



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA

SABRINA RODRIGUES LOPES

**A UTILIZAÇÃO DO REUSO DE EFLUENTE INDUSTRIAL: UMA ANÁLISE DO
IMPACTO NO CONSUMO DE ÁGUA NA CERVEJARIA DO BRASIL**

FORTALEZA

2022

SABRINA RODRIGUES LOPES

**A UTILIZAÇÃO DO REUSO DE EFLUENTE INDUSTRIAL: UMA ANÁLISE DO
IMPACTO NO CONSUMO DE ÁGUA NA CERVEJARIA DO BRASIL**

Relatório de Estágio Supervisionado apresentado ao Departamento de Engenharia de Pesca do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte das exigências para a obtenção do Título de Engenheiro de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto

Co-orientador: Eng^o ambiental Raelis Natanha da Silva

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L855u Lopes, Sabrina Rodrigues.

A utilização do reuso de efluente industrial : uma análise do impacto no consumo de água na cervejaria no Brasil / Sabrina Rodrigues Lopes. – 2022.

57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

Coorientação: Prof. Raelis Natanha da Silva.

1. Reuso. 2. Aquicultura. 3. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 639.2

Universidade Federal do Ceará
Centro de Ciências Agrárias
Curso de Engenharia de Pesca

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CUESO

Semestre 2021.2

SABRINA RODRIGUES LOPES

A UTILIZAÇÃO DO REUSO DE EFLUENTE INDUSTRIAL: UMA ANÁLISE DO
IMPACTO NO CONSUMO DE ÁGUA NA CERVEJARIA DO BRASIL

Relatório de Estágio Supervisionado
apresentado ao Departamento de
Engenharia de Pesca do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade
Federal do Ceará, como parte das
exigências para a obtenção do Título de
Engenheiro de Pesca.

Aprovada em: 04/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dr.a. Mayra Bezerra Vettorazzi
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Ms. Daniele Ferreira Márques
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Cervejaria do Brasil pela oportunidade de estágio e pela grande experiência profissional que me concedeu no meu período na companhia.

Ao meu orientador Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto, pelos ensinamentos, parceria e instrução durante minha graduação e principalmente durante o meu trabalho de conclusão de curso.

À minha orientadora técnica, Raelis Nathanha da Silva, por todo auxílio durante o estágio supervisionado, pela paciência e por contribuir na minha formação acadêmica.

Aos membros que aceitaram fazer parte da minha banca, contribuindo com seus ensinamentos, Prof.a Dr.a Mayra Bezerra Vettorazzi e Ms. Daniele Ferreira Marques.

À minha família e a meus pais, Maria Lusanira Rodrigues Fernandes e José Valmir Lopes da Costa, pelo apoio, dedicação, suporte e incentivo durante todo o período da minha graduação.

À minha mãe, Maria Lusanira Rodrigues Fernandes, por ser meu exemplo de força, determinação e perseverança em meio a todas as adversidades passadas.

À minha avó, Cleonice Rodrigues Fernandes, por ser um alicerce tão forte e por sempre passar o ensinamento correto.

Aos operadores e técnicos da área de meio ambiente da Cervejaria do Brasil por todos os ensinamentos, auxílio e colaboração durante o período do meu estágio na companhia.

Aos membros do LARAq, Rodrigo Braga, Jonnathan Wenderson, Fabiola Araújo, Ikaro Xavier e Danilo de Andrade que tanto me ensinaram e ajudaram nos desafios encontrados.

Ao PACCE e todos os seus integrantes que tanto me ensinaram sobre os valores de fazer parte de uma comunidade e o cuidado com o outro, em especial ao Prof. Dr. Hermany Rosa Vieira, que ensina por meio do exemplo.

À CORAq por ter sido meu primeiro contato com o mercado de trabalho, por todo conhecimento investido em mim, por toda oportunidade de crescimento dentro da Empresa Júnior e por ter me ensinado lições valiosas.

Aos amigos que a universidade me trouxe e que levarei para a vida, Samile Rocha, Alicia Moreira, Anna Madyanne, Emanuel Mota, Luis Rodrigues

e Isabela Horácio pelo companheirismo, suporte, parceria e apoio na vida acadêmica e pessoal.

A todos os meus companheiros do curso que participaram da minha trajetória durante a graduação e que contribuíram, de maneira direta ou indireta, para minha formação.

RESUMO

A água é um recurso natural que precisamos explorar com responsabilidade e de forma consciente. A indústria é responsável pelo consumo de 20% da água doce consumida no mundo. O uso de tecnologias que minimizem o consumo de água é essencial, o que agrega valor ao produto por meio de seu uso de forma mais eficiente. Essa visão vem impactando cada vez mais os setores que precisam desse recurso para obter êxito. Diversos órgãos e entidades buscam constantemente novas fontes de recurso hídrico para complementar o uso nessas regiões e reduzir o impacto nas atividades econômicas. Nessas condições, o termo de “substituição de fontes”, se mostra como a alternativa plausível para atender as demandas menos restritivas. Com o presente trabalho, foi observado que na Cervejaria do Brasil, o consumo de água é relacionado com a produção líquida de cerveja. No ano de 2020, a média de consumo de água foi de 4,3 L para produzir 1 L de cerveja. No ano de 2021, por outro lado, foi obtido um ganho de 6,28% no indicador de consumo de água e a média reduziu para 4,03 L para cada 1 L de cerveja produzida. O índice de reuso apresenta um princípio semelhante e é calculado pelo volume de reuso produzido dividido pela produção entregue ao mercado consumidor. É possível observar que houve um acréscimo de 214,28% no índice de reuso, que passou de 0,07 em 2020 para 0,22 em 2021. Verificou-se também que os processos de tratamento de água e tratamento de efluente industrial podemos observar diversas semelhanças com tecnologias empregadas nos sistemas aquícolas, como por exemplo, a utilização de diferentes tipos de filtração física como observado em sistemas de recirculação de água e também nos tipos de aeração do sistema aeróbio para o tratamento de efluente, que é semelhante à tecnologia utilizada no sistema de bioflocos.

Palavras-chaves: reuso; aquíicultura; sustentabilidade.

ABSTRACT

Water is a natural resource that we need to explore responsibly and consciously. The industry is responsible for consuming 20% of the fresh water consumed in the world. The use of technologies that minimize water consumption is essential, which adds value to the product through its more efficient use. This vision is increasingly impacting the sectors that need this resource to be successful. Several agencies and entities are constantly looking for new sources of water resources to complement the use in these regions and reduce the impact on economic activities. Under these conditions, the term “source substitution” is shown to be the plausible alternative to meet less restrictive demands. With the present work, it was observed that in the Cervejaria do Brasil, water consumption is related to the net production of beer. In 2020, the average water consumption was 4.3 L to produce 1 L of beer. In 2021, on the other hand, a gain of 6.28% was obtained in the water consumption indicator and the average reduced to 4.03 L for every 1 L of beer produced. The reuse index has a similar principle and is calculated by the volume of reuse produced divided by the production delivered to the consumer market. It is possible to observe that there was an increase of 214.28% in the reuse rate, which went from 0.07 in 2020 to 0.22 in 2021. It was also verified that the processes of water treatment and industrial effluent treatment we can observe several similarities with technologies used in aquaculture systems, such as the use of different types of physical filtration as observed in water recirculation systems and also in types of aeration of the aerobic system for the treatment of effluent, which is similar to the technology used in the biofloc system.

Keywords: reuse; aquaculture; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da Cervejaria do Brasil, Aquiraz/CE.....	19
Figura 2 – Fluxograma da Estação de tratamento de água.....	21
Figura 3 – Localização da captação de água da Cervejaria do Brasil no Açude Riachão.....	22
Figura 4 – Câmara de floculação da ETA convencional.....	23
Figura 5 – Equipamento de dosagem de polímero da ETA.....	24
Figura 6 – Planta baixa da ETA convencional.....	24
Figura 7 – Módulos de decantação do decantador.....	25
Figura 8 – Medição do residual de sólidos do decantador.....	26
Figura 9 – Câmara de filtração da ETA.....	26
Figura 10 – Filtros multimídia.....	28
Figura 11 – Banco de osmose reversa 1.....	29
Figura 12 – Funcionamento do sistema de osmose reversa 1.....	30
Figura 13 – Filtro zeólita.....	31
Figura 14 – Filtro polidor do sistema de osmose reversa 2.....	32
Figura 15 – Fluxograma da Estação de tratamento de efluente industrial (ETEI).....	33
Figura 16 – Caixa de areia do recebimento de efluente.....	34
Figura 17 – Elevatória de entrada ETEI.....	34
Figura 18 – Tanque equalizado.....	35
Figura 19 – Tanque de condicionamento e dosagem de ácido.....	36
Figura 20 – Esquematização do UASB.....	36
Figura 21 – UASB (<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>).....	37
Figura 22 – Pontos de coleta de lodo no UASB.....	38
Figura 23 – Lagoa de aeração.....	39
Figura 24 – Decantador ETEI.....	40
Figura 25 – Adensador de lodo.....	41
Figura 26 – Centrífuga (1) e retirada de lodo (2)	41
Figura 27 – Lagoa de polimento.....	42
Figura 28 – Ultrafiltração.....	43
Figura 29 – Osmose reversa do sistema de reuso.....	44
Figura 30 – Fluxograma sistema de reuso de água.....	45

Figura 31 – Comparativo do índice de consumo de água da Cervejaria do Brasil nos anos de 2020 e 2021.....	46
Figura 32 – Comparativo do índice de reuso de água da Cervejaria do Brasil nos anos de 2020 e 2021.....	47
Figura 33 – Comparativo entre o volume captado do açude Riachão com a utilização de reuso e a estimativa do volume captado sem a utilização de reuso nos anos de 2020 e 2021.....	47
Figura 34 - Representação de sistema de recirculação de água (RAS).....	49
Figura 35 – Exemplos de filtros mecânicos pressurizados utilizados em aquicultura..	50
Figura 36 – Exemplo de filtro de tambor rotativo.....	51
Figura 37 – Exemplo de mídias biofiltro utilizadas na filtração biológica de RAS.....	52
Figura 38 – Exemplos de aeradores utilizados na aquicultura.....	53
Figura 39 – Exemplo de sistema com lodo ativado.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de materiais utilizados na câmara de filtração da ETA.....	27
Tabela 2 – Pontos de lodo do UASB e caracterização das bactérias degradadoras de matéria orgânica.....	38
Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos do reuso.....	43
Tabela 4 – Comparativo do parâmetro oxigênio dissolvido presente na lagoa de aeração da Cervejaria do Brasil.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANS	Análise de nível de serviço
ETA	Estação de tratamento de água
ETEI	Estação de tratamento de efluente industrial
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
h	Hora
kDa	Quilodalton
L	Litro
$\mu\text{S/cm}$	Micro-Siemens por centímetro
m^3	Metro cúbico
m^2	Metro quadrado
min	Minuto
mL	Mililitro
mm	Milímetro
NTU	Unidade de Turbidez Nefelométrica
PAC	Policloreto de alumínio catiônico
pH	Potencial hidrogeniônico
RAS	Sistema de recirculação de água
RS	Residual de sólidos no decantador
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2.OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo geral.....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO.....	19
3.1 Local de estágio.....	19
4. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS.....	21
4.1 Estação de tratamento de água (ETA).....	21
4.1.1 <i>Captação da água</i>	22
4.1.2 <i>Estação de tratamento de água convencional</i>	22
4.1.2.1 <i>Câmara de floculação</i>	22
4.1.2.2 <i>Câmara de decantação</i>	24
4.1.2.3 <i>Câmara de filtração</i>	26
4.1.3 <i>Osmose reversa 1</i>	27
4.1.4 <i>Osmose reversa 2</i>	30
4.2 Estação de tratamento de efluente industrial (ETEI).....	32
4.2.1 Pré-tratamento.....	33
4.2.2 <i>Sistema anaeróbio</i>	36
4.2.3 <i>Sistema aeróbio</i>	39
4.3 Sistema reuso.....	42
4.4. Análise de consumo de água.....	45
5. UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS AQUÍCOLAS NO TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTE DA CERVEJARIA DO BRASIL.....	48
5.1 Filtragem mecânica.....	48

5.2 Reator biológico.....	51
5.3 Aeração.....	52
5.4 Lodo ativado.....	54
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
7. REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A água está em constante movimento no planeta e o seu volume mantém-se praticamente estável devido o ciclo hidrológico, alterando-se apenas a sua distribuição regional e o estado físico no qual se apresenta (sólido, líquido e gasoso). Componente essencial para a ocorrência e manutenção da vida na Terra, ela é uma substância presente em toda a natureza, composta por dois átomos: oxigênio e hidrogênio. A água é um recurso natural que precisamos explorar com responsabilidade e de forma consciente (RIBEIRO; ROLIM, 2017).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2019), a indústria é responsável pelo consumo de 20% da água doce consumida no mundo. O uso de tecnologias que minimizem o consumo de água é essencial, o que agrega valor ao produto por meio de seu uso de forma mais eficiente. Essa visão vem impactando cada vez mais os setores que precisam desse recurso para obter êxito.

