



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS - IFAM
CURSO TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS - TPQ**

THIANE LOPES DAS NEVES

**REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE NA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA POR FILTRAÇÃO COM MEMBRANA: UMA REVISÃO**

MANAUS - AM

2021

THIANE LOPES DAS NEVES

**REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE NA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA POR FILTRAÇÃO COM MEMBRANA: UMA REVISÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção de Título
de Tecnóloga em Processos
Químicos, do Instituto Federal do
Amazonas – IFAM.

Professora Orientadora:
Dra. Libertalamar Bilhalva Saraiva.

Manaus - AM

2021

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

N518r Neves, Thiane Lopes das.

Reutilização da água de tratamento de efluente na indústria cervejeira por filtração com membrana: uma revisão / Thiane Lopes das Neves. – Manaus, 2021.

43 p. : il. color.

Monografia (Tecnologia em Processos Químicos). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus Manaus Centro*, 2021.

Orientadora: Profa. Dra. Libertalamar Bilhalva Saraiva.

1. Processos químicos. 2. Indústria cervejeira. 3. Filtração com membrana. I. Saraiva, Libertalamar Bilhalva. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 641

THIANE LOPES DAS NEVES

**REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE NA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA POR FILTRAÇÃO COM MEMBRANA: UMA REVISÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Tecnologia em Processos Químicos
submetido ao Instituto Federal do
Amazonas, para obtenção de Título de
Tecnóloga em Processos Químico.
Orientadora: Profa. Dra. Libertalamar
Bilhalva Saraiva.

Aprovada em 13 de agosto 2021

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. LIBERTALAMAR BILHALVA SARAIVA
Instituto federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

Profa. MSc. ELIZALANE MOURA DE ARAUJO MARQUES
Instituto federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

Prof. MSc. RUDYERE NASCIMENTO SILVA
Instituto federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

Manaus - AM

2021

DEDICATÓRIA

A minha mãe e ao pequeno Miguel pelo amor, apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e sabedoria ao longo dessa jornada.

Á minha mãe Maria e ao meu sobrinho/filho Yuri Miguel por todo amor e compreensão nos momentos que estive ausente, por vocês me mantendo firme para continuar a caminhada.

Aos meus tios: Nonato, Edmilton e Maria José por ser minha inspiração de amor à família e por me ensinarem a trilhar o caminho do conhecimento.

Á professora e orientadora Dr^a Libertalamar Bilhalva Saraiva pelo ensinamento compartilhado, principalmente pela paciência nos meus momentos de desabafo, incentivo que sempre demonstrou para eu concretizar o trabalho aqui apresentado, minha gratidão! Foi uma honra ser sua fiel escudeira.

Á amiga Fabíola Lucena que me acompanhou nessa caminhada, esteve ao meu lado me apoiando e ajudando no que eu precisava, por todos os momentos que rimos e choramos nos corredores do IFAM.

Aos amigos: pedagoga Helkely Ribeiro e aos monitores Eduardo Henrique e Lucas Fernandes pela disposição e ajuda prestada para que conseguisse conciliar a jornada de trabalho com estudos durante toda esta caminhada.

Á professora e coordenadora Dr^a Lyege Magalhães por incentivar e acreditar no progresso dos alunos.

Aos professores meus agradecimentos por contribuírem para o meu aprendizado, em especial aos professores: Josias Coriolano, Adriana Enriconi, Elizalane Moura e Savio Raider, vocês são incríveis!

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas – IFAM, MUITO OBRIGADA!

Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.

Antoine Lavoisier

RESUMO

A indústria cervejeira gera uma elevada quantidade de efluentes nas etapas de processo de produção, os resíduos apresentam um significativo potencial de poluentes. No processo de produção de cerveja existe um elevado consumo de água, que desperta o interesse das empresas identificar oportunidades para reduzir o uso de água no processo produtivo e reutilização da água pós-tratamento de efluentes, visando diminuir os despejos industriais, que apresentam índice alto de contaminantes. Neste trabalho relaciona pesquisa bibliográfica e tratamento de efluente de indústria de cervejeira, visando mostrar que é possível reutilizar a água de tratamento de efluente composto por reator UASB associado a um biorreator com membrana (BRM), por meio de estimativa de eficiências de remoção da matéria orgânica, tendo como referência para o reator UASB + BAS, a eficiência para SST (92%), DBO (89%) e DQO (93%) e com BRM, a eficiência para SST (99%), DBO (98%) e DQO (99%). Sendo possível o reuso da água para descarga de sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais, para aplicação mais nobre o efluente precisa passar por dimensionamento e estudo qualitativo e quantitativo.

Palavras-chave: Cerveja, Tratamento de efluente, Reuso, UASB, Biorreator com membrana.

ABSTRACT

The brewing industry generates a high amount of effluents in the stages of the production process, the residues have a significant potential for pollutants. In the beer production process there is a high consumption of water, which arouses the interest of companies to identify opportunities to reduce the use of water in the production process and reuse water after effluent treatment, in order to reduce industrial waste, which has a high rate of contaminants. This work relates bibliographic research and brewing industry effluent treatment, aiming to show that it is possible to reuse the effluent treatment water composed of a UASB reactor associated with a membrane bioreactor (BRM), through estimation of material removal efficiencies organic, having as reference for the reactor UASB + BAS, the efficiency for SST (92%), BOD (89%) and COD (93%) and with BRM, the efficiency for SST (99%), BOD (98%) and COD (99%). As it is possible to reuse water for flushing toilets, washing floors and ornamental purposes, for a more noble application, the effluent needs to undergo sizing and qualitative and quantitative study.

Keywords: Beer, Wastewater treatment, Reuse, UASB, Membrane Bioreactor.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1. PROCESSO PRODUTIVO DE CERVEJA E RESÍDUOS GERADOS	13
3.2. ÁGUA NA PRODUÇÃO DE CERVEJA	17
3.3. TRATAMENTO DE EFLUENTE	19
3.4. REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE.....	23
4. METODOLOGIA	24
4.1. REATOR UASB E BAS.....	26
4.2. PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANA	27
4.2.1. BIORREATOR COM MEMBRANA (BRM)	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. Introdução

O aparecimento da cerveja se funde com a própria história do desenvolvimento humano. Há mais de 10.000 anos, o homem primitivo conheceu o fenômeno da fermentação e obteve, em pequena escala, as primeiras bebidas alcoólicas. Há 5.000 anos, os sumérios e os assírios produziam, a partir de cereais, uma bebida fermentada, utilizando o processo de malteação de grãos, tal como é feito agora (SILVA; LEITE; DE PAULA, 2016).

A cerveja é obtida pela fermentação da cevada, que consiste na conversão em álcool dos açúcares presentes nos grãos de cevada. A fermentação é a principal etapa do processo cervejeiro e sua efetividade depende de várias operações anteriores, incluindo o preparo das matérias-primas. Após a fermentação são realizadas etapas de tratamento da cerveja, para conferir as características organolépticas desejadas no produto final. Dentre os resíduos gerados durante o processo de fabricação se encontram as águas residuais com agentes contaminantes, rejeitos de malte, lúpulo, levedura, resíduos provenientes da etapa de filtração e envasamento (KUNZE, 2006).

A água é usada em grande quantidade no processo de fabricação de cervejas, sendo que sua qualidade é essencial em certas etapas, como na preparação do mosto, ou seja, incorporada ao produto, e na lavagem das garrafas. Além de seu uso como parte integrante do processo, a água é utilizada nas operações de limpeza de pisos e de lavagem de máquinas, equipamentos e demais instalações industriais. Assim, para tais atividades, o reuso de água poderia ser utilizado de forma satisfatória sem interferir na qualidade do produto final, e dessa forma, reduzindo o consumo do recurso hídrico, muitas vezes proveniente de poços subterrâneos (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

Desta forma, é imprescindível o tratamento adequado dos resíduos gerados no processo produtivo da cervejaria visando à reutilização da água proveniente do tratamento de efluente.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral:

Realizar o levantamento bibliográfico sobre as principais características de efluentes gerados em uma cervejaria e suas alternativas de tratamento.

2.2. Objetivos específicos:

- Identificar as fontes geradoras de efluentes na indústria cervejeira;
- Fazer o levantamento sobre as principais características do tratamento convencional aplicado aos efluentes gerados em uma cervejaria;
- Demonstrar as etapas do tratamento de efluente composto por Reator UASB associado a um Biorreator com Membranas;
- Avaliar a importância de se implantar a reutilização de água em cervejaria.

3. Fundamentação Teórica

3.1. Processo produtivo de cerveja e resíduos gerados

No Brasil, a cerveja é definida e regulamentada pela Lei Federal nº 8.918/94 e pelo Decreto 2.314/978, que estabelece a cerveja como a bebida originada pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro. Este se trata de um líquido oriundo do malte de cevada e água potável, que recebe a ação da levedura, juntamente com a adição do lúpulo. Dessa forma, destacam-se os principais componentes de uma indústria cervejeira: o malte, a água, a levedura e o lúpulo (BRASIL, 2009).

