



**ALEXANDRE MARRA DA COSTA**

**APLICAÇÃO DE DIFERENTES BIOADSORVENTES NO  
TRATAMENTO DE ÁGUA PARA A FABRICAÇÃO DE  
CERVEJA ARTESANAL**

**LAVRAS – MG  
2019**

**ALEXANDRE MARRA DA COSTA**

**APLICAÇÃO DE DIFERENTES BIOADSORVENTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA  
A FABRICAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia de  
Alimentos da Universidade Federal de  
Lavras como pré-requisito para a obtenção  
do Título de Bacharel em Engenharia de  
Alimentos.

Prof.(a) Dr.(a) Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo  
Orientadora

Enga. Larissa Carolina de Moraes  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2019**

**ALEXANDRE MARRA DA COSTA**

**APLICAÇÃO DE DIFERENTES BIOADSORVENTES NO TRATAMENTO DE  
ÁGUA PARA A FABRICAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL**

**APPLICATION OF DIFFERENT BIOADSORVENTS IN THE WATER  
TREATMENT FOR THE MANUFACTURE OF ARTISANAL BEER**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Alimentos para obtenção do título de Bacharel.

APRESENTADO em 28 de junho de 2019

Dra. Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo UFLA

Enga. Larissa Carolina de Moraes UFLA

Dr. Alexandre de Paula Peres UFLA

**LAVRAS - MG  
2019**

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, por ter me concedido saúde, perseverança, e tudo o que foi suficiente para eu poder vencer as barreiras impostas em minha vida.

À minha família, especialmente minha mãe por toda paciência, dedicação, conselho, amor. Ao meu pai e avó que mesmo não estando presentes, me deram todo suporte quando precisei.

A minha irmã Fernanda, por todo incentivo e ajuda.

As minhas tias Sônia e Cleonice por toda ajuda e apoio em vários momentos.

A minha orientadora/professora Lizzy, por toda contribuição, dedicação e pela amizade, conselhos dados, pelo estágio e por me incentivar em tudo.

A Larissa por ter aceitado ser minha coorientadora e por me inspirar e ajudar sempre que precisei. Ao professor Alexandre por todo ensinamento.

A Ana Cristina por me dar apoio, me manter calmo e pelas orientações.

A dona Creuza, Tina, Eliane, Natasha, Marcos que foram essenciais para realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras que me proporcionou trabalho e estudo, e pelo incentivo a essa graduação. E a todos os amigos que estiveram comigo nessa caminhada durante toda minha graduação e em especial a todos que moraram comigo, fiz vários irmãos ao longo desses anos.

Aos docentes do curso de Engenharia de Alimentos, pelo conhecimento e experiências compartilhados.

A todos os amigos do Laboratório de Separações e Purificações de Biomoléculas (LSPB), especialmente Giovanni e Isabelle, por toda contribuição.

Aos amigos Daniel B., Daniel, Marcell, Marcela, Luiza Z., Delorme, e Raphael que contribuíram muito para que esse TCC acontecesse.

Às entidades que fiz parte: CAEAL que me deu a primeira oportunidade de atividade extracurricular, ao NEL por todo aprendizado e ao NEEB que foi sem dúvida a minha maior experiência nesses longos anos de UFLA. E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

A qualidade da água utilizada na produção de bebidas é de extrema importância, pois influencia diretamente nas características sensoriais finais do produto, em especial, na cerveja. Um dos tratamentos empregados para a melhoria da qualidade físico-química e microbiológica da água é a operação de adsorção. Na literatura são reportados diversos estudos sobre o tratamento da água cervejeira, bem como a utilização de resíduos agroindustriais para a produção de bioadsorventes para o tratamento de água. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes bioadsorventes derivados de resíduos agroindustriais na adsorção de minerais (cloretos, ferro, manganês, cloro residual livre) e compostos orgânicos (dureza, alcalinidade e acidez) presentes em água utilizada na produção de cerveja artesanal. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). De acordo com a ANOVA, após o processo adsorativo houve uma redução significativa ( $p<0,05$ ) no conteúdo de alcalinidade, pH e cloretos, enquanto foi observado um aumento ( $p<0,05$ ) nos resultados da acidez. Com isso, pode-se comprovar que a utilização de bioadsorventes para o tratamento da água é uma alternativa capaz de reduzir a alcalinidade e o teor de cloreto em água potável, sendo assim um material promissor a ser empregado nos processos adsorativos. O bioadsorvente produzido a partir de casca de laranja foi o mais eficiente para o tratamento da água potável.

**Palavras-chave:** Adsorção. Minerais. Bioadsorventes. Potabilidade. Carvão Ativado. Casca de Laranja. Bagaço de Laranja.

## ABSTRACT

The quality of the water used in the production of beverages is extremely important, as it directly influences the final sensorial characteristics of the product, especially in beer. One of the treatments used to improve the physical-chemical and microbiological quality of water is the adsorption operation. In the literature are reported several studies on the treatment of brew water, as well as the use of agroindustrial residues for the production of bioadsorbents for the treatment of water. The objective of this work was to evaluate the performance of different bioadhesives derived from agroindustrial residues in the adsorption of minerals (chlorides, iron, manganese, free residual chlorine) and organic compounds (hardness, alkalinity and acidity). The results were submitted to analysis of variance (ANOVA) and the means were compared by the Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ). According to ANOVA, there was a significant reduction ( $p < 0.05$ ) in the alkalinity, pH and chlorides content after the adsorption process, while an increase ( $p < 0.05$ ) in the acidity results was observed. Thus, it can be demonstrated that the use of bioadsorbents for the treatment of water is an alternative able to reduce the alkalinity and the chloride content in drinking water, thus being a promising material to be used in the adsorption processes. The bioadhesive produced from orange peel was the most efficient for the treatment of drinking water.

**Keywords:** Adsorptions. Minerals. Bioadsorbents. Potability. Activated Carbon. Orange Peel and Orange Bagasse.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivos Específicos	11
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>12</b>
3.1	Cerveja	12
3.1.1	Qualidade da água cervejeira	14
3.2	Tratamento de água	16
3.2.1	Parâmetros de potabilidade da água	18
3.3	Adsorção	19
3.3.1	Bioadsorventes	20
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>22</b>
4.1	Preparo dos bioadsorventes	22
4.1.1	Preparo do carvão ativado	22
4.1.2	Preparo da casca de laranja	22
4.2	Ensaio de adsorção	23
4.3	Análises físico-químicas	23
4.3.1	Análise de acidez total	23
4.3.2	Análise de alcalinidade total	24
4.3.3	Análise de pH	24
4.3.4	Análise de ferro total	24
4.3.5	Análise de manganês total	25
4.3.6	Análise de cloreto	25
4.3.7	Análise de cloro residual livre	25
4.3.8	Análise de dureza	25
4.4	Delineamento experimental e análises estatísticas	26
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em termos globais, o Brasil apresenta uma quantidade significativa de recursos hídricos. Estima-se que o país possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Contudo, a distribuição natural desse recurso é irregular entre as regiões do território brasileiro. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), a região Norte concentra aproximadamente 80% da quantidade de água disponível, mas representa apenas 5% da população brasileira. Já as regiões próximas ao Oceano Atlântico possuem mais de 45% da população, porém, menos de 3% dos recursos hídricos do país (ANA, 2019). Todavia, a desigualdade na distribuição da água não é um problema exclusivo do Brasil. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura (UNESCO, 2003), existe uma distribuição espaço-temporal de água irregular em diversas áreas do globo terrestre, produzindo uma crise hídrica com efeitos distintos em cada uma dessas áreas, sem, no entanto, gerar uma escassez de água a nível global. O crescimento elevado das indústrias e o aumento populacional são fatores que causam o uso exorbitante e descontrolado da água, podendo levar a um grande problema socioambiental, tornando-se um dos maiores e mais graves que será enfrentado neste século (ANDRADE JÚNIOR; SILVA A.; SILVA D., 2016; BACCI; PATACA, 2008).

No setor industrial, a água se revela como um insumo de extrema importância, já que está presente em grande parte das operações e processos realizados. Após seu uso a água se torna um efluente que, se despejado de forma errada, torna-se prejudicial ao meio ambiente. Como consequência cresce o número de indústrias que tem adotado seu uso de forma racional e feito um gerenciamento melhor desses recursos hídricos (GERBENS-LEENES; HOEKSTRA, 2008).

