times 3,5 = 110,25 \text{ kgFe}^{3+} \quad [4]$$

- Massa FeCl<sub>3</sub> (MFeCl) – [kg/dia]

$$MFeCl_3 = \frac{\text{Quantidade Fe}^{3+}}{\text{Massa Fe}^{3+}} = \frac{110,25}{0,13784} = 799,84 \text{ kgFeCl}_3(40\%) \quad [5]$$

- Volume FeCl<sub>3</sub> (VFeCl) – [L/dia]

$$VFeCl_3 = \frac{MFeCl_3}{\text{Densidade}} = \frac{799,84}{1,4} = 571,31 \text{ LFeCl}_3(40\%)/dia \quad [6]$$

- Índice de consumo (IC) – [kg/m<sup>3</sup>]

$$IC = \frac{MFeCl_3}{Q} = \frac{799,84}{3500} = 0,23kg/m^3 \quad [7]$$

- kgDQO/mês – [kg]

$$\frac{kgDQO}{mês} = A \times D = 324376,81 \times 1 = 324376,81kg/mês \quad [8]$$

- m<sup>3</sup> efluente/mês [m<sup>3</sup>/mês]

$$\frac{m^3\text{efluente}}{mês} = \frac{kgDQO}{mês} \times 0,24 = 324376,81 \times 0,24 = 77850,43m^3/mês \quad [9]$$

- m<sup>3</sup> água/mês – [m<sup>3</sup>/mês]

$$\frac{m^3\text{água}}{mês} = \frac{A \times B}{10} = \frac{324376,81 \times 3,34}{10} = 108341,9m^3/mês \quad [10]$$

- Consumo ETEI total (ConsE) – [kg/mês]

$$ConsE = [9] \times IC = 77850,43 \times 0,23 = 17905,6kg/mês \quad [11]$$

- Custo ETEI total (CustoE) – [R\$]

$$CustoE = ConsE \times E = 17905,6 \times 5,51 = R\$98659,86 \quad [12]$$

- Relação chegada efluente m<sup>3</sup>/PLhl (RCE)

$$RCE = \frac{m^3\text{efluente}}{PL} = \frac{77850,43}{324376,81} = 0,24 \quad [13]$$

Utilizando as fórmulas escolhidas para o memorial de cálculo e aplicado os dados disponibilizados pela cervejaria, tem-se os seguintes resultados.

Devido ao valor da vazão média ser de 3.500 m<sup>3</sup>/dia, tem-se que a massa do fósforo no efluente bruto (Br), é de 70 kg de fósforo por dia [1]. Quando o efluente passa por tratamento (Tr), esta massa diminui para 38,5 kg de fósforo por dia [2]. Desta forma, é possível calcular quanto de fósforo ainda precisa ser removido (Rem) do efluente, considerando os valores de efluente bruto e tratado, pode-se observar que é necessária a remoção de 31,5 kg de fósforo por dia [3].

Três produtos químicos tradicionais para tratamento de fósforo são cloreto férrico, cloreto ferroso e sulfato de alumínio. A cervejaria opta por utilizar o cloreto férrico (FeCl<sub>3</sub>).

Para cada quilo de fósforo, deve ser utilizado 3,5 kg deste produto. Sendo assim, são necessários 110,25 kg de cloreto férrico para retirar 31,5 kg fósforo do efluente [4].

A quantidade de massa deste produto utilizado no tratamento do efluente é de 799,8 kg por dia [5] e o volume, utilizando o valor de densidade de 1,4 kg/L, é de 571,3 L FeCl<sub>3</sub>/dia [6]. Portanto, temos que o índice de consumo de cloreto férrico (IC) para a vazão média é de 0,23 kg/m<sup>3</sup> [7]. Na Tabela 5 podemos visualizar os valores obtidos após todos os cálculos realizados.

Tabela 5 - Valores de cálculo obtidos.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Resultado</b>
Br	Kg P/dia	70
Tr	Kg P/dia	38,5
Remover	Kg P/dia	31,5
Quantidade FeCl <sup>3+</sup>	Kg FeCl <sub>3</sub>	110,25
Massa FeCl <sub>3</sub>	Kg FeCl <sub>3</sub> /dia	799,8
Volume FeCl <sub>3</sub>	L FeCl <sub>3</sub> /dia	571,3
IC	kg/m <sup>3</sup>	0,23

Fonte: Autora (2020).