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (SINDCERV, 2012), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial da bebida, onde se atinge a marca de 11,6 bilhões de litros por ano. Mas, como em todo processo produtivo, a produção de cerveja gera resíduos.

A produção de cerveja gera grandes quantidades de águas residuais e resíduos sólidos, sendo imprescindível o descarte e tratamento correto dos mesmos, respeitando a legislação vigente. É estimado que para cada litro de cerveja que é produzido, cerca de dez litros de água são usados, sendo principalmente consumidos do processo de fabricação, limpeza e resfriamento. Normalmente o tratamento de efluentes líquidos compreende uma sequência que inclui operações unitárias divididas em tratamento preliminar, primário ou químico e secundário ou biológico (OLAJIRE, 2012).

O fluxograma da Figura 1 representa o processo produtivo de cerveja e seus resíduos gerados.

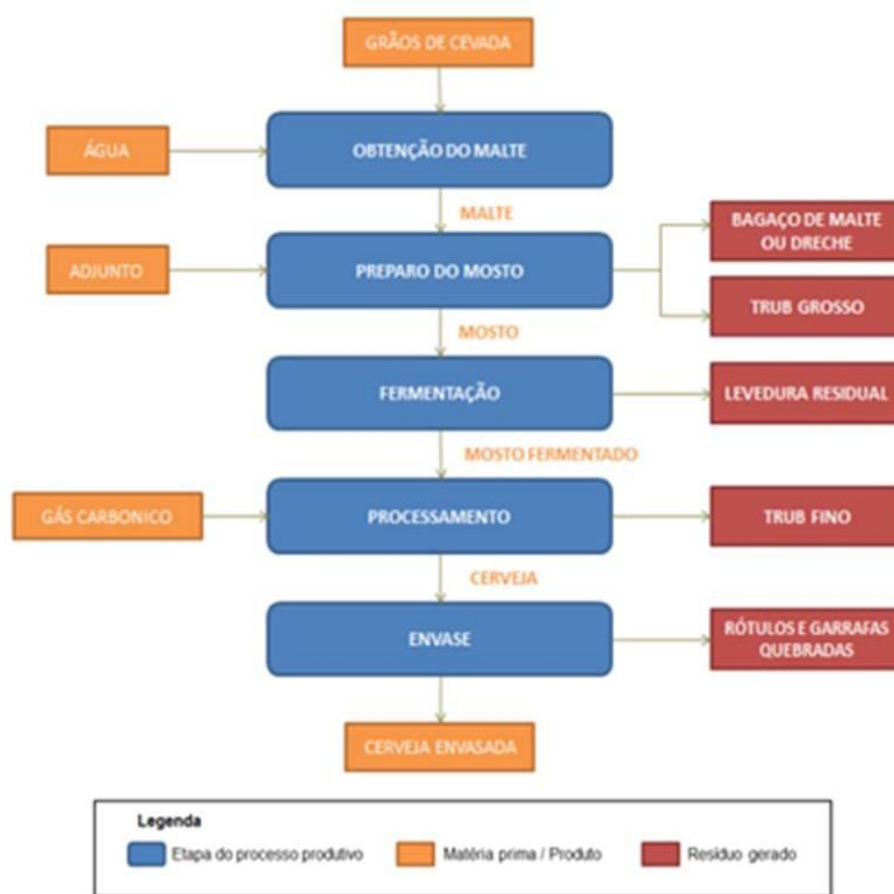


Fig. 1 – Processo produtivo de cerveja e resíduos gerados.

Fonte: SANTOS e RIBEIRO (2005)

A seguir cada uma das etapas da produção de cerveja e dos resíduos gerados na Figura 2, segundo SANTOS E RIBEIRO (2005):

Obtenção do malte: A primeira etapa do processo de obtenção do malte consiste na limpeza dos grãos para a remoção de impurezas seguida de uma seleção de acordo com o tamanho para a obtenção de um malte homogêneo. Depois de selecionados os grãos são armazenados e enviados aos tanques de embebição, onde a cevada recebe água até que os grãos atinjam um teor de umidade de 45% em relação ao seu peso sob condições controladas de temperatura e quantidade de oxigênio. Neste ambiente, os grãos de cevada saem de seu estado de latência e crescem devido à absorção de água. Este é o começo da germinação da semente. Quando isso ocorre é retirado o excesso de água dos grãos por meio de peneiras e a cevada germinada é enviada para fornos de secagem, onde se interrompe o processo de germinação por injeção de vapor a uma temperatura entre 45 °C e 50 °C. Numa segunda fase,

ainda nos fornos de secagem, promove-se a caramelização dos grãos, transformando-os no malte.

Preparação do mosto: O mosto é uma solução aquosa de açúcares, ou seja, é o substrato que será fornecido às bactérias para a fermentação. O malte é colocado em moinhos de martelo ou de rolos para romper a casca dos grãos e assim expor o amido do grão maltado. Durante este processo, aspiradores captam o pó gerado pelo atrito entre as sementes, enviando-o para um filtro de mangas. Depois ocorre a maceração, que é um processo desenvolvido em via úmida, onde os grãos de malte moídos são misturados à água aquecida, de modo a ativar a ação de enzimas presentes no grão. Deve-se ressaltar que em função de características como sabor, cor, aspecto ou custo financeiro, muitas vezes utiliza-se outra fonte de açúcar além do malte de cevada, chamada de adjunto. Os adjuntos mais comuns são os de milho, arroz e trigo, e diferenciam-se da cevada por não serem maltados. Após o preparo, o mosto é resfriado e então filtrado para remoção de resíduos dos grãos de malte e adjunto. Esta filtração é realizada por meio de peneiras que utilizam como elementos filtrantes as próprias cascas do malte presentes no mosto, e a parte sólida retida é chamada de *bagaço de malte*. Aquece-se o filtrado para inativar as enzimas, coagular e precipitar as proteínas, concentrar e esterilizar o mosto. Podem existir partículas no mosto, provenientes de proteínas coaguladas, resíduos remanescentes de bagaço ou de outras fontes, que irão comprometer a qualidade da fermentação, dando origem a ésteres, alcoóis de maior cadeia molecular ou outras substâncias indesejáveis. Por isso, torna-se imprescindível efetuar a clarificação, retirada dessas substâncias indesejáveis, do mosto antes da fermentação. A forma mais utilizada da clarificação é submeter o mosto a um processo de decantação através de centrífugas – o resíduo retirado é chamado *trub grosso*. Após ser clarificado, o mosto é resfriado em um trocador de calor até uma temperatura ótima, que irá variar dependendo do tipo de levedura que será utilizado.

Fermentação: A fermentação é dividida em duas etapas: a primeira é aeróbia, quando as leveduras se reproduzem, aumentando de quantidade de 2 a 6 vezes; a segunda é anaeróbia, quando as leveduras realizam a fermentação propriamente dita, convertendo os açúcares presentes no mosto em CO₂ e álcool. O processo de fermentação é lento e dura de 6 a 9 dias, onde ao final obtém-se, além do mosto fermentado, uma grande quantidade de CO₂, que após um processo de purificação é enviado para a etapa de carbonatação da cerveja, e um excesso de levedos, que são transportados para tratamento e estocagem, sendo uma parte reutilizada em nova batelada de fermentação e outra vendida para a indústria de alimentos.

Processamento: O processamento do mosto fermentado é a etapa de refinamento das características da cerveja, na qual ocorrem processos que visam gaseificar, garantir a qualidade da cerveja e conferir características organolépticas adicionais. Na maturação ocorre à separação dos levedos de cerveja e, em adição, ocorrem algumas reações químicas que promovem a estabilização do produto final. A filtração é realizada para promover a remoção de impurezas não decantadas e a limpidez do produto final. O resíduo gerado nesta etapa, a torta de filtração, possui teor de nitrogênio e é denominado *trub fino*. Por último, procede-se a carbonatação, processo no qual ocorre à injeção de gás carbônico produzido na fermentação e, eventualmente, de gás nitrogênio, com o intuito de favorecer a formação de espuma.

Envase: O envase é a fase final do processo de produção. A cerveja proveniente da filtração é encaminhada para o processo de envasamento em máquinas denominadas enchedoras, onde se envasa a cerveja em garrafas de vidro ou em latas de alumínio, ou então em máquinas de embarrilamento, onde se enchem os barris, de aço inoxidável ou de madeira. Na etapa de enchimento geram-se resíduos de vidro provenientes da quebra de garrafas, latas amassadas e efluentes provenientes de eventuais derramamentos de cerveja. A bebida envasada em garrafas e latas é denominada cerveja e as envasada em barris são denominadas chope, após o envase segue-se a rotulagem das garrafas e a embalagem para transporte.