Para a indústria cervejeira, a água ganha um papel de destaque, por ser a matéria-prima presente em maior quantidade na composição da cerveja, com aproximadamente 92 a 95% de seu peso total (VENTURINI FILHO, 2016). A água é utilizada na limpeza de garrafas, latas e equipamentos e também na produção da bebida, como na fervura do mosto, na pré-umidificação do malte, na diluição de matéria prima, lavagem do bagaço, na filtração do mosto (BAMFORTH, 2003). Diante disso, as indústrias cervejeiras tendem a se instalar próximas a regiões que tenham um volume uniforme e de boa qualidade da água (VENTURINI FILHO; CEREDA, 2001).

A água tem uma influência direta no produto final, alguns minerais presentes na água podem facilmente ser notado, como o ferro e o manganês. O ferro confere o *flavour* (sabor)

metálico à água e pode ser percebido mesmo em pequenas concentrações, com um mínimo de 0,17 mg.L<sup>-1</sup> (WANG; DUNCAN; DIETRICH, 2016). O ferro juntamente com o manganês presentes na água podem conferir um gosto amargo, ocasionar escurecimento e turbidez às cervejas (SANTOS FILHO, 1985).

Uma das formas de se eliminar os metais da água é através da operação de adsorção (LI et al., 2014). A adsorção é uma operação unitária que envolve a transferência de massa entre um ou mais compostos presentes na fase fluida (líquido ou gás) e uma superfície de um adsorvente sólido (GEANKOPLIS; HERSEL; LEPEK, 2018).

O Brasil é um dos maiores responsáveis pela safra mundial de laranja, chegando a 18 milhões de toneladas, ou seja cerca de 30% do mercado. De acordo com Fiorentin et al. (2010), esses resíduos de laranja causam vários problemas ambientais e econômicos, principalmente devido à sua fermentação.

Sendo assim, diversas pesquisas têm apontado o uso de resíduos agroindustriais como materiais alternativos, sustentáveis e de baixo custo para a síntese de adsorventes no tratamento de água e efluentes (PEREIRA et al., 2008). Como exemplo, destacam-se os trabalhos de Macêdo (2012) e Schettino Jr. (2007), que produziram adsorventes utilizando resíduos de laranja e banana respectivamente. Moreira (2010) produziu bioadsorventes a partir de cascas de nozes pecã moídas (*Carya illinoensis*) para uso na adsorção de metais pesados presentes na água de um efluente industrial gerado pela galvanização, por níquel. Orlando Jr. (2010) utilizou caroço de açaí e casca de cupuaçu para a produção de carvão ativado, visando a adsorção de metais em água de efluentes industriais.

O carvão ativado é o principal exemplo de bioadsorvente empregado no tratamento e purificação de águas residuais e efluentes (LIMA et al., 2018). Este é obtido através da desidratação e carbonização de material precursor, seguido de ativação química. A metodologia de síntese dos carvões ativados pode influenciar em suas características finais (DURAL et al., 2011; BHATNAGAR e SILLANPAA, 2010). Resíduos agroindustriais como mesocarpo do coco verde, bagaço de cana-de-açúcar, palha/casca de café e casca de banana foram empregados como material precursor da síntese de carvão ativado (SANTOS et al., 2007). Grãos defeituosos de café também foram utilizados na produção de carvão ativado (FRANCA et al., 2010).

De acordo com o Ministério da Agricultura, juntamente com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), a safra nacional de café em 2018 teve a maior produção da sua história. Dos quase 60 milhões de sacas de café beneficiados, cerca de 20% dessa produção total representa os grãos defeituosos (CONAB, 2018). Esse elevado número de resíduos

agroindustriais gerados, apresentam um potencial de uso como matéria-prima precursora na síntese de bioadsorventes possibilitando não só o seu uso nos processos de tratamento da água, mas também permitindo uma destinação adequada para tais resíduos (BHATNAGAR; SILLANPAA, 2010).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o potencial de diferentes bioadsorventes produzidos a partir de grãos defeituosos de café preto, verde e ardido (PVA) e casca ou bagaço de laranja, para o tratamento de água cervejeira.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Produzir carvão ativado a partir do resíduo de grãos defeituosos do café preto, verde e ardido (PVA);
- Produzir adsorvente a partir de casca e bagaço de laranja modificados quimicamente;
- Avaliar o desempenho dos dois bioadsorventes no tratamento de água cervejeira.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Cerveja

De acordo com o Decreto nº. 6871 de 4 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA), que regulamenta a Lei nº 8.918 de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, Art. 36, cerveja “é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo” (BRASIL, 2009).

A cerveja é uma das mais antigas e conhecidas bebidas alcoólicas no mundo. No Brasil, o hábito de tomar cerveja foi trazido por D. João VI, no início do século XIX, durante a permanência da família real portuguesa em território brasileiro. A cerveja consumida nessa época provinha dos países europeus (VENTURINI FILHO; CEREDA, 2001).

O Brasil hoje tem a maior empresa cervejeira do mundo, a AmBev, que está inserida no grupo da AB InBev, com grande parte da produção no mercado mundial de cervejas (DALLACORT, 2013).

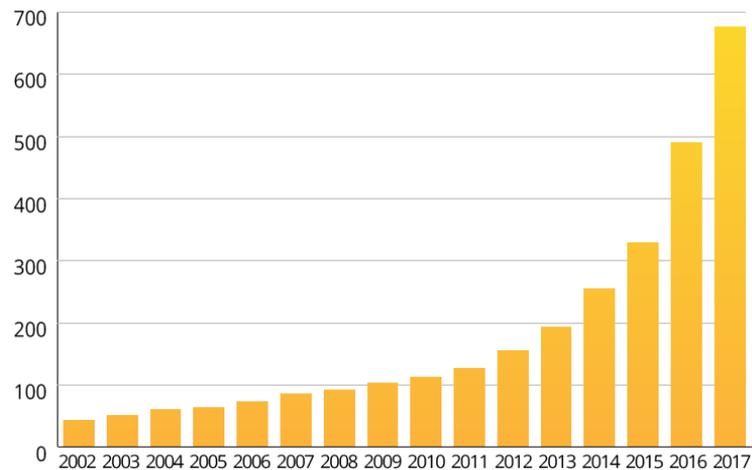
De acordo com a Mintel (2018), o mercado de consumidores de cervejas está cada vez mais sofisticado, priorizando a qualidade do produto ao invés da quantidade. Uma nova pesquisa revela que 57% dos consumidores preferem beber pequenas quantidades de cervejas com um preço mais alto. Esse fator pode ser percebido entre os consumidores com um poder aquisitivo maior. A pesquisa também mostra que no grupo socioeconômico AB mais de dois terços dos consumidores, aproximadamente 70% preferem priorizar a qualidade em comparação com aproximadamente 50% ao grupo socioeconômico C12.

O volume consumido no ano de 2017 foi de 10,3 bilhões consumidos e espera-se que no ano de 2018 esse cresça para 10,41 bilhões de litros de cervejas consumidas. No entanto, tem-se influências pelas incertezas políticas e econômicas que vive o Brasil, além disso o brasileiro tem se preocupado muito com a saúde (MINTEL, 2018).

Segundo a Revista da Cerveja (2018) o Brasil é o 2º país mais inovador do mercado de cervejas artesanais, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Os americanos possuem 17% de todos os lançamentos mundiais, enquanto o Brasil fica com 9% desses lançamentos.

Na Figura 1, são apresentadas informações acerca do número de cervejarias cadastradas e regulamentadas no território brasileiro, ao longo dos últimos anos (MAPA, 2017). Esse número chega a quase 700 cervejarias instaladas (sendo 83% delas localizadas entre o Sul e Sudeste do país), com quase 9 mil produtos entre chopes e cervejas.

Figura 1 - Gráfico com os resultados do número de Cervejarias registradas no Brasil no ano de 2002 a 2017.



Fonte: Ministério da Agricultura Pecuária e estabelecimento (BRASIL, 2017).

Na fabricação de cerveja, a cevada é a matéria-prima responsável pelo teor de amido, presença de proteínas na proporção ideal em relação ao amido e presença de enzimas que podem estar ativas ou serem ativadas para a quebra de moléculas de interesse (BANFORTH, 2003).

O malte é o constituinte da fonte de carboidrato da bebida. Este confere o sabor, a cor e atua na formação de espuma do produto. Também possui enzimas que ajudam na quebra das grandes cadeias de polímeros, sendo os amidos e as proteínas presentes no ingrediente e que dá origem aos açúcares fermentescíveis e dextrinas que resultarão no “corpo” e dulçor da cerveja (LEWIS; YOUNG, 2002). Segundo o Decreto nº 2.314. de 4 de setembro de 1997 parte do malte de cevada pode ser substituído por cereais maltados ou não, como o arroz, o trigo, o centeio, o milho, a aveia e o sorgo, todos integrais, em flocos ou na sua parte amilácea, e por carboidratos de origem vegetal, transformados ou não” (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA, 1997).