Segundo relatório disponibilizado pela indústria, existem três variáveis de controle com grande importância: a carga de DQO (kg/mês) - variável 1, o volume do efluente (m<sup>3</sup>/mês) - variável 2 e o volume de água (m<sup>3</sup>/mês) - variável

3. Realizando os cálculos, utilizando as equações 8, 9 e 10, foram obtidos os resultados: o resultado é 324.376,81 kg DQO/mês (variável 1), 77.850,43 m<sup>3</sup> efluente/mês (variável 2) e 108.341,86 m<sup>3</sup> água/mês (variável 3).

Para o tratamento do efluente, temos que para cada m<sup>3</sup> de efluente, é gasto cerca de 0,23 kg FeCl<sub>3</sub>. Sendo assim, calculando o valor de consumo total em quilos, temos que é gasto 17.905,6 kg de cloreto férrico. O custo deste consumo é de R\$ 98.659,86. Valores referentes a um mês de tratamento.

Na Tabela 6, pode-se visualizar dados disponibilizados pela cervejaria que são referentes aos valores da relação de chegada de efluentes durante o ano de 2019 com a produção líquida de cerveja em hectolitros.

Tabela 6 - Relação de chegada de efluente em 2019.

<b>Mês (2019)</b>	<b>Relação chegada efluente m<sup>3</sup>/hl</b>
Janeiro	0,22
Fevereiro	0,21
Março	0,23
Abril	0,21
Maio	0,27
Junho	0,21
Julho	0,25
Agosto	0,26
Setembro	0,24
Outubro	0,24
Novembro	0,24
Dezembro	0,25

Fonte: Cervejaria (2020).

O valor médio da relação da chegada de efluente em m<sup>3</sup>/hl é de 0,24. Ou seja, para cada hectolitro de cerveja produzido, é gerado 0,23m<sup>3</sup> de efluente. Mesmo valor calculado com os dados fornecidos anteriormente pela cervejaria.

## **Testes realizados**

Juntamente com a realização dos cálculos, testes foram feitos por empresas terceirizadas a fim de compreender o que estes valores impactavam no efluente tratado.

- **Teste de Comparação**

De forma a verificar se os cálculos realizados estavam corretos e promoviam a remoção do fósforo, foram realizados testes, por empresas terceiras, antes e depois de colocar em prática a dosagem de cloreto férrico durante o tratamento do efluente.

Na Tabela 7, pode-se verificar laudos realizados no final do ano de 2019, onde constam os valores de fósforo total antes da dosagem de cloreto férrico calculada no memorial de cálculo no efluente tratado.

Tabela 7 - Testes de Fósforo realizados em 2019.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Resultado</b>	<b>Data Análise</b>
Fósforo Total	mg/L	14,22	16/10/2019
	mg/L	17,30	23/10/2019
	mg/L	17,85	01/11/2019
	mg/L	15,25	13/11/2019
	mg/L	12,58	26/11/2019

Fonte: Empresa responsável por laudos de dosagem da Cervejaria (2019).

No gráfico 1 é possível ver que antes da dosagem de cloreto férrico o valor de fósforo total oscilava bastante, sempre muito acima do valor permitido pelo CONAMA. Para rios de classe 2 o valor de referência para fósforo total é 0,030mg/L.



Gráfico 1 - Fósforo Total em 2019 nos efluentes da cervejaria.



Fonte: Autora (2020).

Em 2020, após a realização dos cálculos do memorial demonstrado neste estudo e dos valores obtidos, iniciou-se a dosagem dos produtos, visando a redução de fósforo do efluente. Assim, a empresa responsável tornou a repetir os mesmos testes, realizados em 2019, para verificar se houve uma redução do fósforo. Os resultados dos testes podem ser vistos na Tabela 8, que são provenientes dos laudos de testes realizados após as correções com as dosagens encontradas.

Tabela 8 - Testes de Fósforo realizados em 2020.