Para os casos de envase das garrafas de cerveja retornáveis torna-se necessário sua limpeza com solução alcalina e detergente, sendo posteriormente enxaguadas com água quente para promover sua desinfecção. Após a lavagem, as garrafas passam por inspeção visual automática, e aquelas que apresentam sujou ou defeito são retiradas manualmente e enviadas para reciclagem. Os equipamentos de lavagem de garrafas costumam ser bastante intensivos no consumo de água energia e geram grande quantidade de resíduos, tais como: pasta celulósica, formada pela cola e papel dos rótulos, vidros de garrafas danificadas ou quebradas e efluentes líquido da lavagem (SANTOS e RIBEIRO, 2005).

Observa-se que no processo produtivo de cerveja ocorre a geração de diversos resíduos sólidos e efluentes líquidos nas diferentes etapas de produção, como o bagaço de malte, trub grosso, trub fino, os resíduos de cervejas e água de lavagem.

Na Tabela 1 temos a caracterização dos principais resíduos gerados, sua fonte, destinação e dificuldades, segundo THOMAS & RAHMAN (2006).

Tabela 1 - Caracterização dos principais resíduos gerados, sua fonte, destinação e dificuldades no processo produtivo de cerveja.

Resíduo gerado	Origem	Utilização	Destinação	Dificuldades
Água residuária	Todas as etapas processo produtivo	Limpeza, aquecimento e resfriamento de equipamentos	Descarga efluente	Composição química variável
Grãos residuais	Obtenção do malte	Fonte de açúcar para a fermentação	Agricultura	Higiene, odor e alta DBO
Trub grosso	Clarificação do mosto	-	Descarga efluente	Alta DBO e SST
Trub fino	Filtração do mosto fermentado	Meio filtrante	Descarga efluente	Alta DBO e SST
Levedura residual	Fermentação	Processo de fermentação	Descarga efluente	Alta DBO e SST
Cerveja residual	Envase	Produto final	Descarga efluente	Alta DBO

Fonte: Adaptado THOMAS & RAHMAN (2006).

3.2. Água na produção de cerveja

A água é o componente em maior quantidade na cerveja – que representa 90% em peso da cerveja, a proporção entre os principais sais (bicarbonato, cloreto e sulfato de sódio, cálcio e magnésio) solúveis na água usada para a fabricação da cerveja afeta o aroma e a cor da bebida. Portanto, essa matéria prima deve ter alta qualidade, isenta de substâncias nocivas à saúde humana e que prejudiquem as atividades das enzimas e da levedura cervejeira.

A água deve apresentar as seguintes características:

- Deve ser potável;
- Transparente;
- Inodora,
- Sem sabor;
- Não alcalina;
- Levemente dura, com cerca de 500 mg/L de sulfato de cálcio.

Na Tabela 2 encontram-se os principais parâmetros e valores máximos aceitos para água utilizada na produção de cerveja:

Tabela 2 – Principais parâmetros e valores máximos permitidos para água cervejeira

Parâmetro	Valor máximo permitido
pH	6,5 - 8,0
Matéria orgânica	0 - 0,8 mg O ₂ /L
Sólidos dissolvidos	50 - 150 mg/L
Dureza	18 – 79 mg CaCO ₃ /L
Alcalinidade	16,11 mg CaCO ₃ /L
Sulfato	1 - 30 mg SO ₄ /L
Cloreto	1 - 20 mg Cl ⁻ /L
CO ₂ livre	0,5 - 5 mg CO ₂ /L
Fonte: CERVESIA (2021)	

Segundo SANTOS E RIBEIRO (2005) a indústria cervejeira divide a água usada no processo em dois tipos:

- **Água cervejeira, nobre ou de fabricação:** é a água incorporada ao produto e utilizada para condicionamento do malte, moagem, carga e descarga de produtos em elaboração, etc. Para incorporação ao produto, em geral trabalha-se com água com pH 6,0 a 6,5 e com diversos requisitos de qualidade físico-químicos sendo que ao final tem-se na formulação da cerveja um teor de água de 85 % proveniente do preparo do mosto.
- **Água de serviço:** é a água usada em situações locais e equipamentos onde não ocorre contato com o produto, por exemplo: lavagem de vasilhames, pisos e equipamentos e resfriamento. Permite-se reuso desta água em diversas situações, devendo ser observadas as necessidades sanitárias para garantia da qualidade do produto, bem como para atendimento de legislação específica.

Além de ser utilizada no processo, incorporada ao produto, a água é utilizada também na limpeza dos barris, garrafas, dos equipamentos e áreas da indústria, e na malteação da cevada (GAUTO; ROSA, 2011).

O consumo excessivo de água desperta o interesse das empresas identificar oportunidades para reduzir o uso de água no processo produtivo e reutilização da água pós-tratamento de efluentes, visando diminuir os despejos industriais, que apresentam índice alto de contaminantes, e com alta carga poluente, sendo que o valor mais significativo se refere à carga orgânica contida no efluente da cervejaria, com valores de DBO em uma faixa entre 600 e 3671 mg/L, com uma média de 1668 mg/L. (EBLINGER, 2009).

Diversas atividades indústrias relacionadas à produção de alimentos e bebidas tem vivenciado desafios quanto à utilização dos recursos hídricos disponíveis. No Brasil, a indústria de alimentos e bebidas é responsável por 45% de toda água retirada de corpos hídricos, superficiais e subterrâneos, para uso industrial (processos de fabricação e operações unitárias, bem como ingrediente). Contudo, cerca de 70% de toda água utilizada por essas indústrias é geralmente descartada na forma de efluentes, que se não tratados de maneira adequada produzem grandes prejuízos ao meio ambiente. Por consequente, a redução da utilização de água em seus processos produtivos e a aplicação de tratamentos de efluentes avançados para obtenção de águas de reuso tem sido adotada pelos principais setores alimentícios, na busca da redução do volume geral de água utilizada pela indústria da alimentação (ANA, 2017; BENNETT, 2014).

No Brasil a legislação que determina os parâmetros de descarte de efluentes é a do CONAMA na Resolução N° 357/2005 que sofreu alterações e complementações pelas resoluções 410/2009 e 430/2011, que estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes. Como consequência da cobrança em relação aos limites máximos permitidos para estes tem-se a elevação dos custos do tratamento, consequentemente, o maior controle deste descarte exige a determinação da carga poluente e de todos os parâmetros envolvidos, e um controle da água residual que deixa o sistema de tratamento. Com o intuito de reduzir estes custos, devem-se esgotar todas as alternativas para a redução do volume de água utilizado. (EBLINGER, 2009).

Para FIESP (2005), conservar água significa atuar de maneira sistêmica na demanda e na oferta de água e a racionalização do uso e/ou o reuso de água são considerados elementos vitais em qualquer iniciativa de conservação. Afirma ainda que a ampliação da eficiência do uso da água representa, de forma direta:

- Atendimento ao crescimento populacional e à implantação de novas indústrias;
- Colaboração efetiva para a preservação e conservação do meio ambiente.

3.3. Tratamento de efluente

Dentre os principais tratamentos de efluentes da indústria cervejeira, tanto físicos como químicos, destacam-se o gradeamento, peneiramento, decantação, flotação, equalização, coagulação e floculação, neutralização de pH e cloração, além dos processos biológicos para remoção de carga orgânica. Na etapa biológica geralmente usa-se reator anaeróbio, sistemas de lodos ativados, sistema de aeração e desnitrificação (GEREMIAS, 2017).

O fluxograma da Figura 2 mostra os tratamentos para efluentes propostos neste estudo:

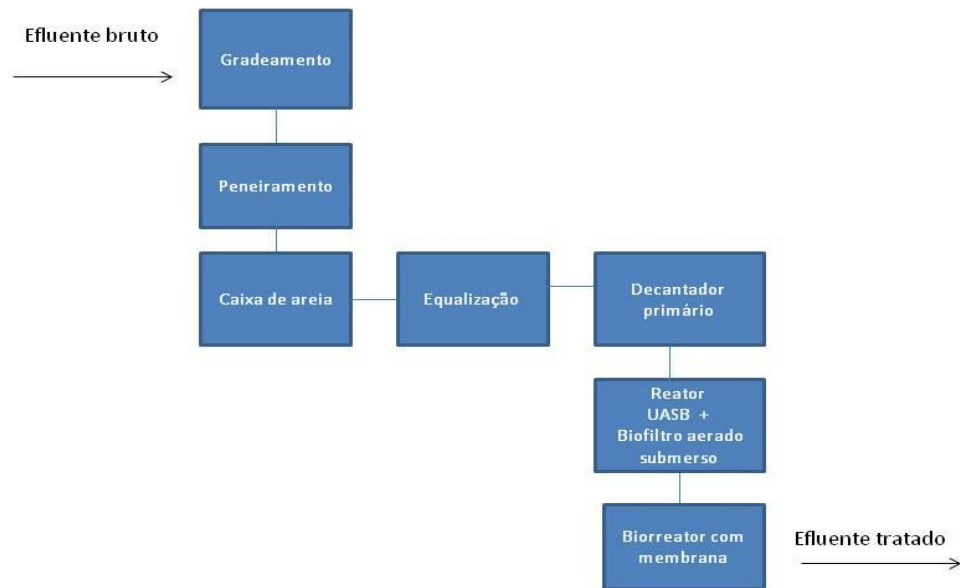


Fig. 2 – Tratamento de efluente convencional adaptado com reator UASB e BRM.