Lúpulo são cones de *Humulus lupulus* que permitem melhor conservação da cerveja e confere o amargor e aroma da cerveja. O lúpulo também tem a função essencial durante a fervura de evitar o “espumamento” (BRIGIDO; NETTO, 2006). De acordo com Almaguer et al. (2014) quase 100% de toda produção de lúpulo é voltada para a produção de cervejas, chopes e a forma mais comum desse insumo, é na forma de pellets. O lúpulo é o terceiro insumo a ser utilizado na formulação de cerveja, além de água e malte. Alguns lúpulos dependendo de sua variedade podem conferir à cerveja o amargor, aroma ou ambos os atributos. Cabe ao mestre cervejeiro saber usar esse ingrediente para cada tipo de cerveja que ele deseja produzir

(MORADO, 2009). Cada cerveja pode utilizar até mais de um tipo de lúpulo, para se conseguir um sabor adequado à bebida (GEANESINI, 2010).

A transformação de açúcar em álcool é feita por leveduras da espécie *Sccharomyces cerevisae*, que realizam a fermentação alcoólica. Para que essa fermentação ocorra da melhor maneira possível, é importante que se misture ao mosto uma quantidade satisfatória de fermento, e que este consiga converter os açúcares presente no meio em álcool e gás carbônico (YOKOYA, 1995). Segundo Eblinger e Narzib (2012), o pH da cerveja deve variar entre 4,3 e 4,6, mas durante a fermentação o pH acaba decaindo pelo menos em uma unidade, devido aos ácidos orgânicos produzidos no processo.

Dos ingredientes utilizados na produção de cerveja, a água é o principal, pois ela ultrapassa os 92% do total dos constituintes, e são utilizados em média 12 litros de água para cada litro de cerveja produzida em todo processo de fabricação (VENTURINI FILHO, 2016).

### 3.1.1 Qualidade da Água Cervejeira

A água para produção de cerveja, também denominada de água cervejeira, deve ser inodora, insípida e incolor e livre de impurezas, filtrada e fervida para remoção de cloro, inócua e livre de contaminantes (REBELLO, 2009; VIEIRA, 2009).

Toda a água natural possui presente em sua composição diversos íons (advindos do solo e estão presentes na composição da água, como cálcio, magnésio, entre outros) e gás ( $\text{CO}_2$  dissolvidos no ar). Também são encontrados carbonato, sulfato e cloreto que dissolvidos na água provocam gosto e alteração na cor da cerveja podendo inclusive contribuir para redução da vida útil de tubulações e equipamentos de produção (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI, 2014). Dessa forma, deve-se usar uma água de ótima qualidade e que atenda aos padrões de potabilidade da legislação vigente de cada país em que é fabricada a cerveja (SENAI, 2014).

Algumas tecnologias possibilitam a obtenção de água com teores de pureza e minerais ajustados para cada tipo de cerveja (ANDRADE; MEGA; NEVES, 2011). Segundo Morado (2009), esses recursos tecnológicos possibilitam “regular” as propriedades da água de acordo com as formulações e necessidades durante o processo, podendo assim acentuar o amargor pela alta concentração de cálcio, magnésio e sulfatos na água e sabores maltados.

A dureza da água se dá pela presença de todos os sais de cálcio e de magnésio, está associada a cervejas amargas. Para a cerveja do tipo Pilsen, por exemplo, é utilizada uma água que seja “mole”, ou seja, pobre em magnésio e cálcio, pois a dureza em excesso pode

provocar problemas sensoriais e conferir gosto salgado na bebida (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI, 2014).

O pH da água utilizada é de extrema importância, pois um pH alcalino pode dissolver materiais presentes no malte e nas cascas do mesmo ou de adjuntos que não são desejados durante o processo. Por outro lado, um pH ácido torna mais fácil a atividade enzimática do grão, com isso aumentando o rendimento de maltose e consequentemente elevando o teor alcoólico (AMBEV, 2011 apud OLIVEIRA, 2011).

A alcalinidade é resultante da presença de carbonatos ( $\text{CO}_3$ ) e bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ) no meio e tem a capacidade de amortecer os ânions em solução e aumentar o pH do mosto cervejeiro. É determinada por medição da quantidade de ácido necessário para neutralizar esses bicarbonatos. A alcalinidade pode influenciar na cerveja, alterando sua cor, na inibição de enzimas, reduzindo o crescimento das leveduras (e retardando a fermentação), aumentando o amargor e a turbidez (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI, 2014). A água para cerveja deve ter níveis de carbonato menor que  $75 \text{ mg.L}^{-1}$ , e de preferência que seja menor que  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  para as cervejas mais claras tipo pilsens e light largers, variando de acordo com o estilo da cerveja desejada (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI, 2014). Os cloretos influenciam no que se chama de *mouthfeel* (sensação de paladar cheio) e fornece a doçura à cerveja (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI, 2014). Na tabela 1 estão indicados os parâmetros de água analisados e o que pode vir a influenciar na cerveja.

Tabela 1 – Influência dos parâmetros presentes na água para a cerveja.

<b>Parâmetro</b>	<b>Influência na cerveja</b>
pH alcalino	Dissolver materiais presentes no malte e adjuntos cervejeiros
pH ácido	Ajuda na atividade enzimática do grão, aumenta rendimento
Alcalinidade	Em altas concentrações aumenta pH, atrapalha o crescimento das leveduras, muda cor, inibe enzimas, diminui a vida útil do produto final
Cloro residual livre	Agente desinfetante, evita contaminação por microorganismos
Dureza	Pode conferir amargor
Cloreto	Aumenta a percepção de maltado/ doçura (sensação de fullness) presente na cerveja
Ferro	Altera gosto e cor
Manganês	Altera gosto e cor

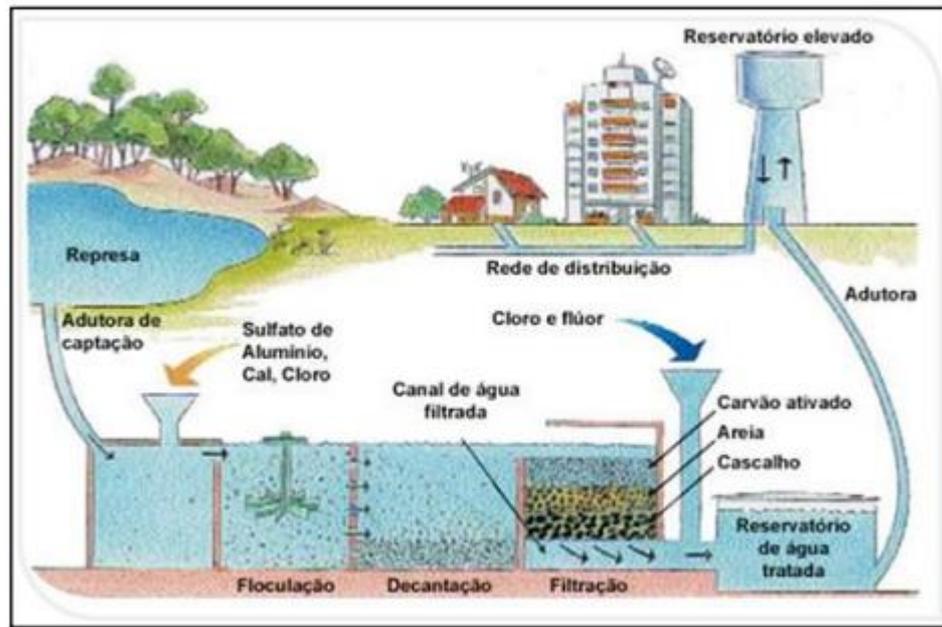
\*Fonte: SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI, (2014).

### 3.2 Tratamento de água

O tratamento de água tem sido um desafio com o crescimento urbano, seja ele por dificuldades de área na instalação de sistemas de tratamento, ou devido a degradação de mananciais disponíveis, ou ainda devido a uma má área de distribuição de água. Sendo assim tem-se buscado alternativas que possam garantir a qualidade da água produzida para abastecer as indústrias (MACÊDO, 2004).

O sistema de tratamento de água convencional é composto de uma adutora, floculadores, decantadores, filtros e reservatórios e é denominado convencional por ser encontrado na maioria das estações de tratamento de água. A água passa por processos como a floculação, decantação, filtração, correção do pH, desinfecção por cloração e fluoretação, antes de ser distribuída para toda a população (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE, 2016). Na figura 2, mostra um esquema de tratamento convencional de tratamento de água.