Parâmetro	Unidade	Resultado	Data Análise
Fósforo Total	mg/L	4,61	27/05/2020
	mg/L	5,92	05/06/2020
	mg/L	5,62	19/06/2020
	mg/L	5,85	25/06/2020
	mg/L	4,78	02/07/2020

Fonte: Empresa responsável por laudos de dosagem da cervejaria (2019).

É possível ver que ainda não foi suficiente a dosagem dessa quantidade de cloreto férrico para chegar no valor permitido pelo CONAMA, mas já apresentou redução considerável nos valores anteriores. A cervejaria, por ser relativamente nova, tinha um tempo para se adequar aos valores, então novo estudo seria feito para uma nova medida, para ajudar com essa redução.

No gráfico 2 já é possível observar que a oscilação diminuiu bastante e os valores já estão bem mais próximos do permitido.

Gráfico 2 - Fósforo Total em 2020 nos efluentes da cervejaria.



Fonte: Autora (2020).

## 5 DISCUSSÃO

Desde os últimos tempos, as empresas muitas vezes lutam para atender aos parâmetros legalmente exigidos para alguns elementos, como o nitrogênio, fósforo, dentre outros em águas residuais líquidas. Estes, em quantidades excessivas, podem causar problemas quando liberados excessivamente no meio ambiente, incluindo eutrofização (Rast e Thornton, 1996).

A eutrofização ocorre quando o fósforo, aliado ao nitrogênio, é disponibilizado para organismos vegetais clorofilados, estimulando a multiplicação e o crescimento indevido de algas e vegetais aquáticos, e assim, ocorre a diminuição do oxigênio disponível na água e acentua a mortalidade dos animais aquáticos, e em casos mais sérios, gerar complicações relacionadas a saúde do ser humano (Pereira, Senna e Kunz, 2011).

O fósforo existe nas águas residuais na forma de ortofosfato, polifosfato e fosfato orgânico, e em todas as formas, se mostra importante para o desenvolvimento de algas e vários outros microrganismos aquáticos (Hu, Liu e Qu, 2006). Diante deste fato, é importante controlar a concentração desses elementos em esgotos e resíduos industriais para evitar o crescimento descontrolado de algas nos corpos d'água.

Tais impactos negativos causados pela contaminação do fósforo faz com que cada vez mais estudos relacionados a diminuição deste elemento nos efluentes sejam realizados (Ferreira Filho, Marguti e Piveli, 2009). As indústrias de cerveja produzem uma grande quantidade de água com resíduos, que carregam consigo uma alta carga orgânica, possuindo concentrações elevadas de nutrientes (Kochenborger, 2012).

A diminuição da carga de fósforo em efluentes, utilizando técnicas adequadas de tratamento, se faz necessária para minimizar tais implicações (Barbosa, 2019). Este estudo, em questão, buscou desenvolver um cálculo para dosagem de alguns produtos químicos inseridos no tratamento de efluentes da cervejaria, com a finalidade de reduzir a concentração de fósforo total no efluente final.

A produção de cerveja, em escala industrial, é considerada uma atividade potencialmente poluidora por conter grande quantidade de resíduos como malte e borra proveniente da cevada. Assim, as águas residuais produzidas contém,

em sua maioria, uma grande quantidade de matéria orgânica, sendo necessário tratamento especial e melhoria da eficiência (Kochenborger, 2012).

De acordo com a resolução Conama 357 e outras portarias como a nº 05/89, do Rio Grande do Sul, a concentração máxima de fósforo aceita em efluentes para que estes possam ser lançados em corpo hídricos  $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$  de fósforo (Brasil, 2005; Diário Oficial do Rio Grande do Sul, 1989). Em seu estudo, Faria (2006), discute sobre a posição das empresas em relação ao tratamento dos efluentes, de forma a evitar a poluição. Este autor destaca que, segundo dados da Fundação Estadual de Proteção Ambiental do RS (FEPAM), entre 1994 e 2000, 11% das indústrias nunca atenderam ao padrão de emissão de fósforo, 78% às vezes e outros 11% sempre atendem (Cobalchini *et al.*, 2000; Lima, 2003). Diante disto, é imprescindível buscar por meios de remoção dos componentes dos efluentes, visando atender o parâmetro do CONAMA e diminuir a poluição nos recursos hídricos.