Gradeamento: o gradeamento é constituído por grades com aberturas uniformes que servem para reter o material sólido presente no efluente, evitando contaminações de tubulações e danos nos equipamentos do restante do processo de tratamento (VON SPERLING, 2005).

Peneiramento: podendo também ser chamadas de grades ultrafinas, as peneiras possuem aberturas variando entre 3 e 10 mm, auxiliando na remoção de pequenas partículas, sendo uma operação geralmente utilizada na remoção de carga orgânica, o que gera diminuição de custos e área em tratamentos posteriores desse tipo de composto (CUNHA, 2019).

Caixa de areia: constituída por caixas de areia/desarenadores, esta operação unitária visa à remoção de pequenas partículas arenosas com diâmetros entre 0,1 e 0,4 mm, onde há a retenção dos sólidos a uma velocidade de escoamento que promove a separação do resíduo líquido, sendo os pesos moleculares e velocidades de sedimentação destas partículas superiores aos materiais de origem orgânica. Esse processo é utilizado a fim de evitar obstrução, entupimento e abrasão de equipamentos da estação de tratamento, comprometendo as eficiências dos processos a jusante (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

Equalização: a equalização é usada para homogeneizar o efluente, o tornando mais semelhante em composição e mais constante em vazão, antes de começar o tratamento

efetivo. Assim, consiste de um tanque provido de aeração e agitação para se evitar odores e deposição de sólidos (GEREMIAS, 2017).

Decantador primário: o tratamento primário requer o uso de decantadores primários, sendo comumente utilizados na etapa que antecede o tratamento biológico, tendo como objetivo a remoção de sólidos de fácil sedimentação e floculados, sendo parte destes sólidos constituídos por material orgânico. A eficiência na remoção de DBO é de 25 a 35% e de SS é de 40 a 60%. (ALVES, 2010; JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Reator UASB: o mecanismo consiste na entrada do efluente pela parte inferior do reator, passando através de um leito de lodo denso e manta de lodo, onde parte da matéria orgânica irá ficar retida junto à biomassa de elevada atividade para degradação e parte irá se unir a moléculas de gases (gás metano e gás carbônico) resultantes da digestão dos microrganismos, dispersando no meio líquido seguindo um fluxo ascendente até o topo do dispositivo. (JORDÃO; PESSÔA, 2014; CHERNICHARO, 2016; VON SPERLING, 2017).

Biofiltros Aerados Submersos: o processo acontece através de um leito fluidizado com inserção de bolhas de ar, no qual possui recheio ou material flutuante granular de elevada superfície de contato. O efluente irá passar pelo leito com fluxo ascendente ou descendente, formando uma camada de biofilme no material de enchimento, que em contato com o resíduo líquido irá degradar a matéria orgânica. A limpeza do material do recheio se dá por meio de lavagem em contracorrente, podendo ser usado o próprio efluente para lavagem. Esta operação possui elevada eficiência e não necessitam de grandes áreas de implantação, devido ao material de enchimento ser leve, podendo ser dimensionados leitos de maior altura (JORDÃO; PESSÔA, 2014; CHERNICHARO, 2016; VON SPERLING, 2017).

Biorreatores com membranas (BRM): O objetivo principal dos biorreatores de membranas é produzir efluente clarificado e em grande parte desinfetado. Apresentam alta eficiência na remoção de poluentes com menor consumo de energia e área requerida, em comparação as tecnologias normalmente utilizadas, como por exemplo, o lodo ativado (GUIMARÃES e MANIERO, 2012).

Na Tabela 3 temos as características do efluente proveniente de cervejaria, segundo CUNHA (2019).

Tabela 3 - Características do efluente proveniente de cervejaria – tratamento convencional

Parâmetros	Valor inicial (Efluente bruto)	Valor final (Efluente tratado)
pH	12	6,5

Temperatura	40 °C	40°C
DQO	6000 mg/L	1500 mg/L
DBO	3600 mg/L	900 mg/L
Sólidos suspensos totais	3000 mg/L	750 mg/L
Sólidos dissolvidos totais	5940 mg/L	1485 mg/L
Fonte: Cunha (2019) com base em Choi (2016)		

Sendo que o tratamento de efluente utilizado é o convencional, inicia-se com gradeamento e finaliza com biorreator UASB para degradação e remoção da matéria orgânica, apresentando uma estimativa de eficiência de 75%, mas segundo Cunha (2019): o tratamento apresenta elevada variação em relação à remoção da carga orgânica, com baixos valores de eficiências durante o processo de tratamento, torna-se evidente que o sistema de tratamento apresenta operação inadequada, pode acarretar no lançamento dos efluentes fora dos padrões permitidos pela legislação ambiental.

Segundo NAVARI (2013), os parâmetros de maior importância para a caracterização dos efluentes gerados no processo produtivo da cerveja são aqueles referentes à:

Matéria orgânica: A matéria orgânica presente em um efluente determina sua capacidade poluente, já que define o consumo de oxigênio que ocorrerá na estação de tratamento de efluentes ou no corpo receptor se for lançado direto sem tratamento. A matéria orgânica presente no efluente é conhecida através da DQO (Demanda Química de Oxigênio), que é expressa em mg/L.

DQO (Demanda química de oxigênio): é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente em uma amostra por via química. Determina a matéria orgânica total da amostra, utilizando um agente oxidante.

Sólidos Totais: Indica a presença total de matéria orgânica presente em um efluente, seja na forma de substâncias dissolvidas, em estado coloidal ou em suspensão.

Temperatura: A temperatura do efluente é de grande importância devido a seu efeito na vida aquática. A legislação determina como temperatura máxima para lançamento no curso de água 40° C, sendo que a elevação da temperatura do corpo receptor não pode exceder 3° C.

pH: O pH é um parâmetro importante dos efluentes industriais para a manutenção da qualidade dos cursos de água. Este parâmetro indica se o meio está ácido, alcalino ou neutro. O pH do efluente nas indústrias de cerveja é na sua grande maioria alcalino devido a descarga das lavadoras onde é utilizado soda caustica.

Os tipos de tratamentos mais usuais empregados quando se tem como objetivo o reuso são: floculação; precipitação, abrandamento, adsorção em carvão ativado; troca iônica;

destilação, oxidação com ozônio, dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio e separação por membranas - microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa (MIERZWA & HESPANHOL, 2005; METCALF & EDDY, 2003).

3.4. Reutilização da água do tratamento de efluente

Para a obtenção de água de reuso, provinda de efluente doméstico ou industrial, são necessários processos de tratamento específicos para cada composição de efluente. Dependendo das características dos efluentes e da eficiência de remoção dos poluentes, os tratamentos podem ser classificados em preliminares, primários, secundários ou terciários, ou físico-químicos (SILVA FILHO, 2009).

No tratamento preliminar o objetivo é remover os sólidos grosseiros em suspensão, o tratamento primário ocorre remoção de sólidos em suspensão, no tratamento secundário remoção de sólidos dissolvidos e no tratamento terciário remoção elevada de matéria orgânica para se obter uma água de qualidade.

Na maioria dos casos, o tratamento secundário promove adequada remoção de DBO e sólidos suspensos. O tratamento terciário, empregando processos avançados, é necessário para que os efluentes de plantas possam ser reusados ou reciclados, direta ou indiretamente, na planta industrial. Esta prática aumenta a disponibilidade de água para suprimento industrial ou doméstico, e porque alguns corpos d'água não são capazes de tolerar as cargas de poluentes do tratamento secundário (MACHADO, 2005).

A reutilização da água após passar por tratamento adequado ou não, destina-se a diferentes propósitos a fim de se garantir a preservação e conservação dos recursos hídricos, redução do consumo e até mesmo economia financeira (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2008).

Segundo diversos especialistas da área, as aplicações do reuso de água em uma indústria, são variadas, como mostra a Tabela 4. Geralmente são destacadas as atividades que mais consomem água no setor industrial e cujos padrões de qualidade não são muito exigentes, no entanto, não impede que o reuso possa ser feito em qualquer outra atividade – desde que as características da água a ser utilizada atendam aos requisitos de qualidade exigidos (MIERZWA, 2002).

Tabela 4 - Principais aplicações de reuso de água na indústria

Aplicação
Alimentação de caldeira e refrigeração
Água de processo
Construção pesada
Lavador de gases, equipamentos, pisos e peças
Irrigação de áreas verdes
Controle de poeira
Fonte: MIERZWA (2002)

Existem dois tipos de reuso: o direto e o indireto. O reuso indireto ocorre quando a água é despejada no meio ambiente, seja em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, após uma ou mais utilizações de uso industrial ou doméstico. A redução da carga orgânica do despejo se dá por meio da própria autodepuração do corpo d'água, que posteriormente será utilizado a jusante em outra atividade. O reuso direto, geralmente o mais estudado e abordado, é quando ocorre o uso do efluente tratado em atividades industriais, irrigação, ou até mesmo recargas de aquíferos e usos potáveis. Neste caso, diferente do reuso indireto, a água deve atender requisitos de qualidade de acordo com a aplicação desejada, na maioria das vezes, tecnologias e tratamentos distintos podem ser utilizados para tal (HESPANHOL, 2002).