Hoje em dia a determinação da quantidade de água anual total utilizada para as diversas formas de uso, consumo e poluição de água doce aplicadas na produção de bens e serviços relacionados com o consumo de uma população, serve de ferramenta para mensurar o impacto da produção de *commodities* (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007). O conceito de pegada hídrica foi definido por Hoekstra e Chapagain (2007) para que fosse possível ter um indicador de uso da água baseado no consumo que pudesse fornecer informações úteis além dos indicadores tradicionais de uso da água baseados no setor de produção. Esse termo traduz a necessidade de preservação dos recursos hídricos (BLENINGER; KOTSUKA, 2015). A pegada hídrica é análoga a pegada ecológica, que teve seu conceito formulado na década de 1990. Este conceito traduz-se na quantidade de terra e água que são necessárias para sustentar as gerações atuais, tendo em vista todos os recursos materiais e energéticos gastos por uma determinada população. Dado isso, a "pegada ecológica", quantifica a área necessária para sustentar a vida das pessoas, enquanto a "pegada hídrica" indica a quantidade de água necessária para sustentar uma população (BLENINGER; KOTSUKA, 2015).

No Brasil, a água das regiões áridas e semiáridas sempre foi um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. A região Nordeste é conhecida por suas secas cíclicas e prolongadas que afetam as atividades econômicas e o

cotidiano das comunidades e por ser densamente povoada quando comparada à outras regiões do país. Outro fator limitante para o desenvolvimento desta região é a crise de governança da água, já que a distribuição geográfica e social faz com que a água não chegue de forma adequada e frequente a todos os nordestinos (SILVA; FERREIRA; SANTOS, 2019). Segundo Aldo Rebouças (2002), na extensão de 600.000 km² do Nordeste semiárido, as médias pluviométricas variam entre 400 e 800 mm/ano, enquanto as taxas de evaporação médias variam entre 1.000 e mais de 3.000 mm/ano, causando um déficit hídrico na região. De acordo com o boletim com dados de satélites sobre chuvas no Brasil em 2020 da UFPB, a região Norte atingiu volumes superiores a 30.000 mm/ano. Já a região Nordeste do país apresentou os menores índices pluviométricos, chegando a menos de 500 mm/ano em algumas zonas. O monitor de secas da Funceme, relata que o Ceará foi caracterizado como seca fraca no ano de 2020.

Diversos órgãos e entidades buscam constantemente novas fontes de recurso hídrico para complementar o uso nessas regiões e a redução do o impacto nas atividades econômicas. Nessas condições, o termo de “substituição de fontes”, se mostra como a alternativa plausível para atender as demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico e produção de alimentos e bebidas (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006). As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras, devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o aproveitamento dessas fontes, como o reuso da água constitui-se hoje juntamente com a melhoria da eficiência do uso desse recurso e o controle de sua demanda a estratégia básica para a solução do problema de escassez hídrica.

No segmento da indústria de bebidas, esse recurso é muito necessário para a realização dos processos e termos como “reuso da água” são bastante difundidos e trabalhados nesse âmbito. A água é aproximadamente 90% da matéria prima da cerveja, principal produto da Cervejaria do Brasil (local onde o estágio foi desenvolvido). Entretanto, a água também é consumida por outros processos durante a produção da cerveja. Estima-se que na produção de cerveja 93% é de água (NETO, 2009).

Nos processos de tratamento de água e tratamento de efluente industrial podemos observar diversas semelhanças com tecnologias empregadas nos sistemas aquícolas, como por exemplo, a utilização de diferentes tipos de filtração física (carvão, zeólita, areia), como observado em sistemas de recirculação de água e também nos tipos de aeração do sistema aeróbio para o tratamento de efluente, que é semelhante à tecnologia utilizada no sistema de bioflocos (aeradores de fluxo ascendente e difusores de ar).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a redução do consumo de água na Cervejaria do Brasil devido a utilização de reuso de efluente industrial.

2.2 Objetivos Específicos

- a. Descrever as operações das etapas da estação de tratamento de água (ETA) e estação de tratamento de efluente industrial (ETEI);
- b. Descrever o sistema de tratamento de água;
- c. Descrever o sistema de tratamento de efluente industrial
- d. Analisar o consumo de água em relação ao açude Riachão.

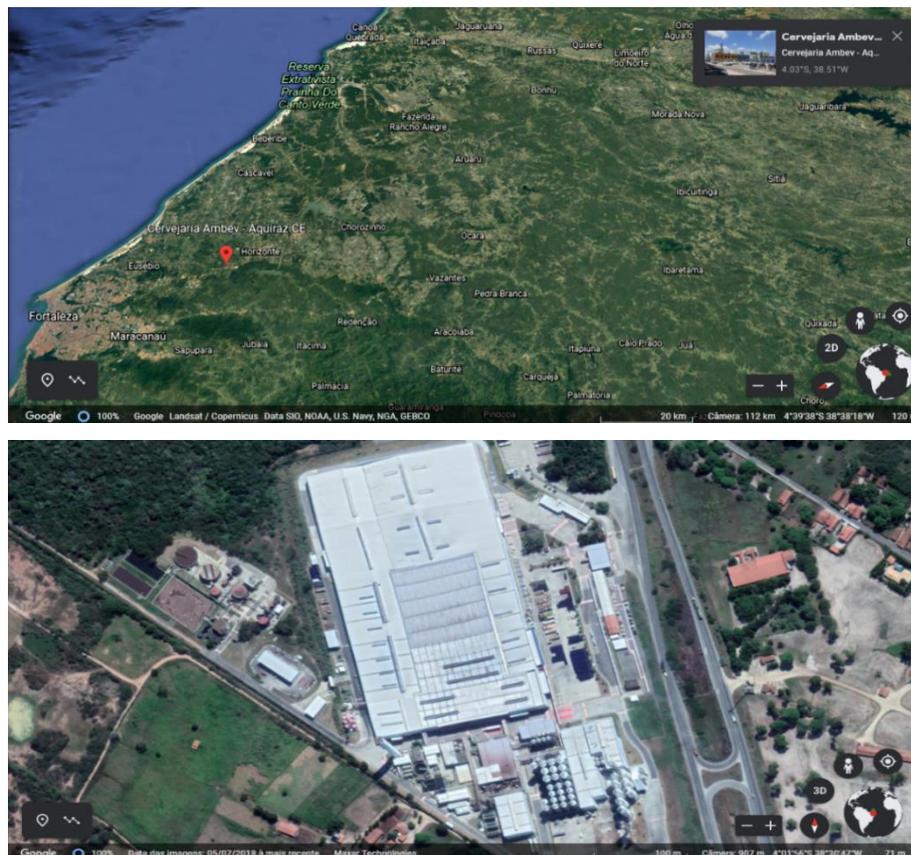
3 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO

O estágio foi realizado na empresa Cervejaria do Brasil, no período de novembro a dezembro de 2021, com carga horária de 30 horas semanais.

3.1 Local do Estágio

A Cervejaria do Brasil está localizada no município de Aquiraz/CE (FIGURA 1). É uma indústria que tem por finalidade a produção de cervejas. Hoje possui um portfólio de mais de 62 marcas produzidas nas trinta unidades produtivas e apreciadas em todo o país. A empresa surgiu em São Paulo (sede da empresa) no ano de 1853 com a primeira Cervejaria do Brasil e chegou no Ceará no ano de 1999. Também é dona de cerca de 60% do *Market share* (quota de mercado cervejeiro) do Brasil.

Figura 1 – Localização da Cervejaria do Brasil, Aquiraz/CE.



Fonte: Google Earth (2022).

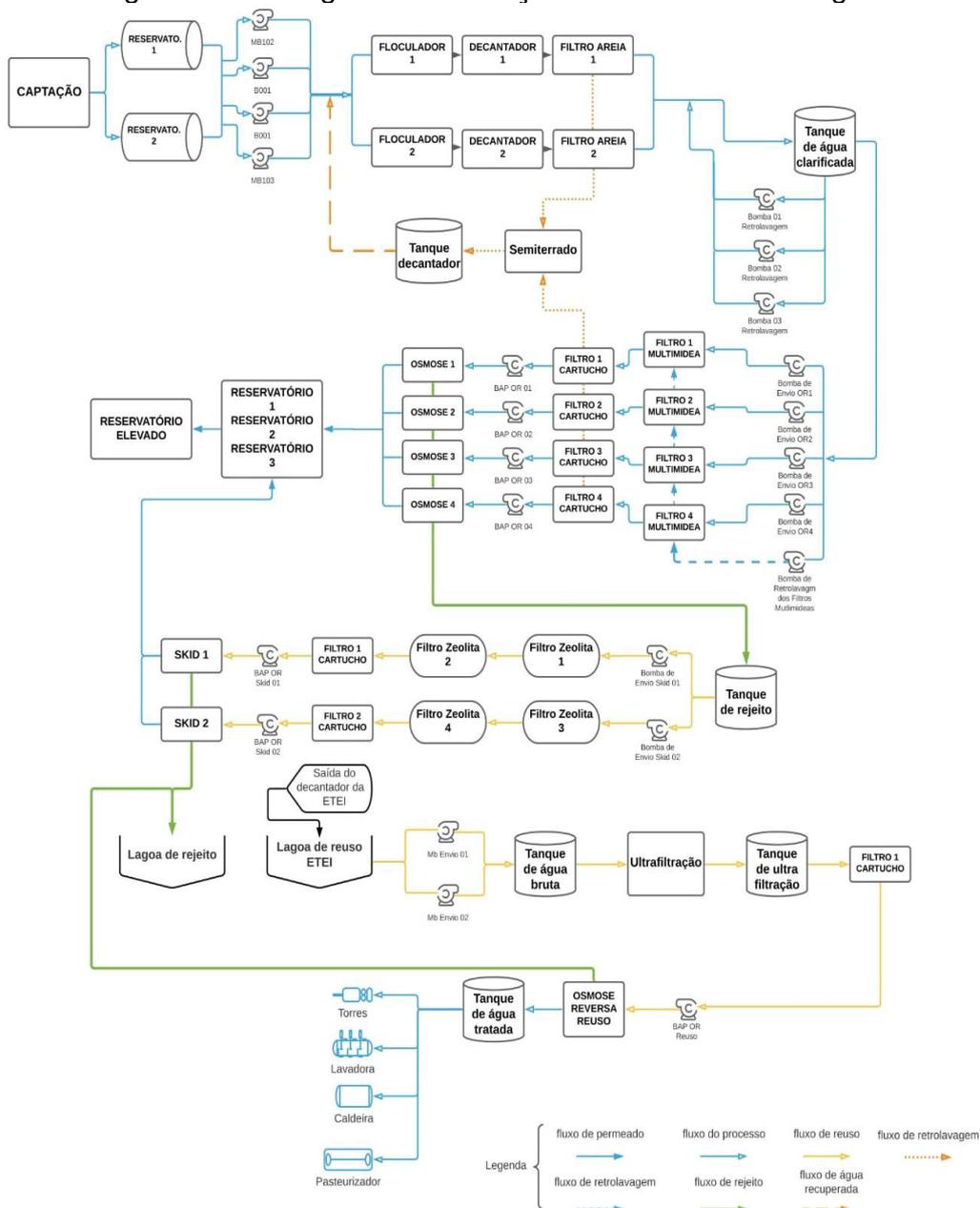
O principal produto fornecido pela Cervejaria do Brasil são as cervejas, as quais são conhecidas nacionalmente e apreciadas pelo público. Para que esse ativo tão importante possa ser produzido, são necessários o emprego de tecnologias. Esses processos são importantes para que haja adequado tratamento de água, deste emprego garantir a qualidade do produto, e também, sua destinação correta no meio ambiente por meio do tratamento de efluentes industriais originários da produção.

4 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

4.1 Estação de tratamento de água (ETA)

A estação de tratamento de água (ETA) da Cervejaria do Brasil é onde se dá a origem da produção das cervejas (FIGURA 2). Manter o funcionamento adequado e produtivo significa otimizar a produção da cervejaria, fornecendo para o consumidor o melhor produto no tempo correto.

Figura 2 – Fluxograma da estação de tratamento de água.