Figura 2 – Esquema representativo de uma estação de tratamento convencional de água.



Fonte: ABAL, (2011).

Dentre os processos mais avançados de tratamento de água, destacam-se a micro, a ultra, a nanofiltração, além da osmose reversa, que utiliza a pressão hidráulica como força motriz, fazendo assim a separação da água e seus poluentes. Os processos com maior eficiência em relação a remoção de seus contaminantes são a osmose reversa e nanofiltração, contudo tais processos envolvem um elevado consumo de energia e custo operacional o que inviabiliza sua utilização em larga escala (MIERZWA; ESPANHOL, 2005).

A nanofiltração pode ser chamada de “osmose reversa de baixa pressão”. Esta pode ser compreendida entre a ultrafiltração e a osmose reversa, em termos de processo e seletividade. É indicada para o abrandamento de água, principalmente para a remoção de íons como cálcio e magnésio (MANCUSO, 2003).

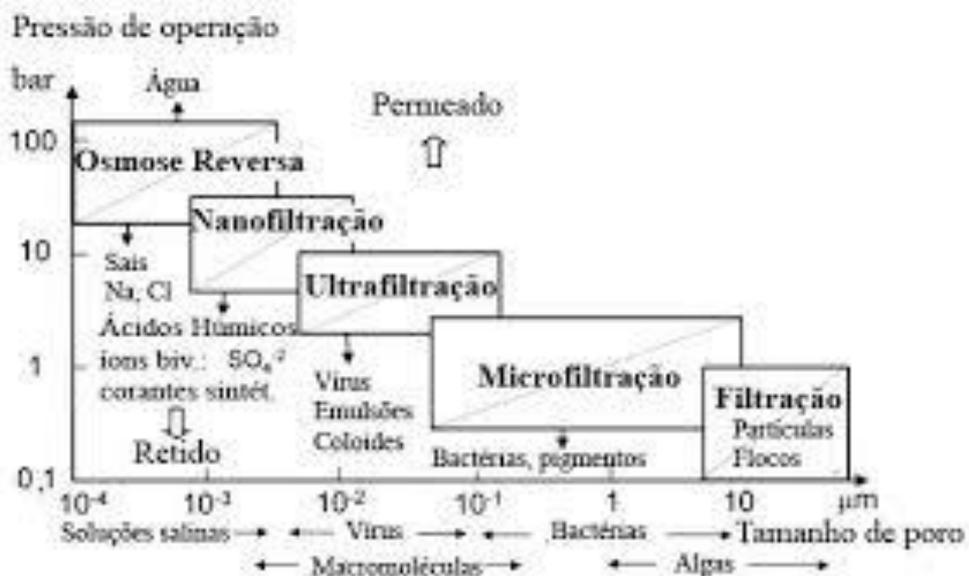
A microfiltração é um conjunto de membranas com porosidade mais elevada em relação a ultrafiltração, o diâmetro dos poros pode variar de 0,1 a 3  $\mu\text{m}$ . Para o processo acontecer precisa de uma pressão menor que a de ultrafiltração, podendo remover agentes complexantes de alta massa molecular e coloides (MIERZWA; ESPANHOL, 2004).

No processo da ultrafiltração, as membranas apresentam um diâmetro de poro bem pequeno, podendo ser menor que 1  $\mu\text{m}$ , e com isso, a pressão exercida para que se tenha um bom fluxo de permeado é maior que a do processo de microfiltração. Para alguns autores esse

processo de filtração é considerada uma operação de clarificação ou desinfecção por membranas (MIERZWA; ESPANHOL, 2004).

A osmose reversa é bem parecida com a osmose natural, o solvente passa de um meio menos para um meio mais concentrado através de uma membrana que permite essa passagem e separa as duas soluções. O fluxo ocorre até que haja o equilíbrio osmótico. Anteriormente essa operação era realizada apenas para remoção de sal da água, porém hoje ela também faz parte de vários processos e aplicação nas indústrias, com o propósito de redução de energia e água. A aplicação da osmose reversa é feita de forma em que se aplica uma pressão hidráulica superior à pressão osmótica de equilíbrio que é aplicada do lado da solução que contém a maior concentração. A água passa do meio mais concentrado para o mais diluído ou menos concentrado (MIERZWA; ESPANHOL, 2004). Na figura 3 estão representados de um modo esquemático, os principais processos de separação por membrana que utilizam a diferença de pressão através da membrana para fazer a separação de partículas da água.

Figura 3 – Esquema de processos de separação por membranas de acordo com a pressão e massa molar.



Fonte: adaptado de Siegrist e Joss (2004)

### 3.2.1 Parâmetros de potabilidade da água

Segundo Von Sperling (2007), “a qualidade de uma água está determinada por fenômenos naturais e antrópicos exercidos na bacia hidrográfica”.

O Anexo XX da Portaria de Consolidação n° 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017). Os parâmetros de potabilidade de água são definidos em limites aceitáveis das substâncias presentes de acordo com o uso da água (BRASIL, 2017).

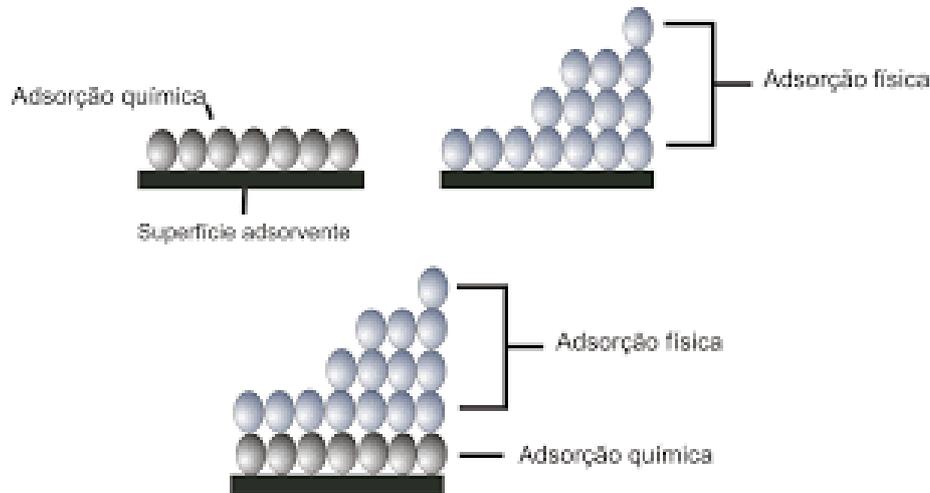
Alguns parâmetros são extremamente importantes para se caracterizar uma água potável, como por exemplo: cor, gosto, odor, pH, acidez, alcalinidade, dureza, cloretos, ferro e manganês. No caso da cerveja esses fatores também influenciam e alteram o produto final.

### 3.3 Adsorção

A adsorção é um fenômeno físico-químico de superfície, no qual acontece a separação seletiva de uma ou mais partículas que estão presentes em um fluido, sendo o fluido líquido ou gasoso, acumulando sobre a superfície de um sólido (MOHAN; PITTMAN JR, 2006). O adsorvato é o composto de interesse, que irá interagir com a superfície do adsorvente (sólido). A remoção dessas partículas que ficam na superfície sólida é denominada de dessorção. O processo de dessorção pode ser iniciado, por exemplo, por variações no pH e na força iônica do meio (VERAS, 2006).

O fenômeno da adsorção pode ser classificado de duas maneiras, como química ou física. A adsorção química acontece quando elétrons são transferidos entre a superfície do adsorvente com o adsorvato, com isso, forma-se ligação química entre eles sob a forma mais intensa. Já na adsorção física, as forças entre a superfície do adsorvente e o adsorvato envolvem interações intermoleculares mais fracas como as forças de *Van der Waals* (MACÊDO, 2012). Na figura 4, representa um esquema da interação do adsorvente com o adsorvato, tanto para a adsorção química quanto para a adsorção física.

Figura 4 – Representação esquemática para a interação de adsorventes e adsorvatos, segundo processo de adsorção química e física.



Fonte: GUIMARÃES, (2015).

### 3.3.1 Bioadsorventes

Bioadsorventes são adsorventes produzidos a partir de materiais naturais ou biomassas, sendo esses provindos principalmente de resíduos da agroindústria. Apresentam-se como materiais alternativos e de baixo custo para o tratamento de água e efluentes e representam destino final de menor impacto ambiental para esses resíduos (SILVA; TARANTO, 2000; FAGUNDES, 2007).

Alguns resíduos agroindustriais como bagaço da cana, casca de arroz e espiga de milho, coco babaçu e o coco verde foram utilizados como materiais precursores para a produção de bioadsorventes (SANTOS; ALSINA; SILVA, 2003).