O presente estudo visa o reuso da água para descarga de sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais, considerado Classe 1, segundo o manual publicado pela Agência Nacional das Águas (ANA, FIESP, SINDUSCON-SP) em 2005, que são estabelecidos os seguintes parâmetros para determinação e controle da qualidade da água de reuso, apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros requeridos para água de reuso.

Parâmetros	Classe 1
pH	6,0 - 9,0
DBO	≤ 10,0 mg/L
Cor	≤ 10,0 uH
Turbidez	≤ 2 NTU
Sólidos Suspensos Totais (SST)	≤ 5,0 mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	≤ 500 mg/L
Fonte: ANA/FIESP (2005)	

Segundo Barbosa (2019), a grande vantagem da utilização da água de reuso é a de preservar a água potável, reservando-a exclusivamente para o atendimento das necessidades que exijam a sua potabilidade para o abastecimento humano. Outra vantagem relevante do reuso é a eliminação de descarga de esgotos nas águas superficiais, já que há um tratamento na água e os produtos resultantes do processo são destinados a locais adequados, sem contar a economia financeira que tal prática representa as indústrias e domicílios que a praticam.

4. Metodologia

Uma pesquisa bibliográfica sendo elaborada por meio de artigos e dissertações disponíveis para levantamento de caracterização do efluente seguindo de um tratamento convencional e os seguintes parâmetros: demanda de oxigênio (DQO), demanda bioquímica (DBO), sólidos totais e pH. Seguindo as seguintes etapas:

- Caracterização do processo produtivo de cervejaria;
- Identificação dos resíduos e efluentes gerados durante o processo de produção;
- Seleção do tratamento adequado para o efluente estudado.

Visando mostrar que é possível reutilizar a água de tratamento de efluente de indústria cervejeira para diminuir os resíduos gerados tornando o processo mais eficiente para a empresa e o meio ambiente.

O presente estudo trata de uma pesquisa exploratória de natureza aplicada, que visa observar os fenômenos que envolvem o funcionamento de Estações de Tratamento de Efluente Industrial e a aplicabilidade do reuso de água na indústria cervejeira, procurando descrevê-los e interpretá-los por meio de uma abordagem qualitativa, preocupando-se não com a representatividade numérica, mas com o aprofundamento da compreensão de um processo de uma organização (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Os processos de separação por membrana são alternativas interessantes que podem ser utilizadas em várias etapas da produção da cerveja e podem substituir ou se combinar com algumas técnicas tradicionais. Em geral, técnicas de separação por membrana oferecem vantagens significativas comparadas com tecnologias tradicionais, incluindo a separação de moléculas e microrganismos, menor impacto térmico sobre produtos, consumo moderado de energia e sistemas modulares (FLUSH Engenharia, 2019).

4. 1. Reator UASB e Biofiltro Aerado Submerso (BAS)

O reator UASB consiste em um processo de tratamento de alta taxa, com capacidade de reter grandes quantidades de biomassa no sistema. A biomassa tem um crescimento disperso no meio líquido e apresenta elevada capacidade de absorção de substrato. A concentração do lodo dentro do reator varia ao longo da altura, distinguindo-se duas regiões: o leito de lodo, localizado próximo ao fundo, caracterizado por possuir lodo muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação e a manta de lodo, localizada próxima ao topo do reator, caracterizada por um lodo mais disperso e leve (CHERNICHARO, 1997).

Durante o processo há o acúmulo de grandes quantidades de sólidos, dessa forma, para que ocorra a estabilização completa do lodo, o tempo de residência da biomassa acaba sendo maior que o tempo de detenção hidráulica (faixa de 6 a 10 horas). Em termos de eficiência, os reatores UASB apresentam uma remoção próxima a 65% para DQO e 70% para DBO (JORDÃO; PESSÔA, 2014; CHERNICHARO, 2016; VON SPERLING, 2017).

Os biofiltros submersos têm sido utilizados por mais de 50 anos e parecem ser uma alternativa eficiente a outros processos de tratamento. Os microrganismos crescem no meio suporte, eliminando a necessidade da recirculação de lodo. O biofiltro aerado submerso é constituído por um tanque preenchido com um material poroso, através do qual o efluente e ar fluem permanentemente (VON SPERLING, 2005). O fluxo de ar no biofiltro aerado submerso é sempre ascendente. O biofiltro é um reator trifásico, segundo GONÇALVES (1996):

- fase sólida: constituída pelo meio suporte e pelas colônias de microrganismos que nele se desenvolvem sob a forma de biofilme;
- fase líquida: composta pelo líquido em permanente escoamento através do meio poroso;
- fase gasosa: formada pela aeração artificial e, em reduzida escala, pelos gases subprodutos da atividade biológica.

Os biofiltros aerados submersos tratam o efluente anaeróbio, removendo a matéria orgânica e sólidos suspensos excedentes, assim o efluente pode ser lançado no corpo receptor conforme a legislação ou seguir para a próxima etapa do tratamento de efluente.

O efluente tratado é utilizado na operação de lavagem feito em fluxo descendente e o excesso de lodo gerado no processo aeróbio é recirculado para o UASB, ocorrendo então à digestão e adensamento pela via anaeróbia. O excesso de lodo produzido no UASB é

descartado por gravidade e disposto em leitos de secagem para desidratação (BOF *et al.*, 2001).

A Figura 3 representa o fluxograma do tratamento por reator UASB seguido de Biofiltro Aerado Submerso.

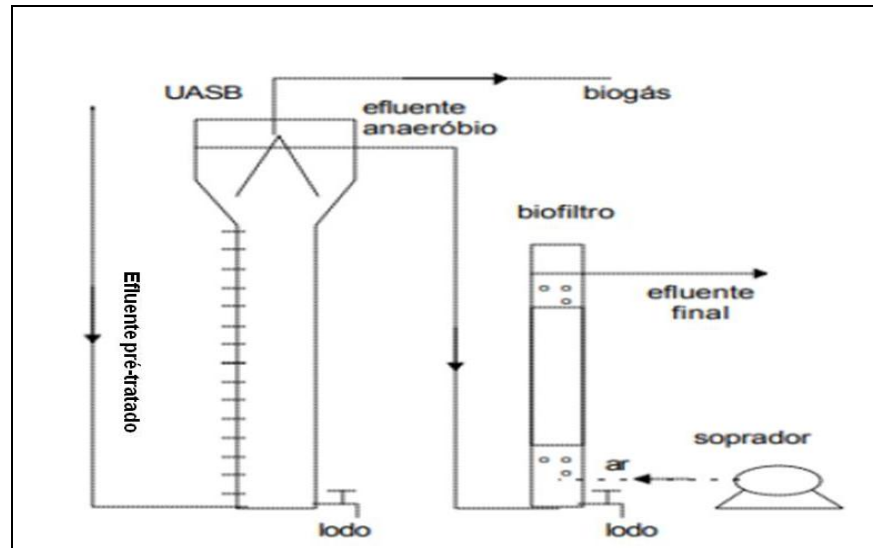


Fig. 3 – Tratamento por Reator UASB seguido de Biofiltro Aerado Submerso.

Fonte: GONÇALVES *et al.* (2001).

BOF *et al.* (1999) operou o conjunto UASB e filtro submerso sob variações horárias de cargas e recirculação frequente do lodo aeróbio para o UASB. Eficiências de 92% (SST), 89% (DBO) E 93% (DQO) foram obtidas para TDH médio de 6 horas no reator UASB, resultando em efluente final com 15 mg/L de SST, 15 mg/L de DBO e 58 mg/L de DQO.

O Biofiltro Aerado Submerso (BAS) tem sido empregado combinado com UASB para tratamento de efluentes com elevados teores de matéria orgânica. O emprego desses sistemas combinados é nitidamente crescente no país, dados os seguintes atrativos, dentre outros: elevada eficiência de remoção de matéria orgânica, pequena demanda de área, custo de implantação e operação relativamente baixa, relativa simplicidade operacional (GONÇALVES *et al.* 2001).

4. 2. Processo de Separação por Membrana

Os processos de separação por membranas (PSM) utilizam diferentes modos de operação, empregam diversas forças motrizes para o transporte dos permeantes, com características em comum que os tornam atrativos. Em muitos casos, os PSM são mais

rápidos, eficientes e econômicos quando comparados a processos convencionais de separação (PEISINO, 2009).

De acordo com Metcalf e Eddy (2016), os termos comumente utilizados nos processos de separação por membranas incluem a alimentação (efluente a ser tratado), permeado (efluente tratado) e concentrado (parcela que não atravessa a membrana).

Na figura 4 a representação do processo de separação por membrana.