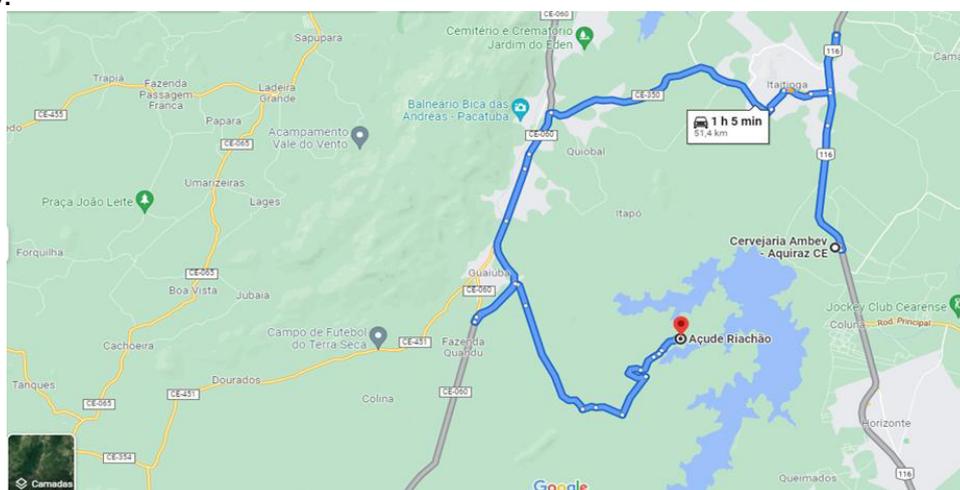


Fonte: Autora.

4.1.1 Captação de água

A água utilizada na Cervejaria do Brasil é proveniente do açude Riachão (FIGURA 3). A entrada da água (ETA) é dada por gravidade até a estação de tratamento, onde é armazenada inicialmente em dois tanques, cada um com capacidade de 1.000 m³. Neste local é realizada dosagem de cloro automática (2 mg/L) para iniciar o processo de oxidação de matéria orgânica presente na água.

Figura 3 – Localização da captação de água da Cervejaria do Brasil no Açude Riachão.



Fonte: Google (2021).

4.1.2 Estação de tratamento de água convencional

A primeira etapa de tratamento de água é dada por duas estações de tratamento de água (ETA) convencionais. Uma ETA convencional é caracterizada por ser um sistema aberto que apresenta três processos distintos para o tratamento da água: a câmara de floculação, a câmara de decantação e a câmara de filtração. Esses processos visam, de modo geral, a remoção de sólidos suspensos e dissolvidos na água, além da inativação de microrganismos devido a ação do cloro.

4.1.2.1 Câmara de floculação

O floculador (FIGURA 4) é um equipamento no qual são adicionados produtos químicos (cloro, policloreto de alumínio catiônico e polímero aniônico) que tem como finalidade a agregação de partículas coloidais e formação de flocos. Para que esse processo ocorra, existem agitação mecânica no tanque.

Figura 4 – Câmara de floculação da ETA convencional.



Fonte: Autora.

Existem dois floculadores na Cervejaria do Brasil, cada floculador é do tipo prismático quadrado, medindo 5 m de comprimento, 5 m de largura e 3,9 m de altura, apresentando volume de 97,5 m³ de capacidade de armazenamento. A vazão de projeto de cada floculador é de 230 m³/h e o tempo de detenção hidráulica é de 22 minutos. Cada uma dessas estruturas possui duas pás para agitação moderada dos líquidos. A entrada da água é feita por cima do floculador juntamente com a incorporação de policloreto de alumínio catiônico (PAC), com dosagem de 250 mL/min, e de polímero aniônico, com dosagem 1.800 mL/min. A incorporação dos produtos químicos é necessária para que haja a aglutinação das partículas coloidais (flocos) e assim, facilitar o próximo processo, a decantação.

A dosagem de PAC é feita em container de 1.000 L, por meio de uma bomba dosadora. A solução entra em contato com a água por meio de uma picagem ainda na tubulação, antes de entrar no floculador.

Na dosagem do polímero (FIGURA 5), há uma preparação inicial da solução, uma vez que o mesmo se apresenta em pó. São adicionados o polímero em pó e a água no tanque misturador de polímero. A solução diluída é, então, incorporada em conjunto com a água, na entrada no floculador.

Após realizada a formação dos flocos, a água passa para a etapa de decantação.

Figura 5 – Equipamento de dosagem de polímero da ETA.

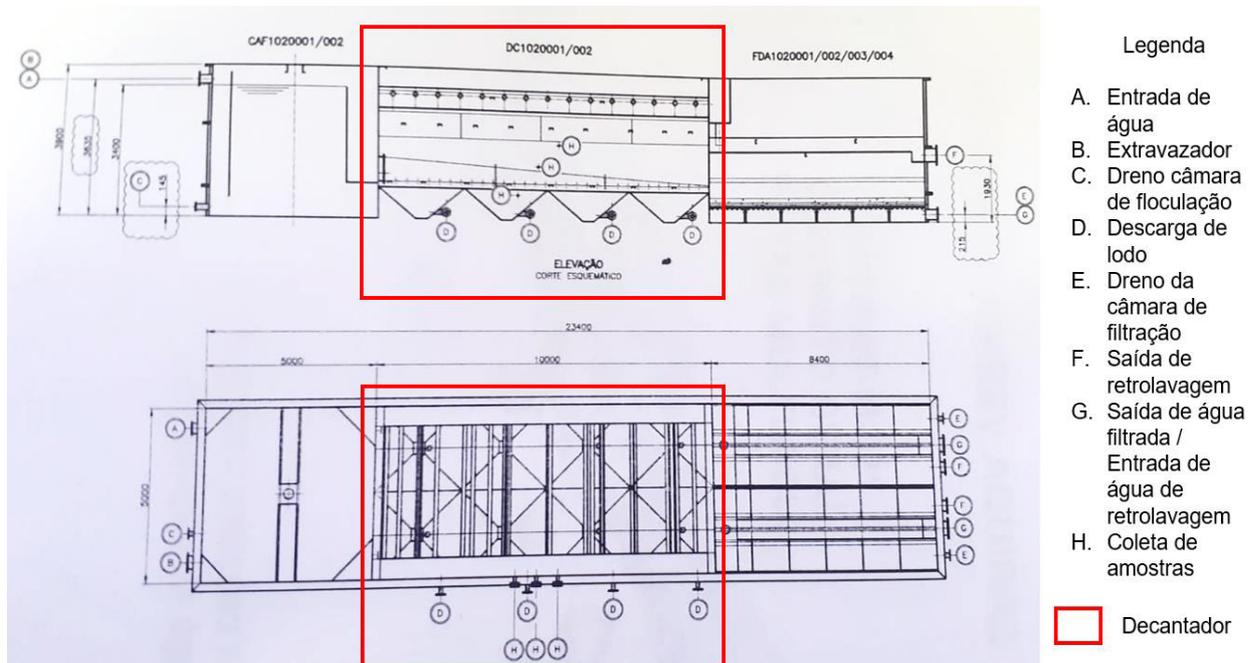


Fonte: Autora.

4.1.2.2 Câmara de decantação

O decantador é um equipamento utilizado para separar a água clarificada dos flocos formados no processo anterior. Existem dois decantadores na Cervejaria do Brasil. Cada decantador é do tipo prismático retangular com 10 m de comprimento, 5 m de largura e 3,9 m de altura, com fundo trapezoidal, o que facilita a retirada do lodo decantado por meio de purgas automáticas no sistema, apresentando volume de 195 m³ de capacidade de armazenamento (FIGURA 6). A vazão de projeto de cada decantador é de 230 m³/h e a taxa de decantação é de 4,6 m³/m²/h.

Figura 6 – Planta baixa da ETA convencional.

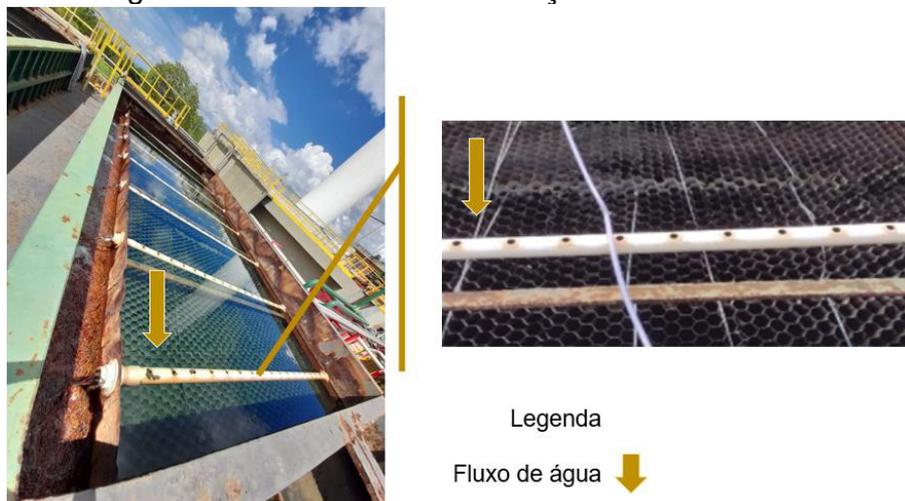


Fonte: Manual fabricante (Fluid Brasil).

No processo de decantação ou clarificação, a água entra por cima e os flocos formados anteriormente vão sedimentando no fundo de acordo com a vazão aplicada no sistema.

O fundo do decantador é composto por módulos de decantação fixados em blocos e posicionados transversalmente à entrada de água para facilitar a sedimentação do floco (FIGURA 7). A vazão de tratamento do sistema impacta diretamente no tempo de detenção hidráulica (TDH) e, conseqüentemente, no parâmetro de turbidez, que deve ser 0,5 NTU. Essa análise é feita por meio de um turbidímetro de bancada três vezes ao dia.

Figura 7 – Módulos de decantação do decantador.



Fonte: Autora.

Outra variável importante é o residual de lodo no decantador (RS). Este parâmetro deve ser mantido entre 300 mL e 500 mL, de acordo com o residual de sólidos no decantador, mensurados por meio do cone de sedimentação Imhoff (FIGURA 8). Caso o RS esteja fora da faixa especificada, o decantador tende a flotar ocasionando prejuízos para o sistema como, por exemplo, saturar rapidamente as câmaras de filtração. Neste caso, será necessário parar o sistema de tratamento e realizar uma limpeza profunda com hipoclorito de sódio.

Figura 8 – Medição do residual de sólidos do decantador.



Fonte: Autora.

4.1.2.3 Câmara de filtração

A água clarificada passa, então, para o último processo dessa etapa de tratamento, a filtração mecânica nos filtros de areia de fluxo descendente. Na cervejaria do Brasil existem quatro câmaras de filtração do tipo prismático. As dimensões de cada câmara são 3,4 m de comprimento, 2,5 m de largura e 3,9 m de altura. A vazão de projeto de cada câmara é de 115 m³/h e a taxa de filtração do sistema é de 5,5 m³/m²/h.

A câmara de filtração (FIGURA 9) tem a função de reter sólidos suspensos advindos da câmara de decantação. O filtro é composto por pedregulho, areia e antracito, conforme detalhado na Tabela 1.

Figura 9 - Câmara de filtração da ETA.



Fonte: Autora.

Tabela 1 – Classificação de materiais utilizados na câmara de filtração da ETA.

Tipo de material	Altura do leito	Volume do material
Pedregulho ¾" a ½"	50 mm	1.000 L
Pedregulho ½" a ¼"	50 mm	1.000 L
Pedregulho ¼" a 1/8"	50 mm	1.000 L
Pedregulho 1/8"	145 mm	3.000 L
Areia 0,5 a 1,7 mm	480 mm	10.000 L
Antracito 1,0 a 1,4 mm	120 mm	2.550 L

Fonte: Manual fabricante (Fluid Brasil)

Na base das camadas do filtro são encontradas crepinas, que são os componentes cuja principal finalidade é a de reter as partículas sólidas de um líquido, como a água. Com isso, é possível realizar o tratamento de forma prática e eficiente, evitando transtornos e diferentes problemas.

A água entra por cima, passa pelas camadas de areia, pelas crepinas e dessa forma é filtrada e armazenada no tanque de água clarificada de 755 m³ para a continuidade do tratamento.

4.1.3 Osmose reversa 1

Após passar pelos processos iniciais de tratamento na ETA convencional, a água passa para o sistema de osmose reversa.

Este sistema tem a função principal de remover partículas moleculares, como por exemplo, íons e bactérias presentes na água. Esse é um tipo de sistema bastante empregado nas estações de tratamento de água na indústria.

O fluxo do sistema se inicia com a água advinda do reservatório de água clarificada passando pelo filtro multimídia (FIGURA 10).

Figura 10 – Filtros multimídia.



Fonte: Autora.

Este filtro multimídia é composto por crepinas, carvão e areias de diferentes granulometrias, cujo intuito principal é retirar o residual de matéria orgânica, turbidez e cloro. A entrada de água segue o fluxo descendente, iniciando-se nas pedras e areias de maior para menor granulometria. As crepinas são utilizadas para impedir que haja passagem de areia, já o carvão tem a finalidade de adsorver qualquer residual de cloro na água antes de entrar na osmose.

Seguindo o fluxo do sistema, o próximo processo é o filtro polidor. Nesse filtro há vinte e sete filtros de cartucho que têm a função de garantir o polimento final da água antes da entrada na osmose, retirando residuais de matéria orgânica e demais sólidos em suspensão.