Os carvões ativados são produzidos basicamente pela carbonização de materiais ricos em carbonos (como biomassas e resíduos agroindustriais). Inicialmente, o material precursor sofre uma pré-ativação e desidratação simultaneamente, seguido de carbonização até a obtenção do carvão ativado (SANTOS; ALSINA; SILVA, 2003). Os bioadsorventes, em especial os carvões ativados, devem apresentar grande área de superfície e grande volume de poros, sítios ativos e serão capazes de atuarem como adsorventes (TARLEY; ARRUDA, 2003).

Alguns materiais precursores como casca de banana (CAVALCANTE, 2015; CARVALHO et al., 2015; HAZZAA; HUSSIEN, 2015) e resíduo de soja (MITTAL, A.; GAJBE; MITTAL, J, 2008; ARAMI et al., 2006) foram alvos de pesquisas para avaliar a transformação de resíduos agrícolas em carvão ativado como adsorventes de baixo custo,

elevada porosidade e eficiência no tratamento de água e efluentes (ALIKARAMI et al., 2013; ZHENG; WANG, 2013; ANUSHA, 2014).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Separações e Purificações de Biomoléculas - DCA 17, do Departamento de Ciências dos Alimentos (DCA) da Universidade Federal de Lavras – UFLA. As amostras de água foram coletadas da torneira de uma cervejaria artesanal situada da cidade de Lavras/MG.

A água coletada é distribuída pela COPASA e ao chegar no local do empreendimento permanece armazenada em caixa d'água.

As amostras foram coletadas semanalmente, durante o mês de novembro de 2016. Os frascos para coleta da água foram esterilizados por aquecimento. As amostras de água foram submetidas primeiramente às análises físico químicas para verificação de sua qualidade no ponto de distribuição.

Em seguida, as amostras foram submetidas a ensaios de adsorção utilizando os bioadsorventes produzidos a partir de grãos defeituosos do café ou casca e bagaço de laranja.

### **4.1 Preparo dos bioadsorventes**

#### **4.1.1 Preparo do carvão ativado**

Pellets de grãos defeituosos do café foram gentilmente cedidos pelo Pólo de Excelência do Café da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Os pellets foram triturados e colocados em cadinhos de porcelana, aos quais foram adicionados ácido fosfórico 85%, em uma proporção de 3:1 (ácido: precursor), seguindo de secagem em estufa a 80 °C por 24 horas. As amostras secas foram então levadas para carbonização em forno mufla, a 500 °C por 1 hora, sob atmosfera ambiente. Os carvões obtidos foram lavados com água destilada, até que o pH da água de lavagem atingisse valores próximos à neutralidade. Posteriormente os carvões foram triturados e secos em estufa a 105 °C por 24 horas (PEREIRA, 2014).

#### **4.1.2 Preparo da casca de laranja**

As cascas de laranja foram gentilmente cedidas por lanchonetes situadas na cidade de Lavras – MG. Foi feita uma limpeza no material precursor (cascas e bagaços de laranja) utilizando água destilada e então o material foi colocado na estufa a 60 °C por 72 horas para que ocorresse a secagem completa do material. Em seguida, as amostras secas foram moídas. A ativação do adsorvente foi realizada adicionando a solução de ácido fosfórico 0,1 mol.L<sup>-1</sup> às cascas, numa proporção 9:1 (solução: casca/bagaço), sendo a suspensão mantida sob agitação

durante 1 hora a 40 °C, seguida de filtração. As cascas foram então lavadas com água destilada para a remoção do ácido residual até que o pH da água atingisse a neutralidade. Posteriormente, os bioadsorventes foram secos em estufa a 105 °C por 24 h (REIS et al., 2005).

## 4.2 Ensaio de adsorção

Os ensaios de adsorção foram realizados em tubos de Falcon adicionando-se 0,05 g do bioadsorvente (carvão ativado de grãos defeituosos de café ou bioadsorventes de casca e bagaço de laranja) e 50 mL da água coletada na cervejaria artesanal. Os tubos foram deixados sob agitação de 50 rpm por um período 24 h a 25 °C. Em seguida, procederam-se à centrifugação das amostras (1428xg, por 10 minutos). Após esse período, o sobrenadante foi recolhido e filtrado para remoção das partículas de em suspensão. A água filtrada foi submetida às análises físico-químicas. Os ensaios de adsorção foram realizados em duas repetições ().

## 4.3 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas (cloretos, cloro residual livre, dureza total, ferro total e manganês total) foram realizadas no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia – LADEQ, da Universidade Federal de Lavras – UFLA. As análises de pH, acidez total e alcalinidade total foram realizadas no Laboratório de Separações e Purificações de Biomoléculas - DCA 17, do Departamento de Ciências dos Alimentos (DCA), da Universidade Federal de Lavras – UFLA. As análises foram realizadas em duas repetições, segundo as diretrizes do Manual Prático de Análise de Água da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (BRASIL, 2013) e do Standard Methods for the examination of water and waste water da Associação Americana de Saúde Pública \_ American Public Health Association (APHA, 1996).

### 4.3.1 Análise de acidez total

A análise de acidez total foi realizada de acordo com o Manual Prático de Análise de Água da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (BRASIL, 2013). Em um Erlenmeyer, tomou-se 100 mL da amostra (sem agitar) e adicionaram-se 10 gotas de fenolftaleína. As amostras foram tituladas com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,02 N até o aparecimento da coloração rósea (ponto de viragem). O conteúdo de acidez (A), expresso em CO<sub>2</sub> livre (mg/L) foi determinado segundo a Equação 1, em que  $F_c$  é o fator de correção para a solução de NaOH e V é o volume (mL) de NaOH gasto na titulação.

$$A = V \times 10 \times F_c \quad (1)$$

Para calcular o cálculo do conteúdo de CO<sub>2</sub> total aplicou-se a Equação (2):

$$\text{Acidez total (mg/L de CO}_2) = A + 0,44 \times (2B + C) \quad (2)$$

Em que A é o conteúdo de acidez, expresso em mg.L<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> livre; B é a alcalinidade devido a bicarbonato e C é a alcalinidade devida a carbonato.

#### 4.3.2 Análise de alcalinidade total

A alcalinidade total foi determinada de acordo com o Manual Prático de Análise de Água da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (BRASIL, 2013). Amostras de 100 mL de água foram adicionadas a erlenmeyers de 250 mL, aos quais pipetou-se 0,05 mL (1 gota) da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N. Posteriormente adicionaram-se às amostras 3 a 5 gotas de fenolftaleína, seguido de titulação com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02 N até o desaparecimento da cor rósea formada. A alcalinidade total (expressa em mg/L de CaCO<sub>3</sub>) foi calculada segundo a Equação 3, em que V é o volume (mL) da amostra, f é o fator de correção da solução titulante (em mL) e V<sub>t</sub> é o volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gasto na titulação.

$$\text{Alcalinidade} = \frac{V_t \times 0,02 \times f \times 1000}{V} \quad (3)$$

#### 4.3.3 Análise de pH

A análise de pH também foi realizada de acordo com o Manual Prático de Análise de Água da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (BRASIL, 2013). O potenciômetro foi devidamente ligado e calibrado com as soluções padrão de pH 4 e 7.

#### 4.3.4 Análise de ferro total

Em um erlenmeyer foram colocados 50 mL da amostra, enquanto que em outros erlenmeyers foram preparados padrões adicionando-se à água 1, 2, 3, 4 ou 5 mL de solução padrão de ferro. A concentração final das soluções padrão de ferro corresponderam a 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 ppm de ferro. Em todos os erlenmeyers (amostra e padrão) foram adicionados 5 mL de ácido nítrico 6 N, seguido de aquecimento durante 10 minutos, a partir do início da fervura. Posteriormente, foram adicionadas 3 gotas de permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) 0,2 N, seguido de agitação. As amostras foram resfriadas e seu volume foi completado para 100 mL, utilizando-se água deionizada. Comparou-se a cor da amostra com as cores das soluções padrão e, havendo coincidência de cor, obtém-se o resultado aproximado do conteúdo de ferro (em ppm) presente na amostra (APHA, 1996).

#### 4.3.5 Análise de manganês total

Um volume de 100 mL de amostra foi adicionado a um erlenmeyer de 250 mL, seguindo da adição de 5 mL de solução de manganês ( $\text{MnSO}_4$ ). Em outros 5 erlenmeyers de 250 mL foram preparadas soluções padrão de manganês com concentrações variáveis de 0,1 a 0,5 ppm, utilizando de água deionizada.