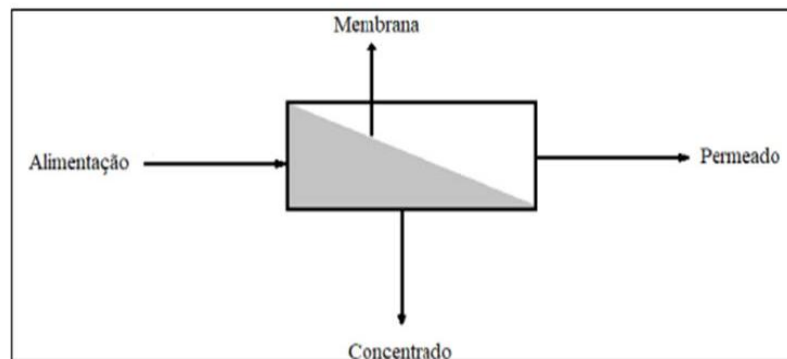


Fig. 4 – Representação esquemática do Processo de Separação por Membrana.

Fonte: METCALF e EDDY .(2016).

De acordo com Habert *et al.* (2006), a morfologia das membranas varia de acordo com as aplicações a que se destinam, e podem ser classificadas em duas categorias: densas e porosas. As características da superfície da membrana que estão em contato com a solução a ser separada é que vão definir a utilização de uma membrana porosa ou densa.

A morfologia das membranas pode ser visualizada na Figura 5, onde se apresentam as seções transversais de membranas isotrópicas ou simétricas, que apresentam poros de tamanho constante pela espessura da membrana ou não possuem poros (densas), e anisotrópicas ou assimétricas, as quais tem superfície porosa ou densa e podem ser constituídas por um material uniforme (integral) ou materiais diferentes nas regiões da superfície e do suporte ou substrato (HABERT *et al.*, 2006).



Fig. 5 – Representação esquemática dos tipos de morfologia de membranas sintéticas do PSM.
Fonte: HABERT *et al.* (2006).

A morfologia está relacionada com a porosidade e o tamanho dos poros, o qual pode apresentar afinidade com as espécies que compõem o fluido, permitindo o transporte difusivo para o permeado (HABERT *et al.*, 2006).

A principal força motriz responsável pelo transporte de uma espécie em processos com membrana é o seu gradiente de potencial químico entre os dois lados da membrana (que se traduz em gradiente de concentração, pressão e/ou de temperatura). No caso particular de espécies iônicas, a força motriz pode ser um gradiente de potencial elétrico (HABERT *et al.*, 2003).

Os processos de separação por membranas (PSM) que utilizam a pressão como força motriz podem ser classificados de acordo com a Tabela 6. A técnica mais comercializada é a que utiliza o gradiente de pressão como força motriz (SERGINA, 2005).

Tabela 6 - PSM que utilizam pressão como força motriz

Processo	Força Motriz	Aplicações
Microfiltração (MF)	ΔP (0,5 - 2 bar)	Retenção de microrganismos, clarificação de vinhos e cervejas, concentração de células, tratamento de efluentes.
Ultrafiltração (UF)	ΔP (1 - 7 bar)	Fracionamento e concentração de proteínas, recuperação de pigmentos e óleos.
Nanofiltração (NF)	ΔP (5 - 25 bar)	Purificação de enzimas, biorreatores a membrana, recuperação de aminoácidos.
Osmose Inversa (OI)	ΔP (15 - 80 bar)	Dessalinização de águas, concentração de sucos de frutas, tratamentos de efluentes.

Fonte: SERGINA (2005).

De acordo com Metcalf e Eddy (2016) a maioria das membranas comerciais é produzida em forma tubular, fibra oca ou de placa plana. Quando os módulos de membranas são submersos, as membranas existentes mais utilizadas para sistemas de biorreatores de membranas são de os de fibra oca. Os módulos de fibra oca consistem de um feixe com milhares de fibra ocos, inseridos em vaso de pressão, a alimentação pode ser aplicada do lado interno ou externo da membrana. Os módulos de placa plana são constituídos de uma série de membranas planas e placas suporte, a água a ser tratada passa entre as membranas de duas placas adjacentes, as placas suportam as membranas e apresentam canais internos de modo a permitir o escoamento do permeado para o lodo externo da unidade.

Uma das áreas em que se aplicam os processos de separação com membranas está no tratamento de efluentes, sendo que, dos diversos processos utilizados (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa) cita-se o Biorreator com membranas (BRM). As membranas utilizadas nesses sistemas são, na maioria, poliméricas e, em termos de geometria, aplicam-se tanto a plana (placa ou quadro) como radial (fibra oca ou tubular) (CADOIRE, 2015).

Desde a descoberta da viabilidade econômica dos processos de separação por membranas, no final da década de 1960, o mercado de separação por membranas passou de US\$ 2 milhões/ano para cerca de US\$ 4,4 bilhões/ano em 2000 (PESSOA JR; KILIKIAN, 2005).

4. 2. 1. Biorreator com membrana (BRM)

BRM são reatores biológicos com biomassa em suspensão, onde a separação de sólidos se dá por microfiltração através de membranas com tamanho de poro variando de 0,1 a 0,4 μm (METCALF e EDDY, 2003). Segundo Provenzi (2005), os biorreatores com membrana é um processo híbrido que combina um processo biológico, geralmente aeróbio, a um processo físico de filtração por membranas. Essa tecnologia avançada de tratamento de águas residuárias, vem ganhando destaque nos últimos anos, principalmente em países desenvolvidos, por possuírem menos disponibilidade de água e de área para tratamento. No Brasil, esta tecnologia ainda é incipiente e vários estudos foram e estão sendo realizados para melhor compreender esta promissora tecnologia voltada ao tratamento de efluentes (BEAL, 2004; VIANA, 2004).

Segundo Raulusaitis e Gesualdo (2009), pode-se caracterizar um biorreator de membrana (BRM) como a junção entre os processos de tratamento biológicos ou bioquímicos

com um processo de separação de membranas porosas, essas por sua vez promovem a filtração do efluente, que garante um permeado com baixo nível de sólidos suspensos e contaminantes. Os BRMs geralmente possuem uma estrutura modular com baixa sensibilidade à variação de carga, dessa forma é possível realizar o escalonamento dos mesmos em processos industriais.

Segundo Judd (2003), o objetivo principal dos biorreatores de membrana é produzir efluente clarificado e em grande parte desinfetado. Os biorreatores de membrana apresentam alta eficiência na remoção de poluentes com menor consumo de energia e área requerida, em comparação as tecnologias normalmente utilizadas, como os lodos ativados, por exemplo, (GUIMARÃES e MANIERO, 2012).

A qualidade do efluente tratado pelo biorreator em questão não depende da sedimentabilidade do lodo, pois as membranas utilizadas em sua estrutura proporcionam a retenção da biomassa presente no fluido (ANDRADE, 2011).

A retenção promovida pelas membranas garante que a carga orgânica do efluente permaneça no biorreator por um tempo maior que o tempo de residência médio. Dessa maneira, ocorre o crescimento de microrganismos com uma maior capacidade de degradação dos compostos presentes no efluente. Por essa razão os BRMs apresentam uma eficiência elevada para a remoção de poluentes orgânicos persistentes ou que possuam baixa biodegradação (ANDRADE, 2011).

Na operação de sistemas de membranas, é usada bomba para pressurizar o efluente, direcionando ao canal de alimentação do módulo. É usada uma válvula no canal do concentrado com o intuito de regular a pressão no canal de alimentação. O canal para a coleta do permeado é recolhido à pressão atmosférica. Para a remoção dos sólidos que se acumulam na superfície da membrana, são implementadas diferentes tecnologias de acordo com o tipo de módulo e limpeza requerida (VIDAL, 2006).

Os biorreatores de membrana podem assumir duas configurações estruturais para melhor adequação do equipamento ao processo industrial que será inserido, módulos de membranas externos (pressurizados) ou internos (submersos), conforme demonstrado na Figura 6. No primeiro caso – Fig. 6.a - pressurizado, o efluente em questão deve ser bombeado para os módulos e a própria pressão da solução funcionará como a força motriz necessária para a permeação. O efluente tratado é retirado do equipamento enquanto a carga orgânica retida retorna ao tanque do reator (ANDRADE, 2011).