Na Cervejaria do Brasil, no sistema de osmose 1, há três bancos de osmose reversa em funcionamento, onde cada banco contém 15 vasos operacionais (FIGURA 11). As membranas da osmose 1 apresentam a capacidade, de acordo com o fabricante, de permear até 70 m³/h e rejeitar até 30 m³/h.

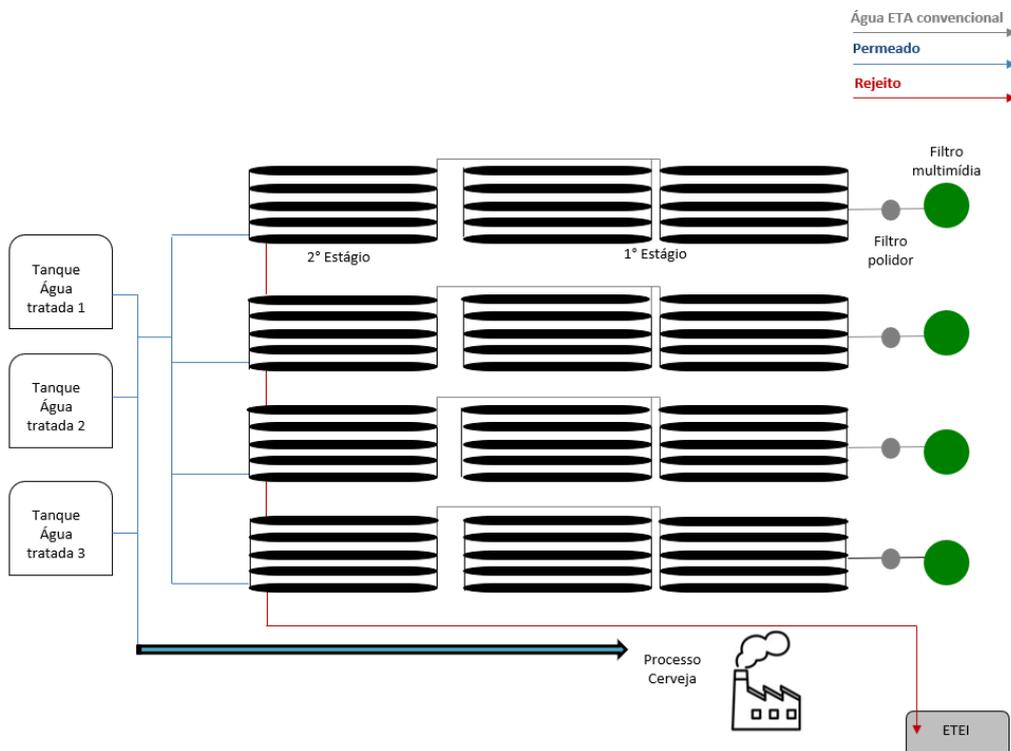
Figura 11 – Banco de osmose reversa 1.



Fonte: Autora.

O sistema de osmose reversa 1 funciona em duplo estágio, isso significa que toda a água entra nos 10 primeiros vasos (1º estágio) e seu volume rejeitado passa para os 5 vasos seguintes (2º estágio), a fim de que se obtenha o melhor aproveitamento de todo recurso (FIGURA 12). Cada vaso tem seis membranas com mesma porosidade, elas suportando uma condutividade máxima de entrada de até 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Em média, a condutividade de entrada não ultrapassa 1.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 12 – Funcionamento do sistema de osmose reversa 1.



Fonte: Autora.

O sistema funciona usando uma válvula moduladora conectada a uma bomba de alta pressão que força a água através da membrana semipermeável. Neste processo, a solução contendo os sais dissolvidos concentrados é chamada de rejeito da osmose e a água livre de sais é chamada de permeado.

As vazões de tratamento da osmose variam de acordo com a operação de cada banco e modulação de produção de água para atender a demanda da cervejaria.

A água permeada fica armazenada em três reservatórios de água tratada, cada um com capacidade de 1.000 m³, e é destinada para a produção na cervejaria. Os reservatórios são equalizados por nível e permanecem na margem de segurança entre 60 a 80%.

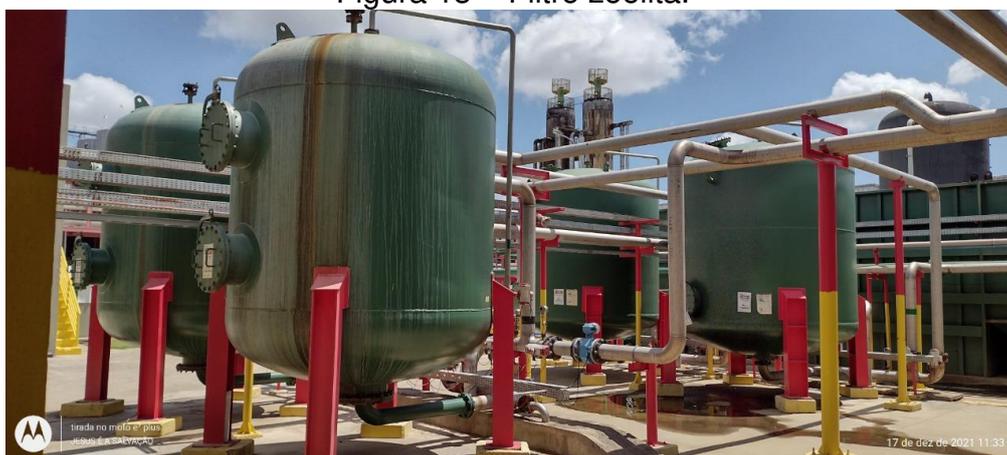
4.1.4 Osmose reversa 2

A Cervejaria do Brasil conta ainda com outro sistema de osmose reversa na planta, conhecida como Osmose reversa 2. Este sistema aproveita todo o rejeito proveniente da osmose reversa 1.

Neste sistema, os equipamentos são bastante semelhantes aos da osmose reserva 1, citada anteriormente. Suas principais diferenças estão na mudança do filtro multimídia para filtros zeólitas e na capacidade de tratamento das membranas da osmose reversa.

O sistema se inicia com a passagem da solução de rejeito pelo filtro zeólita (FIGURA 13). A zeólita é um elemento filtrante poroso com grande área superficial composto por aluminossilicatos hidratados que podem ser naturais ou artificiais. Estes filtros são utilizados para remoção de matéria orgânica, metais pesados (cromo, níquel, chumbo, cádmio, estanho, mercúrio, prata, zinco e cobalto), ferro, manganês, nitrogênio amoniacal, ácido húmico, proteínas, lipídios, cor, odor, sabor e turbidez (IZIDORO, 2008).

Figura 13 – Filtro zeólita.



Fonte: Autora.

O fluxo do sistema segue para o filtro polidor que é composto por vinte e sete filtros de cartuchos em seu interior (FIGURA 14). Após essa filtragem, para retirada de qualquer residual de sólidos suspensos ou partículas, o rejeito entra na osmose reversa 2.

Figura 14 – Filtro polidor do sistema de osmose reversa 2.



Fonte: Autora.

No sistema de osmose reversa 2, há dois bancos de osmose reversa 2 e cada um tem um conjunto de duas unidades de filtros zeólitas. A principal diferença entre os sistemas está na sua capacidade de tratamento e tolerância à condutividade, enquanto a vazão de permeado da osmose 1 deve ser de no máximo 70 m³/h e sua condutividade não deve ultrapassar de 2.000 µS/cm, a vazão de permeado da osmose reversa 2 não deve ultrapassar de 50 m³/h e sua condutividade deve ser inferior à 5.000 µS/cm.

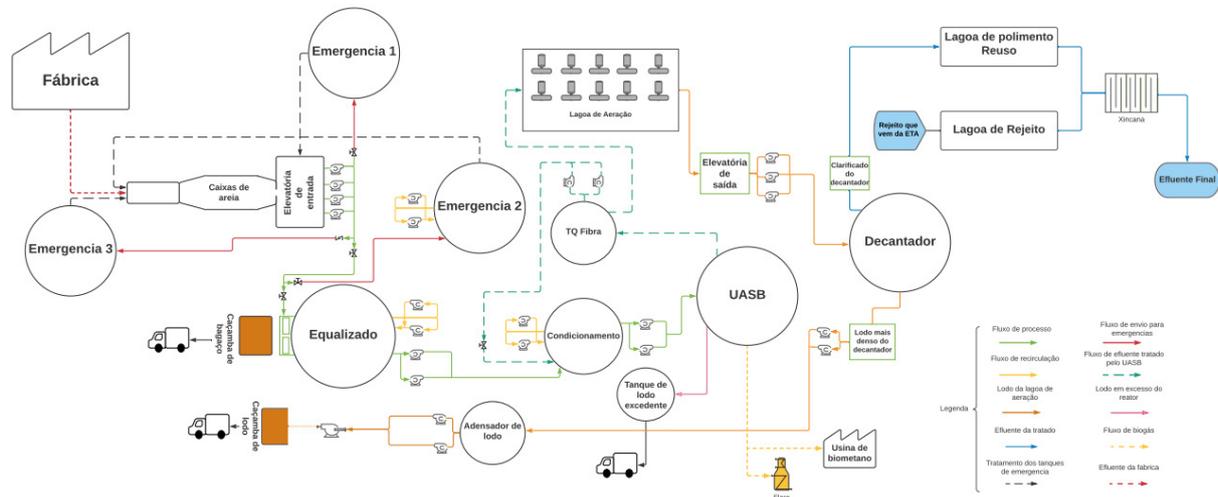
A exposição a condutividades superiores do que o permitido pelo fornecedor, podem ocasionar danos permanentes às membranas, inviabilizando seu uso.

4. 2 Estação de tratamento de efluente industrial (ETEI)

O efluente gerado durante a produção das cervejas é destinado para a Estação de Tratamento de Efluente Industrial (ETEI) da Cervejaria do Brasil (FIGURA 15). É necessário manter toda a estação de tratamento em pleno funcionamento para

garantir a conformidade do efluente que será depositado no meio ambiente e direcionado para o sistema de reuso da cervejaria.

Figura 15 – Fluxograma da Estação de tratamento de efluente industrial (ETEI).



Fonte: Autora.

Ao final do processo de produção da cerveja, o efluente industrial é enviado para a ETEI onde há três etapas de tratamento: 1) pré-tratamento, composto por gradeamento para retirada de sólidos maiores e armazenamento de efluente bruto com ajuste de pH; 2) sistema anaeróbico UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), que é um reator anaeróbico de fluxo ascendente de alta eficiência para o tratamento de efluentes; e 3) sistema aeróbico em lagoa de aeração, decantador para separar o efluente clarificado do lodo concentrado e centrífuga para retirada de lodo do sistema.

4.2.1 Pré-tratamento

O efluente advindo da cervejaria chega na ETEI por gravidade mediante a abertura de válvulas de descarte automática e/ou manualmente de cada área (processo cerveja, *packaging*, utilidade e meio ambiente).

O recebimento do efluente bruto se dá inicialmente no gradeamento, este tem por objetivo reter sólidos grandes que, por ventura, vieram na tubulação de descarte, como por exemplo: rótulos, tampas, resíduos provenientes da lavadora de garrafas. Em seguida, o efluente bruto passa pela caixa de areia (FIGURA 16), esta tem por

objetivo iniciar a decantação de sólidos menores e direcionar o efluente com a menor quantidade de sólidos possível.

Figura 16 – Caixa de areia do recebimento de efluente.



Fonte: Autora.

Seguindo o fluxo, o efluente vai para a elevatória de entrada (FIGURA 17), onde há quatro bombas de potências distintas que modulam de acordo com a vazão de entrada na estação.

Figura 17 - Elevatória de entrada ETEI



Fonte: Autora.

A elevatória tem o papel fundamental de direcionar onde o efluente bruto será armazenado, de acordo com suas características de pH, temperatura, carga orgânica, toxicidade e concentração de químico. Há um padrão (análise de nível de serviço - ANS) de recebimento de efluente na Cervejaria do Brasil. Descartes que são

contemplados nesse padrão, devem ser armazenados em tanques sequestrantes, os chamados tanques de emergência da estação. O efluente bruto armazenado nesses tanques sequestrantes deve ser tratado com cautela no sistema, com baixa vazão de tratamento para que não haja impacto negativo na ETEI. Na estação de tratamento de efluente há três tanques sequestrantes com capacidade de armazenamento de: 1) 550 m³, emergência 1; 2) 485 m³, emergência 2; e 3) 918 m³, emergência 3.

O tipo de efluente que não é contemplado na ANS, é direcionado para o tanque equalizado. Este tanque é responsável pela homogeneização e equalização de vazões para alimentar o tanque de condicionamento (FIGURA 18), com capacidade de armazenamento de 1.264 m³.

Figura 18 – Tanque equalizado.



Fonte: Autora.