Entre a década de 50, as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) localizadas em locais em grande desenvolvimento, como a Europa e os Estados Unidos, buscavam garantir a remoção efetiva de compostos orgânicos biodegradáveis e sólidos suspensos totais (SST). Porém, os sistemas implantados não demonstraram atingir o objetivo inicial, houve mudanças para que a remoção de fósforo dos efluentes pudesse ocorrer através de processos biológicos ou físico-químicos, com auxílio de sais de alumínio e/ou ferro (Marguti, Ferreira Filho e Piveli, 2008).

A remoção física e química do fósforo em uma estação de tratamento pode ser alcançada adicionando um coagulante ou um agente alcalinizante. Os coagulantes mais utilizados são o cloreto férrico e o sulfato de alumínio (Martins, 2014).

Buscando remover o fósforo dos efluentes de forma biológica, é necessário que haja zonas anaeróbias e zonas aeróbias na linha de tratamento. A zona anaeróbia é um seletor para os microrganismos acumuladores de fósforo no sistema. Ao se remover o lodo biológico excedente, contendo também os organismos acumuladores de fósforo, ricos deste elemento, está se removendo o fósforo (Lopes, 2011).

Durante as fases de tratamento de efluentes, a tendência é que a fração orgânica e os polifosfatos de alto peso molecular sejam hidrolisados e

posteriormente transformados a ortofosfatos, sendo este fenômeno de importância significativa quando se considera a opção de sua remoção por processos físico-químicos (Marguti, Ferreira Filho e Piveli, 2008). As técnicas convencionais de remoção de P, tais como a decantação primária associadas a lodos ativados ou filtros biológicos, não são suficientes para assegurar baixas concentrações de fósforo total no efluente tratado. Neste caso a precipitação físico-química permanece sendo a melhor opção (Ferreira Filho, Marguti e Piveli, 2009; Monaco *et al.*, 2014).

Do ponto de vista termodinâmico, o comportamento do ferro como coagulante em meio aquoso é relativamente complexo, envolvendo a sua participação em reações de hidrólise e precipitação química na forma de hidróxidos e na forma de fosfato férrico. Os coagulantes podem ser utilizados em diferentes etapas dos sistemas de tratamento de esgotos, podendo ocorrer a montante dos decantadores primários, a montante dos tanques de aeração ou dos de cantadores secundários ou como tratamento terciário, ou seja, a jusante do processo biológico aeróbio (Metcalf and Eddy *et al.*, 2007; Weber, Cybis e Beal, 2010).

Os processos físico-químicos alinhados a combinação de sais, sejam eles de ferro ou alumínio, vem sendo muito utilizado e possibilitam uma gama grandiosa de possibilidades, permitindo que estes sais de ferro sejam utilizados como coagulantes no tratamento de efluentes (Chao, 2006). Torna-se importante, então, descobrir qual a dosagem de cloreto férrico é eficiente para garantir que o fósforo seja removido.

A cervejaria, localizada em Uberlândia/Minas Gerais, tem seus efluentes gerados principalmente nas etapas de lavagem de garrafas, instalações, vasilhames, tanques e da planta da indústria, além das águas provenientes do processo de resfriamento ou aquecimento de tanques, águas utilizadas diretamente no processo industrial, do descarte de produtos que não atendem ao padrão de qualidade ou lotes de devolução, e esgotos sanitários dos colaboradores (Barbosa, 2019).

Percebe-se que há um elevado consumo de recursos hídricos em diversas etapas do processo que envolve o ramo de cervejaria, em comparação com outros ramos industriais e produz, portanto, uma quantidade maior de efluentes. A cervejaria possui uma gestão dos recursos hídricos e faz reutilização

do mesmo, de forma a diminuir o consumo e que isto ocorra de forma consciente, sem causar danos maiores ao meio ambiente (Cervejaria, 2017).

Quando os efluentes são tratados de forma correta, eliminando o máximo possível de matéria, sólidos e nutrientes presentes nele, permitem que esta água tratada seja reutilizada para o abastecimento de caldeiras, torres de resfriamento, condensados e até higiene do ambiente. Na região de Uberlândia, esta água também é utilizada na irrigação de pastos (Cervejaria, 2017).