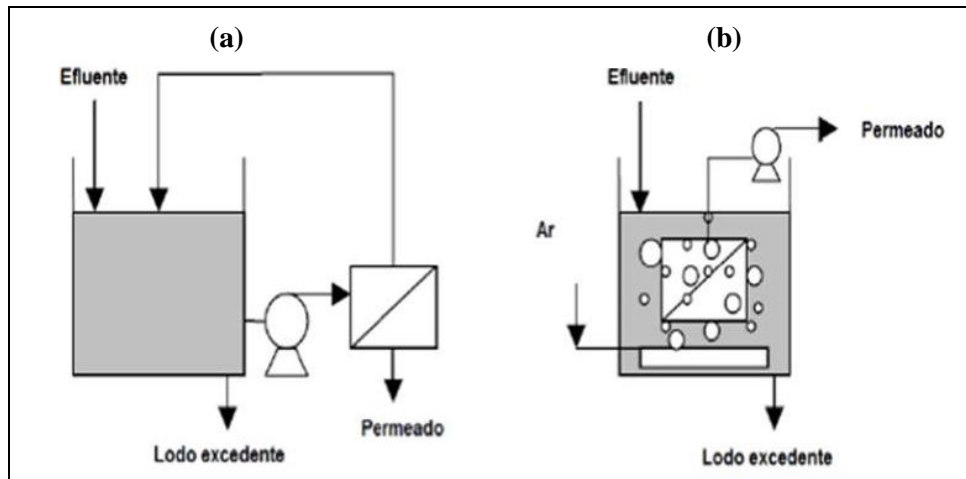


Fig. 6– Configurações estruturais de um biorreator de membrana.
 Fonte: ANDRADE (2011).

No segundo caso – Fig. 6.b, o módulo está submerso no tanque e a permeação ocorre através de sucção. Segundo Kipper (2009), a velocidade tangencial ao módulo provoca turbulência e, conseqüentemente, evita a deposição de matéria orgânica sob a membrana, diminuindo o grau de incrustações da mesma.

De acordo com Andrade (2011), os biorreatores com módulos pressurizados possuem uma facilidade maior para realizar manutenções, como também um controle de processo mais apurado. Mas, por outro lado, possuem um alto consumo energético para fornecer a suspensão do efluente e prover a pressão para realizar a permeação. Já as membranas submersas são mais suscetíveis a incrustações, mas possuem baixo consumo energético durante sua operação.

O fenômeno das incrustações em membranas, também conhecido como fouling, é uma das principais limitações do processo de separação por membranas, pois resulta na redução do fluxo de permeado, em um aumento considerável de energia durante o processo e de gastos extras com limpezas ou até mesmo com a substituição das membranas (KIPPER, 2009).

No caso dos biorreatores de membranas aplicados para o tratamento de efluentes nas indústrias cervejeiras, de acordo com Kipper (2009), o mecanismo dominante para a formação do fouling é a alta carga orgânica presente no fluido, principalmente de açúcares, enquanto os componentes inorgânicos presentes na solução são suficientemente pequenos para passarem pela membrana.

Uma das principais formas de controle e redução do fenômeno das incrustações é dada pela aeração de um biorreator. Em configurações aeróbias, o sistema em questão, pode ter a

função de fornecer o oxigênio necessário para o desenvolvimento da biomassa enquanto promove o cisalhamento na superfície da membrana (ANDRADE, 2011).

De acordo com Maestri (2007), o grande potencial da utilização dos biorreatores de membrana para reuso de água decorre dos usos da água, principalmente em grandes centros urbanos, que na maioria das vezes destina-se aos usos não potáveis, e que os efluentes dos biorreatores de membrana além de atingir os padrões de lançamentos estabelecidos pelas legislações, apresentam qualidade indicada para reuso.

5. Resultados e Discussões

A indústria cervejeira gera efluentes líquidos com elevada carga de matéria orgânica biodegradável, se lançados diretamente nos cursos de água, provoca poluição do ecossistema. Então, as empresas passam a realizar tratamentos destes efluentes de maneira sustentável e que obedeçam às exigências da lei.

Para restabelecer o equilíbrio entre oferta e demanda de água e garantir a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social, é necessária a aplicação de métodos e sistemas alternativos em função das diferentes características observadas (SAUTCHUK *et al.*, 2004).

O processo para o tratamento deste efluente inicia com o tratamento convencional (gradeamento, peneiramento, caixa de areia, equalização, decantador primário e UASB), mas o Reator UASB não consegue degradar toda a matéria orgânica presente no efluente, conforme visto na a Tabela 3 - Características do efluente proveniente de cervejaria, segundo estudo realizado por Cunha (2019) que apresenta uma estimativa de eficiência de 75%. Então, tendo como referência o valor do efluente bruto, se faz uma estimava de eficiências de remoção da matéria orgânica utilizando Reator UASB + BAS, pois segundo Bof *et al.*(1999) a eficiência para SST (92%), DBO (89%) e DQO (93%), conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Características do efluente proveniente de cervejaria usando UASB +BAS.

Parâmetros	Valor inicial (Efluente bruto)	Valor final (UASB)	Valor final (UASB+BAS)
DQO	6000 mg/L	1500 mg/L	420 mg/L
DBO	3600 mg/L	900 mg/L	396 mg/L
Sólidos suspensos totais	3000 mg/L	750 mg/L	240 mg/L

Fonte: Cunha (2019) com base em Bof *et al.*(1999) (adaptado)

Observa-se que o UASB + BAS apresenta vantagem à elevada eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos.

Processos como o BAS têm como vantagem a elevada eficiência de remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e capacidade, contudo, não requer o uso de decantadores em unidades posteriores, devido à elevada aplicação de matéria orgânica. Não é necessária a recirculação do lodo, pois o sistema é de biomassa fixa (GONÇALVES, 1995).

Mas, os valores obtidos não são suficientes para reuso da água, sendo necessária uma complementação de tratamento com BRM, segundo Viana (2004) a eficiência para SST (99%), DBO (98%) e DQO (99%), conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Características do efluente proveniente de cervejaria usando UASB +BAS seguido de BRM.

Parâmetros	Valor inicial (Efluente bruto)	Valor final (UASB+BAS)	Valor final (BRM)
DQO	6000 mg/L	420 mg/L	4,2 mg/L
DBO	3600 mg/L	396 mg/L	7,9 mg/L
Sólidos suspensos totais	3000 mg/L	240 mg/L	2,4 mg/L
Fonte: Cunha (2019) com base em Bof <i>et al.</i> (1999); Viana (2004) (adaptado)			

Ao se comparar os valores estimados de eficiências, os resultados obtidos e suas respectivas reduções, pode-se estimar que a BRM promove a redução do resíduo líquido gerados em cervejarias, sendo compatível para reuso conforme os parâmetros estabelecidos na Tabela 5. Mas, o sistema de reuso, deve-se complementar o sistema de tratamento de efluentes existente, seguindo os padrões estabelecidos de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos tendo como objetivo garantir a qualidade do efluente tratado com a do uso a que estiver destinado, no caso do estudo, o reuso da água para descarga de sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais.

Segundo o Portal de Tratamento de Água (2018), a Cervejaria Germânia localizada em Vinhedo - SP tem conseguido ótimos resultados utilizando o biorreator à membrana em sua Estação de Tratamento de Efluentes, com objetivo de conseguir devolver à natureza um efluente com 5,0 mg/L de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), tendo uma a carga de efluentes gerada pela empresa corresponde a 4.000 mg/L de DBO.

Desta forma, os processos de separação por membranas representam uma excelente alternativa para o tratamento de efluentes, principalmente quando o objetivo final visa o reuso (WINTGENS *et al.*,2005).

Conclusão

Os resultados obtidos tiveram como base a estimativa de eficiência encontrada na literatura, visando adequar alguns parâmetros do processo, como a demanda bioquímica do oxigênio (DBO), demanda química (DQO) e os sólidos suspensos presentes no efluente gerado durante o processo.

Os valores finais demonstram a possibilidade de reuso da água para descarga de sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais, para aplicação mais nobre o efluente precisa passar por dimensionamento e estudo qualitativo e quantitativo de parâmetros de qualidade para aplicações em caldeiras, sistemas de carregamento e carregamento de reatores, etc.

O tratamento de efluente utilizando UASB+BAS e BRM, demonstra ser possível reusar o efluente tratado da indústria cervejeira para tais fins, pois com o reuso a uma expectativa de redução de uso de água, visando reduzir custos com a aquisição e despejo de água, e minimizando os impactos ambientais decorrentes destas atividades.

Referências Bibliográficas

-
- ACQUALAB LABORATÓRIO E CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA. Relatórios de ensaio n° 42.908 e 42.909. Jundiaí, 2017.
- ANA, FIESP, SINDUSCON-SP: **Conservação e Reuso de água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.
- ANA. **Água na indústria: Uso e coeficientes técnicos**. Brasília: Agência Nacional de Águas. ANA, 2017.
- ALVES, C. **Tratamento de águas de abastecimento**. 3. ed. Publindústria, 2010.
- ALMEIDA, Rodrigo Gomes. **Aspectos legais para a água de reúso**. *Vértices*, v. 13, n. 2. 2011 p. 31- 44.
- ANDRADE, L. H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reúso**. 2011, 214 f., Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- ARRUDA, C. S. de, ORTIZ, I. G., PACHECO, R. P., & BUENO, R. F.. **Pós-tratamento de efluente cervejeiro com coagulantes naturais**. *InterfacEHS*, v. 10, n. 1, 2015.
- BARBOSA, Laura Araújo Agapito. **Caracterização e análise do processo de tratamento de efluente de cervejaria para potencial reúso - comparação entre uma indústria de grande porte e uma cervejaria artesanal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019.
- BEAL, L. L. **Tratamento anaeróbio de efluente de curtume de acabamento associado a membranas de micro e ultrafiltração**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2004.
- BENNETT, Anthony. **Food & drink: New technologies in feed water and effluent treatment**. *Filtration Separation*, v. 51, n. 3, 2014.
- BOF, V.S.; CASTRO, M.S.M.; GONÇALVES, R.F. **ETE UASB + biofiltro aerado submerso: Desempenho operacional com retorno do lodo aeróbio para o uasb**. In: Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, Rio de Janeiro, 1999.
- BOF, V.S.; SANTANA, T.D.C.; WANKE, R.; SILVA, G.M.; SALIM, F.P.C; NARDOTTO, J.I.O.; NETTO, E.S.; PEGORETTE, J.M. **ETE Compactas Associando Reatores Anaeróbios e Aeróbios Ampliam a Cobertura do Saneamento no Estado do Espírito Santo**. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2001. João Pessoa. Anais. Rio de Janeiro: ABES. 2001.