O envio do efluente do tanque equalizado para o tanque de condicionamento é feito por quatro bombas que modulam de acordo com a vazão de tratamento da estação. No tanque de condicionamento (FIGURA 19) é feito o ajuste de pH com ácido clorídrico (container de 1.000 L), homogeneização do efluente para permitir que variações de vazões possam ser acomodadas sem prejuízos para o processo fermentativo, hidrólise e acidificação biológica preliminar da matéria orgânica em condições otimizadas e a quebra de partículas complexas em partículas menores. Esses processos são necessários para a entrada do efluente no próximo segmento do sistema, o reator anaeróbio UASB (SILVINO; SANTOS; GOMES, 2007). Nesta etapa é fundamental que o pH não saia da faixa de 6,5 a 7,5. Valores menores que

este podem acidificar o reator e valores acima podem alcalinizar o meio, o que irá afetar a versatilidade das bactérias no reator e favorecer um grupo, ocasionando a morte do reator em seguida. O tanque de condicionamento tem capacidade de armazenar 55 m³.

Figura 19 – Tanque de condicionamento e dosagem de ácido.

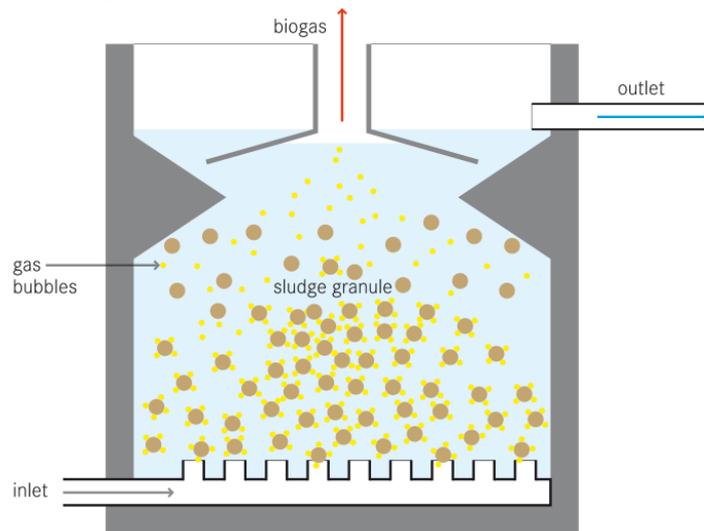


Fonte: Autora.

4.2.2 Sistema anaeróbio

Segundo Batista (2000), a digestão anaeróbia é um processo fermentativo que ocorre na ausência de oxigênio e os materiais orgânicos são decompostos em diversos compostos gasosos. Além do que, também é produzido uma solução aquosa de materiais sólidos, também chamado de lodo, onde são encontrados os compostos difíceis de degradar. A Figura 20 mostra representação esquemática de um sistema anaeróbio do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).

Figura 20 – Esquematização do UASB.



Fonte:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Reator_UASB#/media/Ficheiro:Upflow_Anaerobic_Sludge_Blanket_Reactor_UASB_diagram.svg.

O reator utilizado na Cervejaria do Brasil é do tipo UASB, que é um reator anaeróbio de fluxo ascendente de alta eficiência para o tratamento de efluentes e tem capacidade de 2.400 m³ (FIGURA 21).

Este sistema tem como objetivo a conversão da matéria orgânica e, paralelamente, realiza a separação de gases e líquidos, apresentando gases como o metano como subproduto. Os parâmetros principais de controle do UASB são o tempo de detenção hidráulica e de sólidos, as cargas volumétricas orgânicas e hidráulicas e a velocidade ascensional. Os microrganismos anaeróbicos são utilizados para a degradação da matéria orgânica existentes no efluente que está sendo tratado pelo sistema.

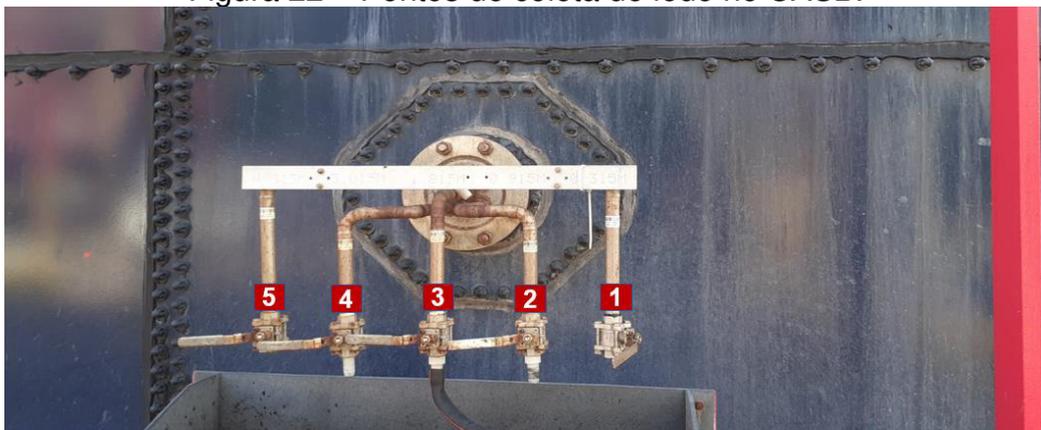
Figura 21 – UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).



Fonte: Autora.

No UASB, as bactérias são sobrepostas, sem barreiras físicas, de acordo com o tipo de alimento apresentado em cada local do tanque reator. Há cinco pontos de coleta de lodo no reator (Figura 22), cada um apresenta um tipo de bactéria diferente com função definida, conforme apresentado na Tabela 2.

Figura 22 – Pontos de coleta de lodo no UASB.



- 1** Ponto de coleta na parte de base do reator, onde há lodo concentrado
- 2** Ponto de coleta para análise do lodo do leito
- 3** Ponto de coleta na parte intermediária do reator
- 4** Ponto de coleta para verificar nível de lodo no UASB
- 5** Ponto de coleta na parte mais alta do reator, onde há saída apenas de efluente tratado

Fonte: Autora.

Tabela 2 – Pontos de lodo do UASB e caracterização das bactérias degradadoras de matéria orgânica.

Ponto de coleta de lodo no UASB	Processos	Função dos processos
Ponto 1	Acidogênese	Bactérias fermentativas que transformam por hidrólise produtos solúveis
Ponto 2	Acetogênese	Bactérias produtoras de hidrogênio que convertem os produtos gerados no ponto 1 em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono
Ponto 3	Metanogênese	Etapa final no processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono
Ponto 4	Metanogênicas Acetoclásticas	Transformam metano e dióxido de carbono
Ponto 5	Metanogênicas Hidrogenotróficas	Produz metano através da redução do dióxido de carbono.

Fonte: Autora.

4.2.3 Sistema aeróbio

A grande diferença entre o tratamento biológico aeróbio em relação ao tratamento anaeróbio é a presença de oxigênio no processo. Os microrganismos aeróbios também degradam a matéria orgânica no processo metabólico, utilizando oxigênio e gerando gás carbônico, água e mais bactérias, aumentando a massa de lodo no sistema.

O processo de lodo ativado consiste em se provocar o desenvolvimento de uma cultura microbiológica na formação do floco (lodos ativados) em um tanque de aeração (FIGURA 23), que é alimentado pelo efluente tratado do reator anaeróbio. Neste tanque a aeração é constante e tem por finalidade proporcionar oxigênio aos microrganismos, evitar a deposição de blocos bacterianos e misturar homogeneamente o efluente, que recebe o nome de licor.

Figura 23 – Lagoa de aeração.



Fonte: Autora.

O oxigênio necessário ao crescimento biológico é introduzido no licor através de um sistema de aeração mecânica. No caso da Cervejaria do Brasil, a incorporação do oxigênio se dá pela agitação do meio e troca com a atmosfera.

São utilizados dez aeradores de fluxo descendente com hélices submersas para promover a mistura e incorporação de oxigênio. Neste estágio, foi observado a baixa eficiência dos aeradores utilizados no cenário de alta vazão de entrada de efluentes na estação de tratamento. O estagio possibilitou a identificação da baixa eficiência na disponibilidade de oxigênio dissolvido pelo sistema de aeração descendente e para mitigar os resultados inferiores de nível de oxigênio dissolvido, foi sugerida a substituição por aeradores ascendentes, semelhantes aos aeradores de modelo chafariz, utilizados na aquicultura para promover a oxigenação dos tanques.

O licor é enviado continuamente a um decantador de 700 m³ (FIGURA 24), que tem como função separar o efluente tratado do lodo. Parte do lodo é recirculado para o tanque de aeração, a fim de manter a concentração de microrganismos dentro de uma proporção em relação à carga orgânica afluyente. O sobrenadante do decantador é o efluente tratado, pronto para o descarte ao corpo receptor.

Figura 24 – Decantador ETEI.



Fonte: Autora.

A outra parte do lodo, proveniente do decantador, vai para o adensador de lodo (FIGURA 25) que tem capacidade de 430 m³ de armazenamento. Este tem a função de realizar a concentração do lodo aeróbio para melhorar a eficiência da desidratação na etapa de centrifugação.

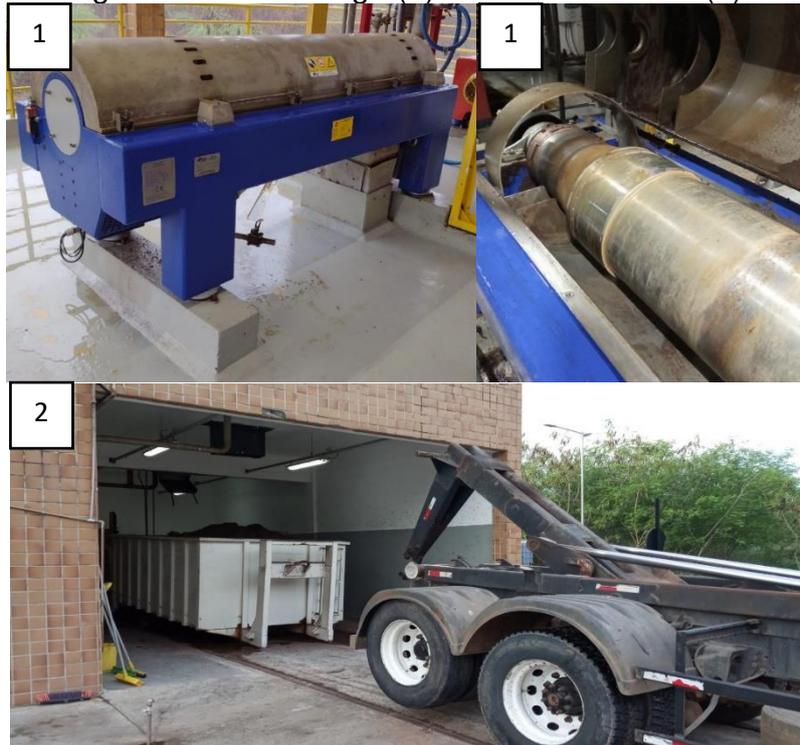
Figura 25 – Adensador de lodo.



Fonte: Autora.

Segundo o fluxo do sistema, com a chegada do lodo na centrífuga (FIGURA 26), há um incremento de solução de polímero a fim de auxiliar o equipamento no processo de centrifugação e, desta forma, realizar a retirada desse subproduto da unidade.

Figura 26 – Centrífuga (1) e retirada de lodo (2).



Fonte: Autora.

Após a saída do efluente tratado do decantador, o mesmo é direcionado para a lagoa de polimento (FIGURA 27). A função desta lagoa é realizar uma decantação final do efluente devido seu alto tempo de detenção hidráulica. Ela também é responsável por armazenar o efluente tratado que alimenta o sistema de reuso.

Figura 27 – Lagoa de polimento.



Fonte: Autora.

4.3 Sistema de reuso de água

A busca constante por novas fontes de recurso hídrico em regiões semiáridas tem por objetivo reduzir o impacto das atividades econômicas. Devido este fato, a substituição de fontes é uma alternativa que está tomando grandes proporções para o abastecimento menos restritivo, como é observado na Cervejaria do Brasil. A água de reuso tem a função fundamental de reduzir a quantidade de água captada do açude Riachão e, dessa forma, diminuir seu impacto no meio ambiente.

O sistema de reuso adotado na Cervejaria do Brasil faz a utilização conjunta do rejeito do sistema de osmose reversa 2 da ETA e do efluente final tratado na estação de tratamento de efluente industrial (ETEI). O objetivo desta junção é obter maior volume de efluente tratado para ser utilizado no sistema de reuso. Os parâmetros físico-químicos de ambas as fontes são bastante semelhantes. Dado isso, uma das melhorias implementadas no decorrer do estágio foi a análise de parâmetros de efluente e rejeito, a aplicação para potencializar o volume produzido nesse sistema e a padronização desse método de tratamento.

Os parâmetros comparativos podem ser observados na Tabela 3 e são referentes aos dados coletados para definir a padronização do método de tratamento do efluente do reuso.

Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos do reuso.

Parâmetros do reuso	Efluente tratado ETEI	Rejeito da osmose reversa 2	Tanque efluente bruto reuso
Condutividade (μS)	4.855	4.570	4.430
Turbidez (NTU)	3,01	0,16	0,20
pH	8,84	6,81	8,34

Fonte: Autora.