O fósforo é um dos principais componentes presentes nos efluentes desta cervejaria e a utilização dos sais possui extrema importância neste processo de redução do mesmo. Assim, após os cálculos realizados do memorial, encontrou-se um valor específico para o cloreto férrico. Ao iniciar a dosagem, comparou-se o valor final do fósforo nos efluentes, em busca de determinar se houve uma real redução do componente.

*Redução de fósforo total (%)*

$$\begin{aligned} &= 100. \frac{\text{médi conc. P antes da dosagem} - \text{médi conc. P depois da dosagem}}{\text{médi conc. P antes da dosagem}} \\ &= 100. \frac{15,44 - 5,35}{15,44} = 65\% \end{aligned}$$

Para avaliar o atendimento à resolução nº 357 do CONAMA, que limita a concentração do fósforo total para rios de classe 2, como o rio Araguari, em 0,03 mg/L (águas paradas) e 0,05 mg/L (inclui trechos com águas correntes), estudos complementares, que incluem o efeito da diluição do efluente tratado da cervejaria no rio Araguari, após lançamento, em relação ao parâmetro fósforo total, devem ser executados.

## 6 CONCLUSÃO

O fósforo possui alguns efeitos colaterais que não são positivos e podem causar perigo. Este, quando despejado nos recursos hídricos, em altas quantidades, promove a eutrofização — o crescimento de plantas aquáticas em corpos de água, que inclui florescência de algas nocivas. Estas algas tem o poder de produzir toxinas que são prejudiciais à saúde, tanto de seres humanos quanto de animais.

A indústria cervejeira consome um número exorbitante de água, pois a utiliza em praticamente todos os processos de produção, somados ao de higienização, abastecimento, dentre outros. Busca-se, portanto, formas de tratamento de efluentes eficientes e que diminua a quantidade de nutrientes, matéria orgânica e sólidos, de forma que possibilite a reutilização das mesmas e menor impacto ambiental.

Neste trabalho, foi proposto um memorial de cálculo para calcular a dosagem correta de cloreto férrico, sal utilizado no processo de remoção de fósforo dos efluentes. A dosagem proposta foi feita em uma caixa de mistura a montante do decantador. Com base nos resultados encontrados, foi observada redução de cerca de 65% dos teores de fósforo das amostras do efluente, antes e após a dosagem encontrada nos cálculos presentes no estudo.

Com os resultados obtidos, demonstrou-se a possibilidade de sucesso na aplicação desse sistema em uma estação de tratamento na busca pela redução da carga poluidora de fósforo dos efluentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIB, C. H. *et al.* DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM DA ÁGUA. *Revista Terceiro Setor & Gestão-UNG-Ser*, v. 4, n. 1, p. 5–12, 2010.

ABNT, A. B. DE N. T. NBR-9800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. p. 1–6, 1987.

ALMEIDA, E. *et al.* Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio *Química Nova sciELO* , , 2004.

BARBOSA, L. A. CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE CERVEJARIA PARA POTENCIAL REÚSO. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS, p. 81, 2019.

BEAL, D. A.; FERREIRA, S. C.; RAUBER, D. Recursos Hídricos: uso de água na indústria-o caso de Dois Vizinhos no Paraná-PR III Congresso Nacional De Pesquisa Em Ciências Sociais Aplicadas–III CONAPE. *Anais...2014*

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, v. 1, n. 1, p. 152–169, 2008.

BORBA, F. H. *et al.* Avaliação da eficiência da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 6, n. 1, 2010.

BOULTON, C.; QUAIN, D. *Brewing yeast and fermentation*. [s.l.] John Wiley & Sons, 2008.

BRASIL. Lei nº 8.918, de 14 de Julho de 1994. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção ea fiscalização de bebidas, autoriza a criação da Comissão Intersetorial de Bebidas e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, 1994.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13. *Diário Oficial da União*, 1997.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente nº. 357 de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, 2005.

\_\_\_\_\_. 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 ea fiscalização de bebidas. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, 2009.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.



Diário Oficial da União, 2011.

CASTRO, B. A. Poluição hídrica: aspectos fundamentais da tutela jurídico-penal no Brasil. *Revista do Direito Público*, v. 2, n. 3, p. 203–228, 2007.