BRASIL. Decreto n. 6871, de 04 de junho de 2009. Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas Brasília, 2009.

CADORE, R. I. **Efeitos das condições hidrodinâmicas no desempenho do Biorreator com membranas submersas sob pressão constante**. Dissertação de mestrado (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

CERVESIA – **Tecnologia cervejeira. Especificações físico-químicas da água cervejeira**. Disponível em: <<https://www.cervesia.com.br>>. Acesso em 10 de maio de 2021.

CETESB – **Produção Mais Limpa: Redução do consumo de água na indústria de bebida**, 2003. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 10 de junho de 2021.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1997.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

CHOI, H. **Parametric study of brewery wastewater effluent treatment using *Chlorella vulgaris* microalgae**. Departamento de Convergência de Energia e Meio Ambiente, Universidade Católica Kwandong, Coreia, 2016.

CUNHA, Letícia Carolina. **Análise de efluente bruto e proposta de estação de tratamento de efluentes em indústria cervejeira do Vale do Taquari**. Monografia (Engenharia Química) Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, 2019.

EBLINGER, Hans Michael. **Handbook of brewing: process, technology, markets**. 1ª ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Conservação e reuso de água: manual de orientações para o setor industrial**. FIESP, São Paulo – SP, 2005.

FIORI, Simone; FERNANDES, Vera Maria Cartana; PIZZO, Henrique. **Avaliação qualitativa e quantitativa do reuso de águas cinza em edificações**, 2008.

GAUTO, M. A; ROSA, G. R. **Processos e operações industriais da indústria química**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.

GEREMIAS, C. **Dimensionamento de uma microestação de tratamento de efluentes de uma microcervejaria**. 2017. Relatório Técnico/Científico (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T.. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GONÇALVES, R. F. **Estágio atual de desenvolvimento da tecnologia dos biofiltros aerados submersos para o tratamento de águas residuárias**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1995, Salvador. Anais. Salvador: ABES, 1995.

GONÇALVES, R. F., **Aspectos teóricos e práticos do tratamento de esgoto sanitário em biofiltros aerados com leito granular submerso**. In: Seminário Internacional, Belo Horizonte, MG, 6 - 8/03, 1996.

GONÇALVES, R. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE, C. O.; ALEM, P.; KATO, M. T.; COSTA, R. H. R.; AISSE, M. M.. **Pós – tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilmes**. Belo Horizonte, 1. ed. 2001.

GUIMARÃES, J.R.; MANIERO, M. G. **Tratamento de água de efluentes líquidos**. In: André Henrique Rosa; Leonardo Fernandes Fraceto; Viviane Moschini-Carlos (Org.) Meio ambiente e sustentabilidade. 1. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora LTDA, 2012.

HABERT, A. C., BORGES, C. P., NOBREGA, R. **Escola Piloto em Engenharia Química: Processos de Separação com Membranas**. Programa de Engenharia Química, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

HABERT, A.C.; BORGES, P. N. **BR Processos de Separação por Membranas**. Pesquisa de Engenharia (COPPE) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2006.

HESPANHOL, Ivanildo. **Potencial de reúso de água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 7. n. 4. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

JUDD, S.; JEFFERSON, B. **Membranes for industrial wastewater recovery and reuse**. Elsevier, 2003. Disponível em: http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user_upload/Daneshkadaha/behdashtmohit/ebook/Membranes_for_Industrial_Wastewater_Recovery.pdf. Acesso em 20 de maio de 2021.

KIPPER, M. S. **Biorreatores com Membranas: Uma Alternativa para o Tratamento de Efluentes**. 2009. 196 f. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

KUNZE, W. **Tecnología para cerveceros y malteros**. Alemanha: VLB Berlin, 2006.

MACÊDO, J. A. B. **Águas e Águas**. São Paulo: Livraria Varela, 2001.

MACHADO, B. J. F. **Reuso de efluentes em torres de resfriamento – estudo de caso: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro**. 2005. 106 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós- Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Rio de Janeiro, 2005.

MAESTRI, R. S. **Biorreatores a membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reúso da água**. 207. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina; Florianópolis, 2007.

MIERZWA, José Carlos. **O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria estudo de caso da Kodak Brasileira**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2002.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse**. Singapura: McGraw Hill, 2003.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluente de recuperação de recursos**. Tradução de HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C. – 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MIERZWA, J. C., HESPANHOL, I. **Água na Indústria - Uso Racional e Reuso**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

NAVARI, B. **Pós-Tratamento de Efluente de Cervejaria por Ultrafiltração**. 2013, 53 f., Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013.

NETO, H. M. REVISTA TAE. Tratamento de efluentes na Fabricação de Bebidas. 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br>>. Acesso em: 05 de junho de 2021.

OLIVEIRA, Maria Cecília; MAGANHA, Martha Faria Bérnils. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos**. São Paulo: CETESB, 2006.

PEISINO A. L. **Membrana Anisotrópicas densas para remoção de CO₂ e H₂S do gás natural**. 2009. 120f. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro. 2009.

PELLACANI, C. R. **Poluição das águas doces superficiais e responsabilidade civil**. 6ª reimpressão. Curitiba – Paraná: Editora Juruá, 2011.

PESSOA JR, A; KILIKIAN, B. V. **Purificação de produtos tecnológicos**. Barueri, SP: Manole, 2005.

PROVENZI, G. **Biorreator a membrana submersa para o tratamento biológico de efluentes: estudos hidrodinâmicos e físicos-químicos no controle da colmatção**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2005.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. Eficiência do sistema de aeração MBR em indústria de bebidas, 2018. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/eficiencia-sistema-aeracao-mbr/>>. Acesso em 14 de Junho de 2021.

SAUTCHUK, C. A., LANDI, F., MIERZWA, J. C., VIVACQUA, M. C. R., SILVA, M., LANDI, P., & SCHMIDT, W. **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. São Paulo, 2004.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO F. M. **Cervejas e refrigerantes**. São Paulo: CETESB, (Série P+L), 2005. 59 p.

SILVA FILHO, A. **Tratamento terciário de efluente de uma indústria de refrigerantes visando ao reúso: um estudo de caso.** Dissertação de mestrado. Escola de Química/UFRJ, março de 2009.

SILVA, J. O. P. **Reuso de água indústria de curtimento de couros: estudo de caso no Distrito Industrial de Franca – SP.** São Paulo, 2002.

SILVA, Hiury Araújo; LEITE, Maria Alvim; DE PAULA, Arlete Rodrigues Vieira. Cerveja e sociedade. Contextos da Alimentação–Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade, São Paulo: Centro Universitário SENAC, v. 4, n. 2, 2016. p. 85 - 91.

SINDICERV – SINDICADO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA. Produção e Atuação. Disponível em: <http://www.sindicerv.com.br/index.php>. Acesso em 03 de maio de 2021.

RÄDER, A. S. **Estudo Teórico Experimental do Processo de Microfiltração de Partículas de Sílica em Solução Aquosa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2003.

RAULUSAITIS, Gabriel. GESUALDO, Fernando Diogo Vicente. **Desenvolvimento de biorreator para tratamento de efluentes das indústrias cervejeiras.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. 2004, ed. 10, v. 12, p. 91-120. Outubro de 2019.

REINOLD. R. Matthias: **Água: a base para uma boa cerveja.** Beerlife. 2016.

SERGINA, L. **Clarificação de bebidas fermentadas utilizando o processo de microfiltração.** Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

TELLES, D. A, COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas.** 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2007.

VIANA, P. Z. **Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgoto doméstico: avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Rio de Janeiro: COPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2004.

VIDAL, C. M. S. **Avaliação do Microfiltração Tangencial como Alternativa de Tratamento Avançado de efluentes gerado em Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário Constituído de Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) Seguido de Tanque de Aeração.** Tese. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. –Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

VON SPERLING, M. Introdução à **qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Minas Gerais: Editora UFMG, 2017.

WINTGENS, T.; MELIN, T.; SCHÄFER, A. I.; MUSTON, M.; BIXIO, D.; THOEYE, C. The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse, *Desalination*, v. 178, 2005.