O sistema de reuso é composto por duas etapas, o sistema de ultrafiltração e o sistema de osmose reversa. O afluente do reuso entra no filtro autolimpante, cuja finalidade é funcionar como um filtro mecânico de sólidos maiores que podem estar presentes na lagoa de efluente tratado da estação de tratamento de efluente industrial (ETEI).

A próxima etapa do sistema de filtração, são as membranas de ultrafiltração (FIGURA 28). Este equipamento é composto por capilares que retêm massa molar de corte de 1 a 100 kDa. A ultrafiltração atua removendo coloides, matéria orgânica e

totalidade de vírus. Na Cervejaria do Brasil há um banco de ultrafiltração contendo 26 membranas. Tais membranas apresentam uma especificação de entrada de efluente que não pode ser superior a 18 NTU, podendo ocasionar saturação precoce da membrana, gerando indisponibilidade do sistema e desgaste forçado do equipamento.

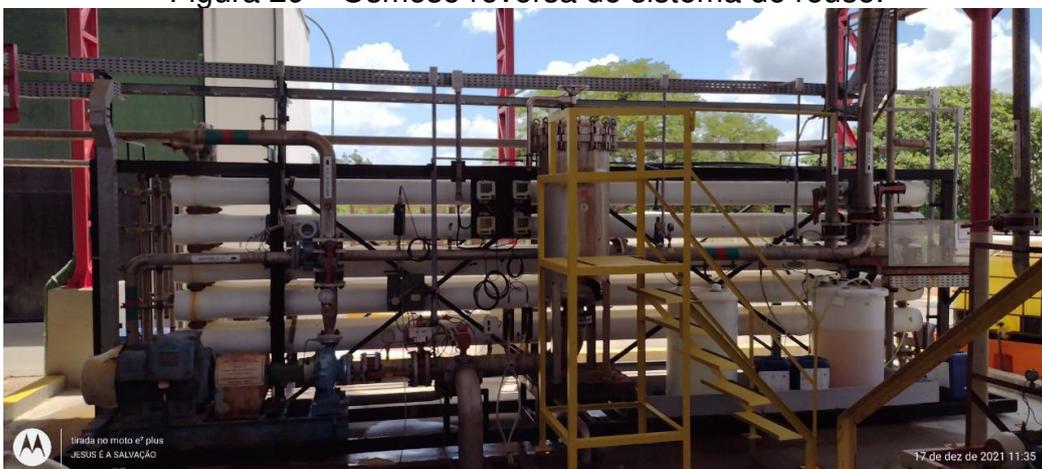
Figura 28 – Ultrafiltração.



Fonte: Autora.

Seguindo o fluxo de tratamento, a etapa seguinte é a osmose reversa de reuso (FIGURA 29). Este sistema tem a mesma finalidade das osmose descritas anteriormente que é realizar a retirada de sais do efluente. A principal diferença está na especificação da membrana que tolera uma faixa de condutividade de 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

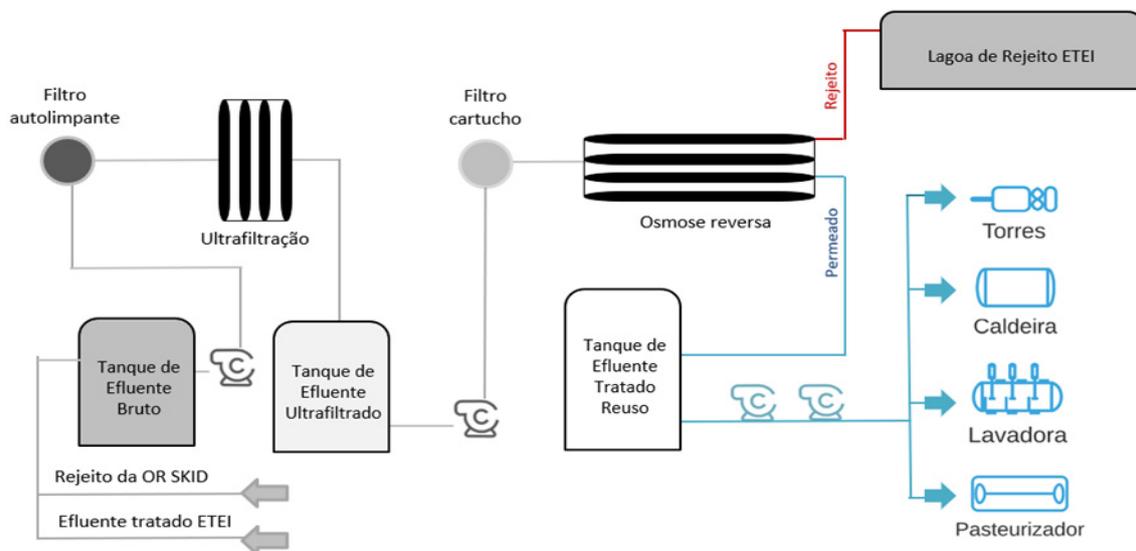
Figura 29 – Osmose reversa do sistema de reuso.



Fonte: Autora.

A água tratada de reuso, de acordo com padrão interno de qualidade, pode ser utilizada em todos os pontos desde que não exista em hipótese alguma contato direto com o produto em seu processo produtivo. A Figura 30 apresenta os pontos onde atualmente existem a utilização desse recurso hídrico ao invés de água tratada do açude Riachão, sejam eles: 1) torres de resfriamento (unidades compressoras); 2) caldeiras; 3) lavadoras de garrafas (apenas na pré-lavagem onde ficam os tanques iniciais com soda cáustica à 2%); e 4) pasteurizadores.

Figura 30 – Fluxograma do sistema de reuso de água.



Fonte: Autora.

4.4. Análise de consumo de água

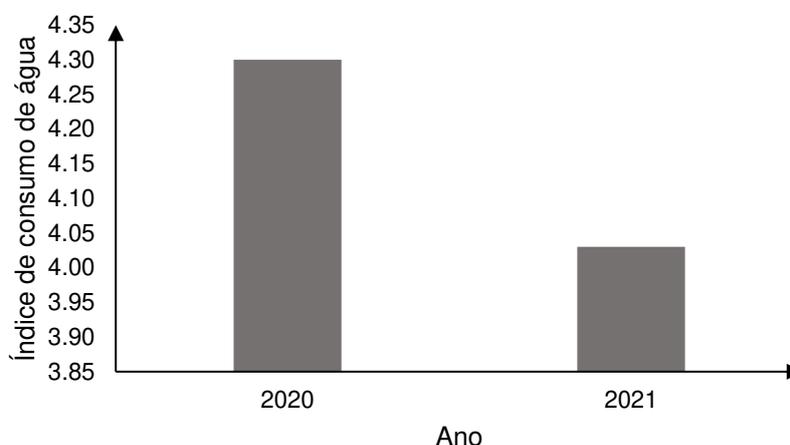
Como já mencionado anteriormente, a água da Cervejaria do Brasil é proveniente do açude Riachão que, atualmente, apresenta-se com níveis baixos (apenas 37% de sua capacidade total). Além da Cervejaria do Brasil, esta fonte também é utilizada pela comunidade adjacente do local. Dado isso, é de extrema importância que seu consumo seja o mais sustentável possível para minimizar o impacto da extração do recurso hídrico.

Tendo em vista a escassez hídrica do Estado do Ceará e o compromisso da Cervejaria do Brasil com o meio ambiente, o sistema de reuso foi implantado em 2017 visando minimizar o consumo de água da planta. Deste então, algumas ações foram tomadas para maximizar o potencial de aproveitamento do sistema de reuso.

Entre os anos de 2020 e 2021 foram realizadas as seguintes iniciativas: 1) substituição de membranas da osmose reversa para outro tipo de membrana que suportasse maior condutividade (6.000 a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$); 2) troca de membranas do sistema de ultrafiltração devido saturação forçada do sistema; 3) reparo no soprador da ultrafiltração que impactava em uma limpeza química e retrolavagem dos vasos ineficiente; 4) testes para dosagens de químicos (PAC, polímero inorgânico e polímero orgânico) no decantador da ETEI, visando clarificar o efluente e atender as especificações da ultrafiltração; 5) ajustes na programação do sistema da ultrafiltração para garantir limpezas químicas e retrolavagens mais eficientes e com menor consumo de água; e 6) padronização operacional dos processos.

Na Cervejaria do Brasil, para mensurar de maneira mais fiel, o consumo de água é relacionado com a produção líquida de cerveja, ou seja, há uma quantidade ideal de água estipulada para produzir cada litro de cerveja. No ano de 2020, a média de consumo de água foi de 4,3 L para produzir 1 L de cerveja. No ano de 2021, por outro lado, foi obtido uma redução de 6,28% no indicador de consumo de água e a média reduziu para 4,03 L para cada 1 L de cerveja produzida (FIGURA 31).

Figura 31 – Comparativo do índice de consumo de água da Cervejaria do Brasil nos anos de 2020 e 2021.

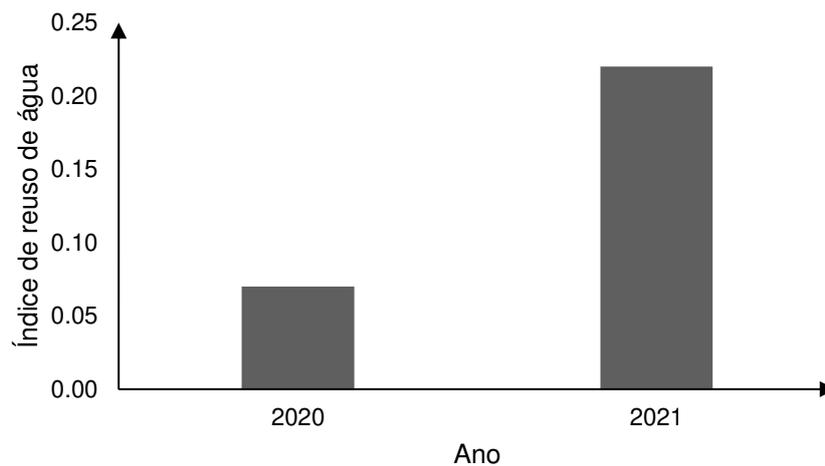


Fonte: Autora.

O índice de reuso apresenta um princípio semelhante e é calculado pelo volume de reuso produzido dividido pela produção entregue ao mercado consumidor. É possível observar que houve um acréscimo de 214,28% no índice de reuso, que passou de 0,07 em 2020 para 0,22 em 2021. As melhorias aplicadas no sistema geraram um impacto bastante positivo no resultado (FIGURA 32). Com base nestes

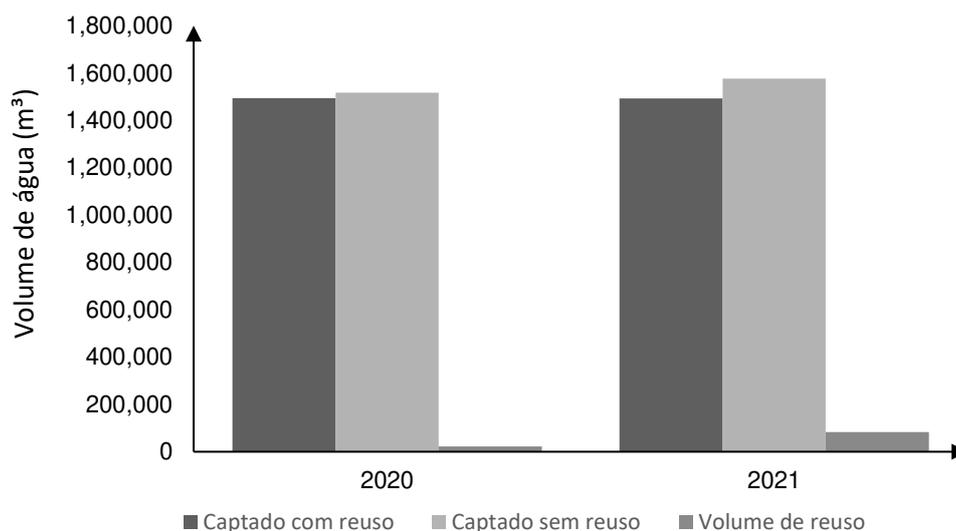
dados, é possível estimar que, comparando os anos de 2020 e 2021, o volume de água captado do açude Riachão, sem o sistema de reuso, seria 59.443 m³ a mais do que o volume captado no período (FIGURA 33). Comprovando a redução significativa da captação de água realizada pela Cervejaria do Brasil com a utilização do sistema de reuso.

Figura 32 – Comparativo do índice de reuso de água da Cervejaria do Brasil nos anos de 2020 e 2021.



Fonte: Autora.

Figura 33 – Comparativo entre o volume captado do açude Riachão com a utilização de reuso e a estimativa do volume captado sem a utilização de reuso nos anos de 2020 e 2021.



Fonte: Autora.