As amostras foram fervidas até a redução de seus volumes para 90 mL. Depois, adicionou-se às amostras 1 g de persulfato de amônio e seguido de fervura durante 4 minutos. Após o resfriamento das amostras, os seus conteúdos foram transferidos para tubos de Nessler de 100 mL e seus volumes foram completados com água destilada. A determinação do conteúdo de manganês total foi realizada por comparação entre a coloração apresentada pelas amostras com as das soluções padrão (APHA, 1996).

#### 4.3.6 Análise de cloreto

Um volume de 50 mL de amostra foi adicionado a um erlenmeyer, seguido da adição de 1 mL de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) e agitação. A solução foi titulada com nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,0141 N até a solução apresentar uma coloração marrom-tijolo (ponto de viragem). O conteúdo de cloretos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) foi determinado segundo a Equação 4, em que  $V_1$  corresponde ao volume (mL) de nitrato de prata gasto na titulação (APHA, 1996).

$$\text{Cloretos} = (V_1) \times 10 \quad (4)$$

#### 4.3.7 Análise de cloro residual livre

Para eliminar o excesso de cloro residual livre presente na água de abastecimento provinda pela COPASA, foi feito um aquecimento prévio das amostras.

Em seguida, um volume de 5 mL da amostra foi adicionado a uma cubeta. Em outra cubeta foram adicionados 5 mL da amostra (água) a ser testada, mais uma cápsula de reagente N,N-Dietil-1,4-Fenilenodiamônio Sulfato (DPD). Tal cubeta foi agitada até a completa dissolução do DPD. Colocaram-se as cubetas no aparelho e foi feita a medição (APHA, 1996).

#### 4.3.8 Análise de dureza

Um volume de 50 mL da amostra foi adicionado a um erlenmeyer de 250 mL. Em seguida, adicionou-se 1 mL de solução tampão ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) para dureza, mais 1 mL de solução inibidora e agitaram-se as amostras. Posteriormente, foram

adicionados 1 mL de erlocromo black às amostras, seguido de agitação. As amostras foram tituladas com EDTA até a mudança de coloração para azul brilhante (ponto de viragem). O conteúdo total (mg/L) de dureza foi calculado de acordo com a Equação 5, em que  $V_{EDTA}$  é o volume (mL) de EDTA gasto na titulação (APHA, 1996).

$$\text{Dureza} = (V_{EDTA}) \times 20 \quad (5)$$

#### **4.4 Delineamento experimental e análises estatísticas**

Os resultados das análises físico-químicas das amostras de água antes e após o processo de adsorção foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado e análise de variância (ANOVA), seguido por teste de comparação de médias Tukey ao nível de 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram realizadas no pacote estatístico SAS® University Edition (SAS UNIVERSITY EDITION, 2016).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão presentes os resultados médios obtidos na caracterização físico-química da água antes do tratamento e das águas submetidas à adsorção com carvão ativado de grãos defeituosos do café ou de bioadsorventes sintetizados a partir de casca e bagaço de laranja.

Os resultados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 2 - Resultados médios para cada parâmetro estudado de acordo com o tratamento e comparação pelo teste de Tukey.

Parâmetros	Tratamento		
	Água Antes do Tratamento	Água tratada com carvão de grãos de café defeituosos ativado	Água tratada com bioadsorventes de casca de laranja ativada
pH	7,45 <sup>a</sup>	4,39 <sup>c</sup>	5,99 <sup>b</sup>
Acidez total (mg/L de CO <sub>2</sub> livre)	25,0 <sup>b</sup>	102,0 <sup>a</sup>	41,0 <sup>b</sup>
Alcalinidade total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	20,0 <sup>a</sup>	1,0 <sup>c</sup>	4,5 <sup>b</sup>
Cloretos (mg/L de Cl)	14,4 <sup>a</sup>	12,0 <sup>b</sup>	10,0 <sup>c</sup>
Cloro residual livre (mg/L de CRL)	0,05 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>
Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	55,0 <sup>a</sup>	29,0 <sup>a</sup>	28,0 <sup>a</sup>
Ferro total (mg/L)	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Manganês total (mg/L)	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>

\*Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Os valores limites estabelecidos no anexo XX da Portaria de Consolidação n° 5/2017 para pH, dureza, cloro residual livre, cloretos, ferro e manganês são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade da água potável segundo a Portaria de Consolidação n° 5/2017.

<b>Parâmetros analisados*</b>	<b>PRC n° 5 Padrão de aceitação para consumo Humano</b>
pH	6,0 – 9,5
Cloretos (mg Cl/L)	250 (VMP)
Cloro residual livre (mg/L)	0,2 – 2
Dureza total (mg/L)	500
Ferro total (mg Fe/L)	0,3
Manganês total (mg Mn/L)	0,1

\*Na PRC n°5/2017 não há valores limites para os parâmetros de acidez e alcalinidade;

\*VMP – valor máximo permitido.

Verificou-se que os diferentes adsorventes utilizados no tratamento da água afetaram significativamente ( $p < 0,05$ ) os parâmetros pH, acidez, alcalinidade, teor de cloreto.

Na Tabela 4 estão presentes os parâmetros físico-químicos da água cervejeira segundo Reinold (1997).

Tabela 4 – Valores recomendados para a qualidade físico-química da água cervejeira.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Especificação</b>
pH	pH	6,5 – 8,0
Alcalinidade Total	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	0,8 – 25
Cloretos	(mg Cl/L)	1 – 20
Dureza Total	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	18,0 – 79,0
Ferro Total	(mg Fe/L)	Ausência

Fonte: Reinold (1997).

Segundo o Decreto n° 6.871, a cerveja “é o produto obtido pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo”. Sendo assim, é de suma importância a verificação da adequação da qualidade da água a ser utilizada na cervejaria aos limites estabelecidos pela Portaria de Consolidação n° 5/2017, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, que dispõe dos padrões de potabilidade da água para consumo humano.

Segundo Priest e Stewart (2006), a água provinda do abastecimento do município é de maior facilidade para se utilizar na produção cervejeira, contudo, muitas dessas fábricas querem

expandir seus produtos e a água de abastecimento do município já não é tão interessante mais para alguns tipos de cervejas. Antes as cervejarias por serem menores possuíam sua própria água, de poços ou nascentes, com isso, as regiões produziam as cervejas com as características típicas devido a composição de água, tornando assim seus produtos de ótima qualidade e estilos devido ao tipo de água (PRIEST; STEWART, 2006).

Algumas cidades têm seus estilos de cervejas mais famosos e produzidos devido ao tipo de água que é fornecido pelo município, como por exemplo, na cidade de Burton (Inglaterra) a água tem uma dureza mais elevada, por conta de um alto teor de sulfato de cálcio proporcionando um estilo mais amargo, fortes e claras para suas cervejas. Londres (Inglaterra) e Munique (Alemanha) as águas são mais alcalinas proporcionando uma produção de cervejas mais escuras e com um sabor mais suave, como a Mild e a Brown Ale, ou levemente lupuladas como a Lager. Na República Checa, possui uma água mais mole proporcionando uma produção de cervejas Pilsen, com poucos minerais e altamente lupulada, como a Pale Lager (PRIEST; STEWART, 2006). Portanto o mais praticado seria a adaptação da água disponível para a formulação da cerveja ou fazer as devidas correções na composição da água de um determinado tipo de cerveja (VENTURINI, 2016).

Os valores obtidos para os pH das águas tratadas tanto com carvão ativado, quanto com os bioadsorventes de casca de laranja não estiveram em conformidade com os padrões sugeridos por Reinold (1997). Contudo, o valor do pH das amostras de água tratadas com os bioadsorventes de casca de laranja foi bem próximo ao valor recomendado pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, que é de 6,0 a 9,5. Para Bamforth (2006) o valor limite de pH varia entre 5 e 9,5, portanto o bioadsorvente de casca de laranja está em conformidade.

O pH da água tratada com o carvão ativado teve um resultado menor ( $\text{pH} = 4,39$ ), devido a sua alta acidez, estando fora dos limites permitidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017 (BRASIL, 2017) e dos valores recomendados por Reinold (1997). O pH encontrado após o tratamento utilizando carvão ativado poderia ser recomendado a municípios onde a água disponível seja mais alcalina, como na cidade de Ibirá-SP que chega a ter um pH próximo de 10,0, com alcalinidade em  $\text{CO}_3$  é próximo de  $130 \text{ mg.L}^{-1}$  (PMI, 2009). Na Portaria de Consolidação nº 5/2017 são ausentes os valores limites para acidez.