CERVEJARIA. Relatório Anual de Sustentabilidade 2017. 2017.

CHAO, I. R. S. Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água. Universidade de São Paulo, , 2006.

COBALCHINI, M. S. *et al.* Análise da norma de padrões de emissão de efluentes líquidos do RS: Dificuldades no seu cumprimento e propostas. Silubesa–Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, IX, p. 2–108, 2000.

COELHO, E. F.; SILVA, J. G. F. DA; SOUZA, L. F. DE. Irrigação e fertirrigação. Mamão produção aspectos técnicos. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 37–42, 2000.

COSTA, D. M. A.; BARROS JÚNIOR, A. C. Avaliação da necessidade do reúso de águas residuais. *Holos*, v. 2, p. 81–101, 2005.

CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M. O. DE O. P. P.-S. C. Eletroflotação: Princípios e aplicações. *RiMa*, , 2004.

D'AVILA, R. F. *et al.* Adjuntos utilizados para produção de cerveja: características e aplicações. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 8, n. 2, p. 60–68, 2012.

DIÁRIO OFICIAL DO RIO GRANDE DO SUL. Portaria n 05/89, de 16 de março de 1989. Aprova a norma técnica SSMA nº 01/89–DMA, que dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d'água interiores do esta. Diário Oficial [do] Estado, Secretariada da Saúde e do Meio Ambiente, Porto Alegre (RS), v. 29, 1989.

FERRARI, V. O mercado de cervejas no Brasil. 2008.

FERREIRA FILHO, S. S.; MARGUTI, A. L.; PIVELI, R. P. Produção de lodo e comportamento químico de sais de ferro empregados no pós-tratamento de esgoto sanitário por precipitação química. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 49–58, 2009.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E. Adsorventes naturais como controladores de poluentes aquáticos: uma revisão. *Revista Eixo*, v. 2, n. 1, p. 39–52, 2013.

GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. *Revista ABES*, v. 4, n. 76, p. 1–84, 2004.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7,

n. 4, p. 75–95, 2002.

HU, C.; LIU, H.; QU, J. Coagulation properties of an electrochemically prepared polyaluminum chloride containing active chlorine. *Chinese Science Bulletin*, v. 51, n. 16, p. 1955, 2006.

KOCHENBORGER, G. Tratamento físico-químico para efluente de cervejaria. Passo Fundo, 2012.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. [s.l.] Átomo, 2008.

LIMA, E. P. P. Pós-tratamento em reator com recheio de pedra calcária de efluentes da parboilização do arroz tratados em reator UASB. 2003. 42 pDissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial)–DCTA, Faem ..., , 2003.

LIMBERGER, S. C.; ESPÍNDOLA, C. J. A desnacionalização da indústria cervejeira no Brasil: da reestruturação produtiva aos movimentos de fusões e aquisições. *Ateliê Geográfico*, v. 13, n. 2, p. 148–164, 2019.

LOPES, M. A. Avaliação de diferentes coagulantes para remoção de sólidos por flotação e sedimentação de água residuária de uma indústria metal-mecânicaUniversidade de São Paulo, , 2011.

MACEDO, C. F.; TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 36, n. 2, p. 149–163, 2018.

MARGUTI, A. L.; FERREIRA FILHO, S. S.; PIVELI, R. P. Otimização de processos físico-químicos na remoção de fósforo de esgotos sanitários por processos de precipitação química com cloreto férrico *Engenharia Sanitaria e Ambiental scielo* , , 2008.

MARTINS, H. C. Estudo sobre os processos de coagulação, floculação e decantação em efluentes oriundos de usina canvieiraUniversidade Tecnológica Federal do Paraná, , 2014.

MCGOVERN, P. E. Uncorking the past: the quest for wine, beer, and other alcoholic beverages. [s.l.] Univ of California Press, 2009.

MEGA, J. F.; NEVES, E.; ANDRADE, C. J. DE. A produção de cerveja no Brasil. *Revista Citino*, v. 1, n. 1, p. 34–42, 2011.

MENDONÇA, L. C. Microbiologia e cinética de sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leite expandidoUniversidade de São Paulo, , 2002.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável*, v. 3, n. 4, p. 33–38, 2002.