5. APLICAÇÃO EM AQUICULTURA DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA VIVENCIADAS NO ESTÁGIO

Ao longo do desenvolvimento do presente estágio foi possível observar que os princípios utilizados no tratamento de água e efluente na Cervejaria do Brasil são os mesmos utilizados na criação de organismos aquáticos em sistema de reaproveitamento de água, sejam eles: 1) remoção de sólidos, filtragem mecânica; 2) tratamento biológico, reator biológico; e 3) incorporação de oxigênio dissolvido, aeração. Desta forma, far-se-á a partir deste ponto, um breve paralelo entre as tecnologias descritas e aquelas utilizadas em aquicultura.

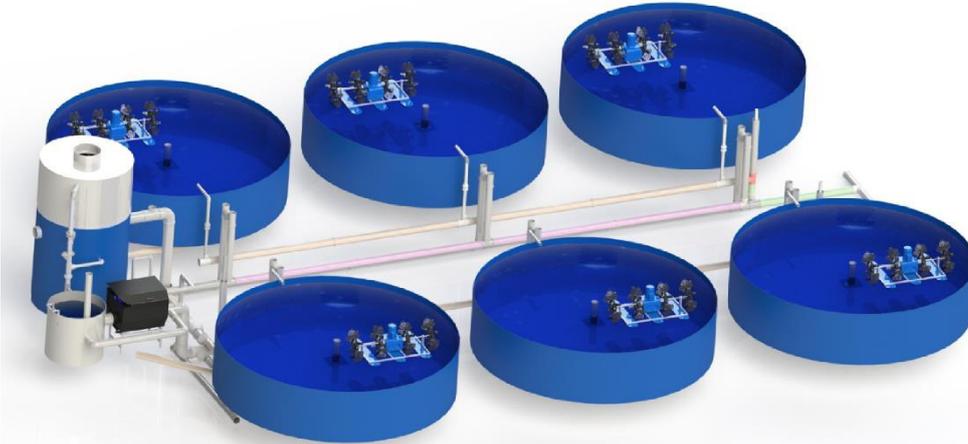
5.1 Filtragem mecânica

Na Cervejaria do Brasil, existem algumas etapas de tratamento de água e efluente que apresentam filtragem mecânica no seu escopo. É possível citar: 1) câmaras de filtragem da ETA convencional, responsáveis por retirar o residual de sólidos suspensos na água no início do tratamento; 2) filtros multimídia, que têm a função de retirar o residual de matéria orgânica, turbidez e cloro do sistema, já que são compostos de carvão, areia e crepina; 3) filtros zeólitas, responsáveis pela remoção de matéria orgânica, metais pesados, ferro, manganês, nitrogênio amoniacal, ácido húmico, proteínas, lipídios, cor, odor, sabor e turbidez; 4) filtros polidores, que têm potencial de retirada do residual de sólidos solúveis, por meio de filtros de cartucho, antes da entrada na osmose; e 5) gradeamento do efluente bruto na ETEI, responsável pela retirada de sólidos maiores que chegam na estação.

Segundo Valenti, Mallasen e Barros (2009), na aquicultura, o sistema de recirculação de água (RAS) é um método de produção no qual a água do sistema de criação de organismos aquáticos é continuamente tratada e reutilizada. A utilização desse sistema permite uma produção com o reuso total ou parcial da água, diminuindo grandemente a quantidade de água utilizada em um ciclo produtivo. No RAS (FIGURA 34), a filtragem mecânica é uma das etapas de tratamento (VALENTI; MALLASEN; BARROS, 2009). O objetivo desta etapa é solucionar um dos principais problemas em um sistema de recirculação, a retirada dos resíduos sólidos (fezes e resto de ração) da água, os quais são a principal fonte de resíduos orgânicos

(KUBITZA, 2006). Ela é responsável pela retirada de partículas grandes (geralmente > 40 μm) e outras partículas sólidas que estão presentes no sistema e impedem o tratamento adequado na demais etapas (OLIVEIRA, 2020).

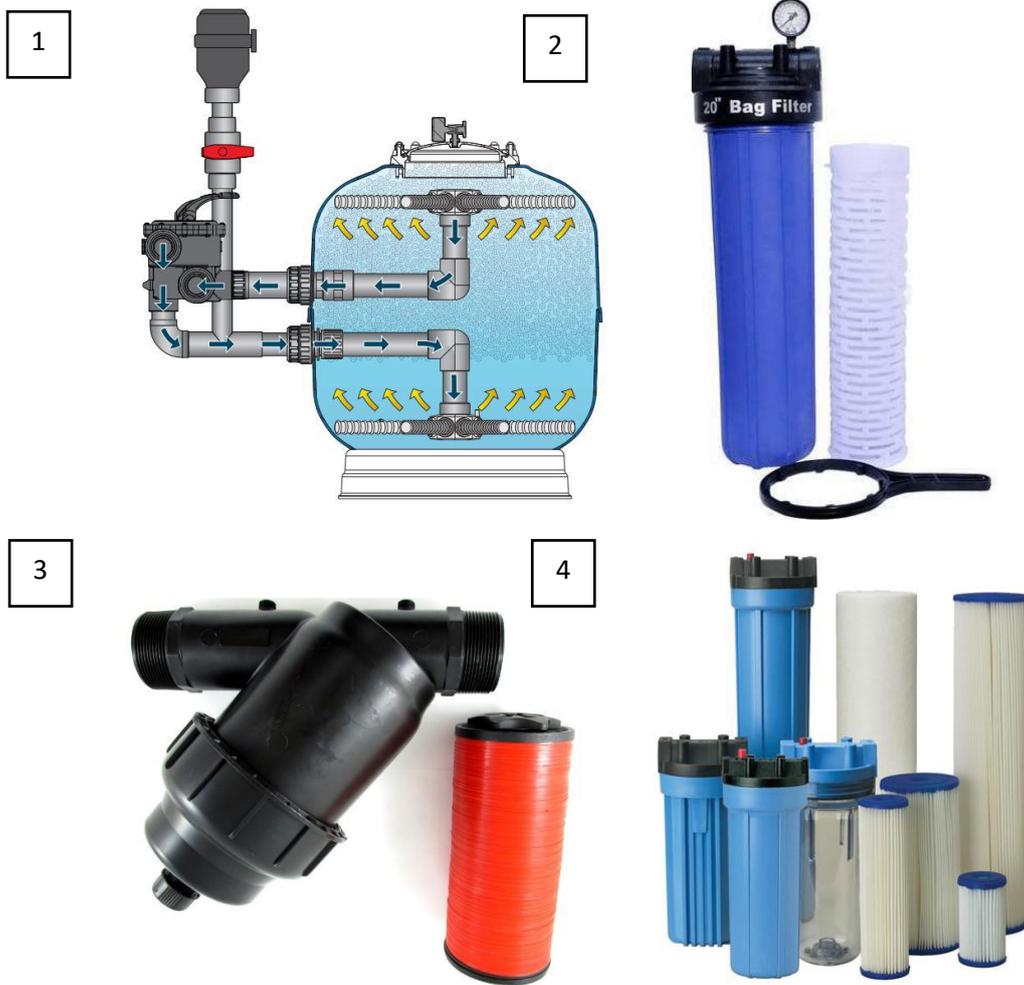
Figura 34 - Representação de sistema de recirculação de água (RAS).



Fonte: [https://www.marineequipment.com.br/ras180/#iLightbox\[product-gallery\]/0](https://www.marineequipment.com.br/ras180/#iLightbox[product-gallery]/0)

Alguns dos filtros mecânicos mais utilizados na aquicultura são os filtros pressurizados (FIGURA 35): 1) *bead filter* e *bubble bead filter*, forçam a água atravessar uma camada de material filtrante que irá reter os sólidos particulados presentes na água; 2) *bag filter*, que apresenta uma espécie “saco” filtrante dentro de carcaça que funciona sob pressão com um manômetro; 3) filtro de disco, que apresenta como material filtrante discos sobrepostos com ranhuras que retêm o material particulado; e 4) filtro de cartucho, que tem funcionamento semelhante ao filtro de disco, porém apresenta vida útil mais curta já que não é possível realizar a limpeza do material particulado presente no cartucho. Também há outro tipo de filtro utilizado nos sistemas de recirculação de água: o filtro de tambor rotativo (FIGURA 36). Este apresenta aspersores de água que tem função autolimpante no filtro de tambor rotativo, o que faz com que esse modelo seja muito eficiente.

Figura 35 – Exemplos e filtros mecânicos pressurizados utilizados em aquicultura.



- 1- *Bead filter e bubble bead filter*: <https://www.cascadekoi.co.uk/k1-micro-bead-24-filter-1105-p.asp>
- 2- Bag filter: <https://roestore.com/product/20-inch-bag-filter-housing-assembly/?v=6c8403f93333>
- 3- Filtro de disco: <https://www.biosementes.com.br/loja/item/Filtro-disco-2%22-120-mesh-com-vazao-de-20.000-L%7B47%7Dh.html>
- 4- Filtro cartucho: <https://stdfil.com.br/filtros/cartucho-filtrante>

Figura 36 – Exemplo de filtro de tambor rotativo.



Fonte: <https://meiofiltrante.com.br/Artigo/927/filtros-de-tambor--rotativo-a-vacuo>

Semelhante ao filtro multimídia que apresenta carvão, para retirada de cloro, em sua composição, na aquicultura existe outra ferramenta utilizada no sistema de recirculação de água com o mesmo princípio que é o carvão ativado. Este é um excelente adsorvente, com alta capacidade de adsorção, muito usado para purificar, desintoxicar, desodorizar, filtrar, descolorir, declorificar e remover uma gama de materiais líquidos e gasosos. A capacidade de adsorção é decorrente de suas características físico-químicas (CLAUDINO, 2003). Esta autora também destaca que materiais que possuem um alto teor de carbono podem ser ativados e funcionar como adsorventes, como por exemplo: cascas de coco, de arroz, de nozes, carvões minerais (antracita, betuminoso, linhito), madeiras, turfas, resíduos de petróleo, ossos de animais, caroços de pêssigo, de damasco, de amêndoa, de ameixa, de azeitona e grão de café, entre outros materiais carbonáceos. Filtros à base de carvão ativado são amplamente utilizados para tratamento de água. De acordo com Fernandes (2010), apresentam a função de remover da água cor aparente e turbidez e ocasionam aumento de pH.

5.2 Reator biológico

Uma das etapas de tratamento do efluente na Cervejaria do Brasil é o reator anaeróbio UASB. Este tem a função de, por meio da ação de microrganismos,

converter a matéria orgânica e, paralelamente, realiza a separação de gases e líquidos. A ação de microrganismos é também utilizada na aquicultura no reator biológico, descrito na aquicultura mais comumente pelos nomes de biofiltro ou filtro biológico. Porém, diferentemente do que ocorre no UASB, o processo de filtração biológica utilizado em aquicultura é aeróbio. A filtração biológica tem como função controlar a concentração de nitrogênio amoniacal nos tanques por meio do desenvolvimento da comunidade de organismos nitrificantes no substrato do filtro (VALENTI; MALLASEN; BARROS, 2009). Este sistema promove a conversão da amônia produzida nos tanques, decorrentes de resíduos (excretas nitrogenados, fezes, excedente de ração e organismos mortos) em nitrito e posteriormente em nitrato, que retorna para os tanques de cultivo. Alguns exemplos de mídias utilizadas nos biofiltros na aquicultura são brita, argila expandida, cerâmicas e bolas biofiltro (FIGURA 37), são alguns exemplos mais utilizados.

Figura 37 – Exemplo de mídias biofiltro utilizadas na filtração biológica de RAS.



Fonte: <https://panoramadaaquicultura.com.br/sistemas-de-recirculacao/>

5.3 Aeração

O tanque de aeração é dotado de dispositivos de aeração (ar difuso ou aeradores superficiais) para o fornecimento do oxigênio necessário ao processo de estabilização biológica aeróbia. Esta etapa do tratamento da água é responsável por garantir que ela tenha qualidade satisfatória para a utilização dentro de parâmetros especificados de acordo com sua finalidade.

Na Cervejaria do Brasil, a aeração é utilizada após a etapa de tratamento anaeróbio, no sistema aeróbio, que tem por finalidade degradar a matéria orgânica no processo metabólico, utilizando oxigênio.

A aeração mecânica é muito utilizada na aquicultura, pois é uma poderosa ferramenta de cultivo capaz de incrementar a produtividade na engorda dos organismos cultivados e melhorar a qualidade dos efluentes. Os aeradores geram turbulência e uma movimentação da água de cultivo, proporcionando sua oxigenação, circulação e mistura. Alguns dos modelos de aeradores (FIGURA 38) mais utilizados são: 1) chafariz; 2) pá; 3) ar comprimido e 4) Venturi.

Figura 38 – Exemplos de aeradores utilizados na aquicultura.