Para a alcalinidade total, todas as amostras atenderam aos limites recomendados por Reinold (1997). É interessante notar que as amostras submetidas à adsorção utilizando carvão ativado ou bioadsorventes obtidos a partir de casca e de bagaço de laranja modificados quimicamente, apresentaram menores valores para alcalinidade quando comparados com o

resultado encontrado para a água que não passou pelo tratamento de adsorção, demonstrando o potencial de utilização destes adsorventes para retirada de carbonato de cálcio da água, que são potenciais formadores de incrustações em superfícies metálicas submetidas a trocas de calor (MACÊDO, 2004). No entanto, pode-se fazer a correção da alcalinidade da água após o tratamento com carvão ativado para aumentar os níveis de pH da água, deve-se acrescentar o bicarbonato de sódio (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI, 2014).

O valor máximo permitido pela Portaria de Consolidação é nº 5/2017 para o parâmetro dureza é de  $500 \text{ mg.L}^{-1}$  (BRASIL, 2017). Assim, verificou-se que os resultados de dureza obtidos para as amostras de água antes e após o processo de adsorção utilizando ambos os adsorventes (carvão ativado e bioadsorventes de casca de laranja) estão em conformidade com o limite exigido pela legislação vigente.

O tratamento da água utilizando os diferentes adsorventes também promoveu uma redução significativa no conteúdo de cloreto, o que é benéfico sob o ponto de vista industrial, uma vez que em altas concentrações, os cloretos na cerveja podem promover um gosto salgado ou podem causar corrosão ou incrustação em tubulações, equipamentos, paredes e pisos (MACÊDO, 2004), além de estar em conformidade com os padrões estabelecidos na Portaria de Consolidação nº 5/2017 (BRASIL, 2017).

Segundo Reinold (1997) os valores limites para ferro devem ser isentos, para Bamforth (2006) os valores limites são entre 0 e 0,1 e para Portaria de Consolidação nº 5/2017 menores que 0,3, portanto os valores encontrados para os tratamentos com carvão ativado e casca de laranja estão em conformidade.

Os valores para manganês encontrados após os tratamentos também estão em conformidade com Reinold (1997), Bamforth (2006), e na Portaria de Consolidação nº 5/2017.

De acordo com os resultados obtidos é possível ver que o bioadsorvente produzido a partir da casca de laranja sobressai ao carvão ativado produzidos a partir dos grãos defeituosos de café, segundo os autores utilizados e a legislação vigente. Contudo a produção de cerveja e seus estilos são muito amplos e podem ser feitos correções na água antes da utilização como ingrediente ou utilizadas em lugares específicos aonde a água disponível tem suas características próprias o que facilita para alguns tipos de cervejas.



## 6 CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho, conclui-se que diferentes bioadsorventes produzidos a partir de grãos defeituosos do café ou casca e bagaço de laranja tem capacidade para reduzir níveis de cloretos e a alcalinidade presentes na água, o que torna desejáveis para aplicações de tratamento de água em algumas regiões. Com isso, pode-se utilizar também da correção de outros parâmetros que ficaram fora dos padrões tanto de legislação, quanto para Reinold (1997) e Bamforth (2006). A partir dos resultados das análises físico-químicas, foi verificado que o bioadsorvente produzido com casca de laranja foi mais eficiente para o tratamento da água, reduzindo a um nível menor em relação ao carvão ativado e com valor de pH estando em conformidade segundo Bamforth (2006).

Por isso, seria mais viável a utilização da casca de laranja para o tratamento de água, visto que é de extrema importância a qualidade da água utilizadas nos processos industriais. No caso da produção de cerveja, deve ser levado em consideração as concentrações de minerais que podem afetar as características sensoriais e vida útil do produto final.

Desta forma, os tratamentos que utilizam os bioadsorventes produzidos a partir de resíduos da agroindústria tem se mostrado e uma alternativa de baixo custo em relação aos adsorventes tradicionais, sendo eficaz, sustentável para o tratamento de água e ajudando a reduzir os resíduos da agroindústria o que poderia gerar um impacto ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO – ABAL. Alumínio e Saúde. 2 ed. São Paulo, 7 p. Disponível em: <http://www.abal.org.br>. Acesso em: 06 jun 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Quantidade de água**. Brasília. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 06 de jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, **Diário Oficial da União**, Brasília, 5 set. 1997.

ALIKARAMI M.; NEZHAD E. R.; MORADI F.; MORADI V. Adsorptive Removal of Co<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> by Peels of Banana from Aqueous Solution Zahra Abbasi<sup>1</sup>; **Universal Journal of Chemistry** v. 1, n. 3, p. 90-95. 2013.

ALMAGUER, C. et al. Humulus Lupulus – a story that begs to be told. **Journal of The Institute of Brewing**. v. 120, p. 289-582, set. 2014.

ANDRADE JÚNIOR, F. P.; SILVA, A. C. P.; SILVA, D. D. Aplicações de argilas como adsorvente em prol dos recursos hídricos: uma revisão. **Revista Educação, Ciência e Saúde**, v. 3, n. 1, 2016.

ANDRADE, C. J.; MEGA, J. F.; NEVES, E. A produção da cerveja no Brasil. **Revista Hestia Cítino**. v. 1, n. 1, p. 21-29, Joinville, 2011.

ANUSHA, G. Feasibility studies on the removal of iron and fluoride from aqueous solution by adsorption using agro based waste materials. Disponível em: Acesso em 17 jun, 2019. **Anna University**, 153p. 2014.

APHA. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. **American Public Health Association**. 19th ed. 874 p. 1996.

AQUARONE, E.; LIMA, U. A.; BORZANI, W. **Biotechnologia**: alimentos e bebidas produzidos por fermentação. Blucher, v. 5, p. 240, São Paulo, 1983.

ARAMI, M.; LIMAEAA, Y. N; MAHMOODIA, N M; TABRIZIA, N S. Equilibrium and kinetics studies for the adsorption of direct and acid dyes from aqueous solution by soy meal hull. **Journal of Hazardous Materials**. v. 135, n° 1–3, p. 171–179. 2006.

BACCI, D. L. C; PATACA, E. M. Educação para a água. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 211-226, 2008.

BAMFORTH, C. W. **Brewing**: New Technologies. Cambridge: Woodhead Publishing, 2006. 484p.

BAMFORTH, C. W. **Beer: Tap into de Art and Science of Brewing**. 2 ed. Oxford University Press, v. 1, 2003.

BHATNAGAR, A.; SILLANPAA, M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 157, p. 277–296, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Seção 1, p. 20. Brasília, 5 jun. 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 3 de outubro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **República Federativa do Brasil**, Seção 1, n. 190, p. 360, Brasília, 2017.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. 4 ed. p. 150, Funasa, Brasília, 2013.

BRIGIDO, R.; NETTO, M. **Produção de cerveja**. Ed.UFSC, Florianópolis, 2006.

CARVALHO, H. P. de.; HUANG J; ZHAO M; LIU G.; DONG L; LIU X. Improvement of Methylene Blue removal by electrocoagulation/banana peel adsorption coupling in a batch system. **Alexandria Engineering Journal**. v. 54, p. 777–786. 2015.

CAVALCANTE, V. R. Produção de carvão ativado a partir de resíduos de coco, banana e laranja. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de processos ambientais). UNICAP. Recife, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileiro** – grãos: 3º Levantamento, setembro, 2018 – safra 2018.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2512-producao-de-cafe-deve-ser-a-maior-da-historia-com-quase-60-milhoes-de-sacas>>. Acesso em: 16 abril 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005–2009). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 159-168, 2013.

DALLACORT, G. **Curso de formação operador cervejeiro** - Brassagem. AMBEV, 3 ed. Lages, 2013.

DURAL, M. U. et al. “Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from *Posidonia oceanica* (L.) dead leaves: Kinetics and equilibrium studies”. **Chemical Engineering Journal**, v. 168, p. 77-85, 2011.

EBLINGER, H.; NARZIB, L. Beer. In: **Encyclopedia of industry chemistry**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, p. 156, 2012.