METCALF AND EDDY, I. *et al.* Water reuse. [s.l.] McGraw-Hill Professional Publishing, 2007.

MONACO, P. A. V. LO *et al.* Tratamento de Esgoto Sanitário utilizando coagulante natural seguido de filtro orgânico. *Revista Caatinga*, v. 27, n. 1, p. 28–40, 2014.

OENNING JUNIOR, A.; PAWLOWSKY, U. Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 305–316, 2007.

PEREIRA, L. S. F.; SENNA, A. J. T.; KUNZ, A. Análise do desempenho de um sistema de aeração por difusor poroso de bolha fina instalado no reator biológico aeróbio (RBA) da estação de tratamento de dejetos suínos (ETDS) da Embrapa. Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE). Anais...In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 1., 2010, Bauru. Anais ..., 2011

PORTES, A. C. Pré-tratamento de efluente de microcervejaria por adsorção empregando adsorventes alternativos Universidade Tecnológica Federal do Paraná, , 2016.

PORTO, A. E. B.; SCHOENHALS, M. Tratamento de efluentes, reúso de água e legislação aplicada em lavanderia têxtil industrial. III Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica federal do Paraná, p. 28–30, 2012.

RAST, W.; THORNTON, J. A. Trends in eutrophication research and control. *Hydrological processes*, v. 10, n. 2, p. 295–313, 1996.

REINOLD, M. R. Manual prático de cervejaria. São Paulo: Aden, p. 214, 1997.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de água: tecnologia atualizada. [s.l.] Editora Blucher, 1991.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja. *Revista Química Nova*. São Paulo, v. 37, p. 98–105, 2015.

SANTOS, M. S. DOS; RIBEIRO, F. DE M. Cervejas e refrigerantes. São Paulo: CETESB, v. 58, 2005.

SANTOS, O. S. O Desperdício e a reutilização da água. *Brasil Para Todos-Revista Internacional*, v. 6, n. 1, p. 1–13, 2018.

SARAIVA, C. B. *et al.* Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v. 64, n. 367, p. 10–18, 2009.

SAUTCHUK, C. A. *et al.* Conservação e reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial. Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo–FIESP/CIESP, v. 1, 2004.

SIEGLE, T. Otimização de custos operacionais de uma estação de tratamento

de efluentes industriais de uma industria de peças automotivas. Trabalho de Conclusão de Curso., 2012.

SILVA, H. A.; LEITE, M. A.; PAULA, A. R. V. Cerveja e sociedade. *Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade*, v. 4, n. 2, p. 85–91, 2016.

SINDCERV. O setor cervejeiro em números. Disponível em: <<https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>>. Acesso em: 10 set. 2020.

SIQUEIRA, P. B.; BOLINI, H. M. A.; MACEDO, G. A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, v. 19, n. 4, p. 491–498, 2009.

SOUZA, J. R. DE *et al.* A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil. *REDE-Revista Eletrônica do Prodema*, v. 8, n. 1, 2014.

SPERLING, M. VON. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG, v. 452, 2005.

TIPPLE, J. M.; JÚNIOR, H. C. R. AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO QUÍMICA NA REMOÇÃO DE FÓSFORO DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE. *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol XX- nº X*, 2018.

TORRES, D. M. TRATAMENTO DE EFLUENTES E PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO PARA FINS AGRÍCOLAS. *HOLOS*, v. 8, p. 1–15, 2019.

TORRES, T. L. *et al.* Gestão do uso da água na indústria: aplicação do reuso e recuperação. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, n. 2, p. 370–385, 2018.

TUNDISI, J. G. Governança da água. *Revista da Universidade Federal de Minas Gerais*, v. 20, n. 2, p. 222–235, 2013.

VIEIRA, A. G.; FERREIRA, T. P.; JUNIOR, A. A. D. Processo de produção de cerveja. *Revista Processos Químicos*, v. 3, n. 6, p. 61–71, 2009.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* Scielo, , 2010.

WHATELY, M.; CAMPANILI, M. O século da escassez: Uma nova cultura de cuidado com a Água: Impasses e Desafios. [s.l.] Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2016.