- 1- Aerador chafariz: <https://www.primato.com.br/produto/7607/aerador-chafariz-trifasico-1-5-cv-induscava>
- 2- Aerador pá: <https://www.nauticexpo.com/pt/prod/pioneer-group/product-196451-549845.html>
- 3- Soprador de ar comprimido: https://www.google.com/search?q=SOPRADOR+DE+AR+COMPRIMIDO&sxsrf=APq-WBvmLJSJPTsyL6jE9Z8UZhcT9UYXow:1644331087433&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwizzu_SqvD1AhWJq5UCHaPnAFAQ_AUoAnoECAEQBA&biw=662&bih=655&dpr=1

- 4- Aerador Venturi: <https://www.sulzer.com/pt-br/brazil/shared/products/aerator-type-abs-venturi-jet>

Durante o estágio, foram encontrados pontos de melhoria em um processo da estação de tratamento de efluentes industriais, na incorporação de oxigênio dissolvido no sistema de aeração. Esta oportunidade foi atendida durante meu período de estágio com a ideia de implantar uma tecnologia grandemente difundida no meio aquícola, aeradores de fluxo ascendente. A faixa de conformidade do oxigênio dissolvido, parâmetro primordial do sistema aeróbio, é de 1 mg/L até 3 mg/L na Cervejaria do Brasil, contudo, esses valores não estavam sendo atingidos adequadamente.

Por meio da implementação de dois aeradores de fluxo ascendente, foi possível obter, em pouco tempo de análise, uma melhoria de 9% no oxigênio dissolvido no sistema aeróbio (TABELA 4), etapa essencial para o tratamento de efluente e, dessa forma, melhorando a longo prazo a eficiência da estação de tratamento.

Tabela 4 – Comparativo do parâmetro oxigênio dissolvido presente na lagoa de aeração da Cervejaria do Brasil.

Análises realizadas com o parâmetro de oxigênio dissolvido	Sistema com aeradores de fluxo descendente	Incremento do sistema com aeradores de fluxo ascendente
Média e desvio padrão	0,56 mg/L ± 0,18 mg/L	0,61 mg/L ± 0,37 mg/L
Maior valor observado	0,89 mg/L	1,76 mg/L

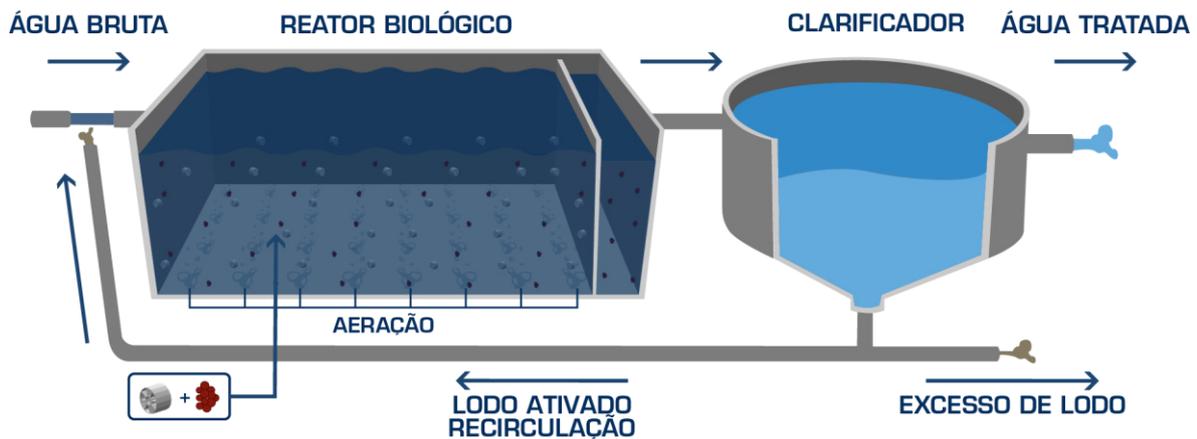
Fonte: Autora.

No tratamento de águas residuais, a tecnologia empregada no pós-tratamento aeróbio tem objetivo de remover o residual de matéria orgânica oriundo de tratamento anaeróbio (ABREU; ZAIAT, 2008).

5.4 Lodo ativado

O sistema de lodo ativado é um processo biológico de tratamento de efluentes. Ele consiste na formação de uma massa biológica, chamada de lodo, através de um tanque de aeração, que consiste em fornecer oxigênio para os microrganismos a fim de tratar o residual de matéria orgânica presente no sistema de aeração.

Figura 36 – Exemplo de sistema com lodo ativado.



Fonte: <https://www.ucelo.com.br/produtos-mbbr>.

Semelhante a este sistema, na aquicultura, há a aplicação da aeração contínua no sistema BFT (*Biofloc Technology System*). Este é uma alternativa aos sistemas convencionais, para minimizar a emissão de efluentes. Os bioflocos são compostos de agregados de microrganismos (bactérias, fitoplâncton e zooplâncton), associados a partículas, coloides, polímeros orgânicos e células mortas (FÓES; GANOA; POERSCH, 2012). Existem alguns componentes nesse tipo de sistema que garantem o seu sucesso, como por exemplo, a oxigenação contínua dada pelo sistema de aeração, ela é necessária para que haja a formação dos agregados microbianos (PASCO, 2015), existem modelos diversos com a função de promover a aeração do sistema para melhorar taxas de conversão alimentar e oxidar a matéria orgânica presente no sistema. Propulsores de ar, Venturi, aeradores de pás e aeradores chafariz são exemplos de aeradores utilizados na aquicultura que apresentam princípios semelhantes no tratamento de efluentes, como apresentado no sistema da Cervejaria do Brasil.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi apresentado a implicação da Cervejaria do Brasil no consumo de água da região e as medidas utilizadas para mitigar esse impacto na comunidade. A tendência é que alternativas como a reutilização de água para fins intitulados como não nobres continuem sendo empregadas a fim de reduzir o impacto no meio ambiente e preservar ao máximo o recurso hídrico para as gerações futuras.

Visto isso, este trabalho visou descrever e analisar os processos de tratamento de água e de tratamento de efluente industrial da Cervejaria do Brasil a fim de verificar se foi obtido ganho com a utilização do sistema de reuso. Analisando os anos de 2020 e 2021, este ganho foi de 105.795 m³ de água utilizada de reuso na Cervejaria do Brasil que, se não fosse esse sistema, este volume teria sido captado do açude Riachão.

Este trabalho possibilitou verificar ainda as semelhanças do tratamento de água e tratamento de efluente com a aquicultura nos princípios teóricos e práticos aprendidos ao longo do curso de Engenharia de Pesca. Outro fator contribuinte foi a aplicação de tecnologias, também utilizadas na aquicultura, no tratamento de efluente de uma indústria de bebidas.

No geral, o estágio supervisionado contribuiu bastante para minha formação acadêmica e profissional, pois me possibilitou aplicar na prática o conhecimento teórico adquirido na Universidade Federal do Ceará no curso de Engenharia de Pesca e verificar muitas semelhanças com outras áreas de atuação (tratamento de água e efluente). Além do que, os novos conhecimentos adquiridos complementaram a minha formação como Engenheira de Pesca.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. B.; ZAIAT, M. **Desempenho de Reator Anaeróbio-Aeróbio de Leito Fixo no Tratamento de Esgoto Sanitário**. Cadernos ABESS, v. 13, p. 181-188, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/yQTTTrDJGJkQ5qfbShMwYqjF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 de novembro de 2021.

Aldo da C. Rebouças. **A Inserção da Água Subterrânea no Sistema Nacional de Gerenciamento**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 39-50. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/101/1eb408f1beb6eb467b1194ddcbf68a0d_8794a2e40db7eed3bd419e2a8cce570b.pdf. Acesso em: 19 de novembro de 2021.

BATISTA, K.B. **Resposta dinâmica dos reatores UASB (upflow anaerobic sludge blanket) para tratamento de esgotos sanitários quando submetidos a cargas variáveis**. Universidade de São Paulo, 2000. Disponível em:

https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17072018-085123/publico/Dissert_Batista_KatiaB.pdf. Acesso em: 26 de janeiro de 2022.

BLENINGER, Tobias; KOTSUKA, LUZIADNE KATIUCIA. **Conceitos de água virtual e pegada hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil**. Recursos Hídricos (Lisboa), v. 36, p. 15-24, 2015. Disponível em:

https://www.aprh.pt/rh/pdf/rh36_n1-2.pdf. Acesso em: 24 de setembro de 2021.

CLAUDINO, Andréia. **Preparação de carvão ativado a partir de turna e sua utilização na remoção de poluentes**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence>. Acesso em: 16 de janeiro de 2022.

FAO. **A indústria que mais consome água no mundo**. 2019. Disponível em:

<https://www.menoslixo.com.br/posts/a-industria-que-mais-consome-agua-no-mundo>. Acesso em: 24 de setembro de 2021.

FERNANDES, Kendra D'Abreu Neto. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em:

<https://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/7906>. Acesso em: 16 de janeiro de 2022.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. S. **Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações**. Ambiente Construído (São Paulo. Impresso), v. 01, p. 19-30, 2006. Disponível em:

<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3676>. Acesso em: 24 de setembro de 2021.

FÓES, Geraldo Kipper; Gaona, C.A.; Luís Poersch. **Cultivo em bioflocos (BFT) é eficaz na produção intensiva de camarões**. Visão Agrícola (USP / ESALQ), São Paulo, p. 28 - 32, 11 dez. 2012. Disponível em:

<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va11-segmentos-da-aquicultura03.pdf>. Acesso em: 27 de janeiro de 2022.

HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K. (2007) - **Water Footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern**. Water Resources Management 21 (1), p. 35–48. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-006-9039-x>. Acesso em: 24 de setembro de 2021.

IZIDORO, J.C. **ESTUDOS SOBRE A REMOÇÃO DE ÍONS METÁLICOS EM ÁGUA USANDO ZEÓLITAS SINTETIZADAS A PARTIR DE CINZAS DE CARVÃO**. AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, p. 22, 2008. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/posq30/textocompleto/juliana%20de%20carvalho%20izidoro_m.pdf. Acesso em: 08 de janeiro de 2022.

KUBITZA, F. **Sistemas de recirculação: sistema fechado com tratamento e reuso da água**. Panorama da Aquicultura, 16(95): 15-22. 2006. Disponível em: http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan95_Kubitza.pdf. Acesso em: 16 de janeiro de 2022.

NETO, H.P. **Anotações da palestra** ministrada em 28/08/2009 na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/78639135/producao-de-serveja-resumos-estendidos-2>. Acesso em: 24 de setembro de 2021.

OLIVEIRA, L. M. **Eficiência do carvão ativado do caroço do açai (*Euterpe oleracea*) como mídia filtrante em Sistema de Recirculação para Aquicultura (SRA)**. Universidade Federal Rural da Amazônia. 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1147/2/Efici%c3%aancia%20do%20carv%c3%a3o%20ativado%20do%20caro%c3%a7o%20do%20a%c3%a7a%c3%ad%20%28Euterpe%20oleracea%29%20como%20m%c3%addia%20filtrante%20em%20Sistema%20de%20Recircula%c3%a7%c3%a3o%20para%20Aquicultura%20%28SRA%29..pdf>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

PASCO, J. J. M. **Aeração em Cultivos Superintensivos *Litopenaeus vannamei* cultivados em bioflocos**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2015. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=2399859. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

RIBEIRO, LUIZ GUSTAVO GONÇALVES; ROLIM, N. D. **Planeta água de quem para quem: uma análise da água doce enquanto direito fundamental e sua valorização mercadológica**. Revista direito ambiental e sociedade, v. 7, p. 7-33, 2017. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/4149>. Acesso em: 24 de setembro de 2021.

SILVA, BISMARCK OLIVEIRA DA; Ferreira, José Gomes; Santos, Rayane Teixeira de Lira dos Santos. **DIMENSÕES DA GOVERNANÇA DA ÁGUA NO NORDESTE BRASILEIRO**. In: Aguilera, Jorge González; Zuffo, Alan Mario. (Org.). Ensaio nas

ciências agrárias e ambientais 4. 1ed.Ponta Grossa: Antonella Carvalho de Oliveira, 2019, v. 4, p. 9-24. Disponível em:
<https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/29546/1/ANPPAS%20governan%C3%A7a.pdf>.
Acesso em: 19 de novembro de 2021.

SILVINO, A. N. O.; SANTOS, A. A. ; GOMES, L. A. . **Estudo da eficiência de um reator UASB no tratamento de efluentes de uma indústria cervejeira**. 2007. (Apresentação de Trabalho/Simpósio). Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/95b379b947528784d3551d7812b6defc_6fc9a5fa868e9375f5ee024029327067.pdf. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

VALENTI, W. C.; MALLASEN, M. ; BARROS, H. P. . **Sistema de recirculação e rotina de manejo para larvicultura de camarões de água doce *Macrobrachium rosenbergii* em pequena escala**. Boletim do Instituto de Pesca, v. 35, p. 141-151, 2009. Disponível em:
<https://www.pesca.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/845/829>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.