- FAGUNDES, T. Estudo da Interação de Polímero Quitosana-ferro (III)- Reticulado com íons inorgânicos em meio aquoso. Dissertação de mestrado. **Universidade do Vale do Itajaí**: SC, 2007.
- FIORENTIN, L. D. et al. Isotermas de sorção do resíduo agroindustrial bagaço da laranja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 635-659, 2010.
- FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; NUNES, A. A.; ALVES, C. C. O. **Microwave assisted thermal treatment of defective coffee beans press cake for the production of adsorbents**. *Bioresource Technology*, v.101, p. 1068–1074, 2010.
- GEANESINI, F. **Identificação dos compostos voláteis residuais de bebidas alcoólicas fermentadas em saliva humana por headspace CG-EM**. 2010. 50 f. Monografia (Graduação em Química) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2010.
- GEANKOPLIS, C. J.; HERSEL, A. A.; LEPEK, D. H. **Transport Processes and Separation Process Principles**. Prentice Hall, 5th ed, p. 907, 2018.
- GERBENS-LEENES, P. W.; HOEKSTRA, A. Y. **Business water footprint accounting: a tool to assess how production of goods and services impacts on freshwater resources worldwide**. 2008. Disponível em: <[http://waterfootprint.org/media/downloads/Report27-BusinessWaterFootprint\\_1.pdf](http://waterfootprint.org/media/downloads/Report27-BusinessWaterFootprint_1.pdf)>. Acesso em: 16 jun 2019.
- GUIMARÃES, V. G.: **Adsorção-Dessorção de partículas neutras em sistemas com superfícies não idênticas**. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2015.
- HAZZAA, R.; HUSSIEN M. Adsorption of cationic basic dye from aqueous solution onto activated carbon derived from banana peel. **Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes**: Greece. 2015.
- LEWIS, M. J.; YOUNG, T. W. **Brewing**. 2. ed. Publishers, Kluwer Academic/ Plenum, v. 1, p. 375, Nova Iorque, 2002.
- LI, M.; LI, M-Y.; FENG, C-G.; ZENG, Q-X, Preparation and characterization of multi-carboxyl-functionalized silica gel for removal of Cu(II), Cd(II), Ni(II) and Zn(II) from aqueous solution. **Applied Surface Science**, v. 314, p. 1063–1069, 2014.
- LIMA, E. C. et al. Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 150, p. 1-17, 2018.
- MACÊDO, J. A. B. **Águas & águas**, 2. ed. P. 977, Belo Horizonte, 2004.
- MACÊDO, L. M. P. de. **Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento de processos ambientais) - Universidade católica de Pernambuco. Recife, 2012.
- MANCUSO, P. C. S. **Tecnologia de reuso de água**. In: Reuso de água, São Paulo: Editora Manole Ltda. 579p., 2003.

MIERZWA, J. C.; ESPANHOL, I. **Água na Indústria – Uso racional e reúso**. Editora Oficina Editora Oficina de Textos. p. 144, São Paulo, 2005.

MIERZWA, J. C.; ESPANHOL, I. **Processos de separação por membranas**. Disponível em: <http://www.tratamentodeesgoto.com.br/informativos/acervo.php?chave=131&cp=est>. 2004. Acesso em: 6 jun. 2019.

MINTEL GROUP LTDA. Consumidor brasileiro de cerveja prefere qualidade à quantidade. Disponível em: <https://brasil.mintel.com/imprensa/alimentos-e-bebidas/consumidor-brasileiro-de-cerveja-prefere-qualidade-a-quantidade>. 2018. Acesso em: 04 jul 2019.

MINTEL GROUP LTDA. **Revista da Cerveja**. Disponível em: <https://revistadacerveja.com.br/mintel-aponta-o-brasil-como-o-2o-pais-mais-inovador-no-mercado-de-cervejas-artesanais/>. 2018. Acesso em: 04 jul 2019.

MITTAL, A. GAJBE, V. MITTAL, J. Removal and recovery of hazardous triphenylmethane dye, methyl violet through adsorption over granulated waste materials. **Journal of Hazardous Materials**. v. 2, n. 150, p. 364-375, 2008.

MOHAN, D; PITTMAN JR, C. U. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri and hexavalent chromium from water. **Journal of Hazardous Materials**, n. 137, p. 762-811, 2006.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**. Larousse do Brasil, p. 357, São Paulo, 2009.

MOREIRA, D. R., **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia dos Materiais). PUCRS. Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, N. A. M. de. **Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja**. 2011. 45 f. Monografia (Pós-graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ORLANDO JR., F. C., **Produção de Carvão Ativado a partir de Produtos Residuais de Espécies Nativas da Região Amazônica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais). UTFPR, Manaus, 2010.

PEREIRA, E. et al. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl<sub>3</sub> como agente ativante. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 31, n.6, p. 1296-1300, 2008.

PEREIRA, R. G.; VELOSO, C. M.; DA SILVA, N. M.; DE SOUSA, L. F.; BONOMO, R. C. F.; DE SOUZA, A. O.; SOUZA, M. O. D. G.; FONTAN, R. D. C. I. Preparation of activated carbons from cocoa shells and siriguela seeds using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and ZnCl<sub>2</sub> as activating agents for BSA and  $\alpha$ -lactalbumin adsorption. **Fuel Processing Technology**, p. 476-486, 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IBIRÁ – PMI. **Composição da Água**. Ibirá, 2019.

PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. 2. ed. Boca Raton: Crc Press, 2006.

REBELLO, F. F. P. Produção de cerveja. Revista **Agrogeoambiental, Inconfidentes**, n. 3, p.145-155, dez. 2009.

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

REIS, M. O.; OLIVEIRA, L. S.; ROCHA, S. D. Adsorventes de Resíduos do Beneficiamento De Café. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. 2005.

SANTOS, E. G.; ALSINA, O. L. S; SILVA, F. L. H. Estudo da capacidade de Adsorção de Biomassas para Contaminantes Orgânicos. **Anais do Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás**, 2003.

SANTOS, E. G. et al. **Desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos**. Química Nova, vol.30, n.2, 2007.

SANTOS FILHO, D. F. **Tecnologia de Tratamento de Água: Água para Indústria**. P. 251, Rio de Janeiro: Almeida Neves, 1985.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE. **Sistemas de Tratamento de água**. Aracruz, 2006. Disponível em: <[https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento\\_de\\_Agua.pdf](https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2019

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDÚSTRIAL – SENAI. **Tecnologia Cervejeira**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[https://www.acervapetropolis.com.br/download/Tecnologia\\_Cervejeira.pdf](https://www.acervapetropolis.com.br/download/Tecnologia_Cervejeira.pdf)>. Acesso em: 04 jun. 2019.

SIEGRIST, H.; JOSS, A.: **Mikro- und Ultrafiltration**. Em: *Verfahrens-technik der abwasserreinigung – Physicalische und chemische Verfahren*, p,1-42, 2004

SILVA, J. F.; TARANTO, O. P. Estudo da Modelagem para Retenção de Metais Pesados através de Biosorção. **Livro de Resumos do III Encontro de Adsorção**. Recife, p. 35, 2000.

SCHETTINO JUNIOR, M. A. et al. Preparação e caracterização de carvão de casca quimicamente a partir de casco de arroz. **Revista Química Nova**. v. 30, n. 7, p. 1663-1668, 2007.

TARLEY, C. R. T.; ARRUDA, M. A. Z. Adsorventes naturais: Potencialidades e aplicações da esponja natural (*Luffa cylindrica*) na remoção de chumbo em efluentes de laboratório. **Analytica**, v. 4, p. 25-31. 2003.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO. **Water for people, water for life**. Executive Summary of the UN World Water Development Report. França, UNESCOWWAP, 2003.

VENTURINI FILHO, W. G., CEREDA, M. P. “Cerveja”. In: LIMA, U. A; AQUARONE, E; BORZANI, W; SCHMIDELL, W. **Biotechnologia na Produção de Alimentos**. v. 4, p. 91-144, São Paulo, 2001.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. Blucher, 1 ed. São Paulo, 2010.

VENTURINI. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. Blucher, 2 ed. São Paulo, 2016.

VERAS, D. F. **Remoção dos perturbadores endócrinos 17 $\beta$ -estradiol e p-nonilfenol por diferentes tipos de carvão ativado em pó (CAP) produzidos no Brasil – Avaliação em escala de bancada**. 2006. 155 p. Tese (Doutorado em Engenharia civil e ambiental) Universidade de Brasília, Brasília: UNB, 2006.

VIEIRA, A. W. **Apostila de produção de cervejas artesanais**. Acerva Paulista, p. 30, São Paulo, 2009.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. DESA/UFMG, 2007.

WANG, A.; DUNCAN, S. E.; DIETRICH, A. M. Effect of iron taste perception and emotional response of sweetened beverage under different water conditions. **Food Quality and Preference**, v. 54, p. 58-66, jul. 2016.

YOKOYA, F. **Fabricação de aguardente de cana**. Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia “André Tosello”, p. 87, Campinas, 1995.

ZHENG H., WANG L. Banana Peel Carbon Containing Functional Groups Applied to the Selective Adsorption of Au (III) from Waste Printed Circuit Boards. **Soft Nanoscience Letters**, v. 3 p. 29-36. 2013.