

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

RODRIGO FERREIRA GARAVELLO

Destinação de resíduos sólidos na produção de cerveja: um estudo sobre alternativas sustentáveis para  
a indústria

Lorena  
2020

RODRIGO FERREIRA GARAVELLO

Destinação de resíduos sólidos na produção de cerveja: um estudo sobre alternativas sustentáveis para a indústria

Versão Original

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção de Título de Engenheiro Ambiental da Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo.

Orientadora: Profa. Dr<sup>a</sup>. Ana Lúcia Gabas Ferreira

Lorena

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado  
da Escola de Engenharia de Lorena,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Garavello, Rodrigo Ferreira  
Destinação de resíduos sólidos na produção de  
cerveja: um estudo sobre alternativas sustentáveis  
para a indústria / Rodrigo Ferreira Garavello;  
orientadora Ana Lúcia Gabas Ferreira. - Lorena, 2020.  
44 p.

Monografia apresentada como requisito parcial para  
a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia  
Ambiental - Escola de Engenharia de Lorena da  
Universidade de São Paulo. 2020

1. Bagaço de malte. 2. Levedura residual. 3. Terra  
diatomácea. 4. Tijolo ecológico. I. Título. II.  
Ferreira, Ana Lúcia Gabas, orient.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Fabio e Maria Inêz, pelo amor incondicional, pela excelente oportunidade de educação, que me atribuiu valores e escolhas das quais eu fiz durante minha vida acadêmica.

À minha namorada, Giovanna, por todo o amor, companheirismo, compreensão, paciência e carinho.

Aos meus amigos de república, Giovanni, Gustavo, Jean, João Victor, Lucas, Marcio, Matheus, Pedro e Uandrey, por se tornarem minha segunda família em Lorena.

À minha orientadora, Profa. Dr<sup>a</sup> Ana Lúcia Gabas Ferreira, por todo auxílio durante a elaboração desse trabalho.

À Profa. Dr<sup>a</sup> Érica Leonor Romão, por todo suporte dado quando decidi mudar de curso.

E a todos que fizeram parte, direta ou indiretamente, em algum momento na minha vida.

**GARAVELLO, R. F. Destinação de resíduos sólidos na produção de cerveja: um estudo sobre alternativas sustentáveis para a indústria.** 2019. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo. Lorena, 2019.

## RESUMO

O surgimento da bebida denominada cerveja ocorreu há muitos séculos, com o desenvolvimento de técnicas de fermentação de grãos. Hoje, a indústria cervejeira permanece em expansão e, no Brasil, apresentou um crescimento de 23% no número de empresas deste setor em 2018. Tal expansão tem como resultado o aumento no volume de cerveja produzida e consequente crescimento na quantidade de resíduos gerados, principalmente bagaço de malte, levedura residual e terra diatomácea. A fim de reduzir o impacto ambiental causado por resíduos industriais, a legislação vem se tornando cada vez mais rigorosa. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2010, instituiu como responsabilidade da indústria produtora, a gestão, destinação e/ou tratamento de seus resíduos. Como o tratamento muitas vezes apresenta elevado custo, a destinação destes compostos para outros fins, apresenta-se como a solução mais viável. Assim, este trabalho teve a finalidade de realizar um estudo comparativo entre a destinação comumente utilizada por indústrias cervejeiras e outras propostas literárias, com o objetivo de selecionar a mais adequada entre elas. Estudou-se uma cervejaria de grande porte que destina seus resíduos orgânicos e resíduo mineral para a alimentação animal e foi proposto que parte destes resíduos fossem direcionados para a indústria cerâmica, servindo de matéria-prima para tijolos ecológicos, dado o benefício ambiental dessa aplicação.

**Palavras-chave:** bagaço de malte, levedura residual, terra diatomácea, tijolo ecológico.

**GARAVELLO, R. F. Destination of solid residues in beer production: a study on sustainable alternatives for the industry.** 2019. Monograph (Environmental Engineering Course) - Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo. Lorena, 2019.

#### ABSTRACT

The appearance of the drink called beer occurred many centuries ago, with the development of grain fermentation techniques. Today, the beer industry remains expanding and, in Brazil, it showed a 23% growth in the number of companies in this sector in 2018. Such expansion results in an increase in the volume of beer produced and a consequent increase in the amount of waste generated, mainly malt bagasse, residual yeast and diatomaceous earth. In order to reduce the environmental impact caused by industrial waste, the legislation is becoming increasingly strict. In Brazil, the National Solid Waste Policy, in 2010, established the management, destination and / or treatment of its waste as the responsibility of the producing industry. As the treatment often has a high cost, the destination of these compounds for other purposes, presents itself as the most viable solution. Thus, this work had the purpose of carrying out a comparative study between the destination commonly used by the beer industries and other literary proposals, with the objective of select the most appropriate among them. We studied a large brewery that destines its organic residues and mineral residues for animal feed and it was proposed that part of these residues be directed to the ceramic industry, serving as raw material for ecological bricks, given the environmental benefit of this application.

**Key-words:** malt bagasse, residual yeast, diatomaceous earth, ecologic brick.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Componentes Presentes nos Resíduos .....	20
Quadro 2 - Classificação ABNT NBR 10.004 .....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Umidade dos Resíduos (%).....	31
Tabela 2 - Teor de Cinzas dos Resíduos (% m/m) .....	32
Tabela 3 - Características Físico-Química da Terra Diatomácea Saturada.....	35
Tabela 4 - Variação do Preço do Tijolo entre 2019/2020 .....	36



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Maiores consumidores mundiais de cervejas e refrigerantes em 2011 (Milhões de hl) .....	12
Figura 2 - Esquema das etapas do processo de maltagem.....	13
Figura 3 - Fluxograma Processo de Fabricação da Cerveja	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 4 - Bagaço de Malte .....	19
Figura 5 - <i>Trub</i> Quente .....	21
Figura 6 - Levedura Residual .....	22
Figura 7 - Terra Diatomácea .....	23
Figura 8 - Classificação de Resíduos ABNT NBR 10.004 .....	27
Figura 9 - Quantidade de Resíduos e Volume Filtrado em 2018 .....	28
Figura 10 - Quantidade de Resíduos e Volume Filtrado em 2019 .....	29
Figura 11- Comparação da Quantidade de Resíduos entre os anos de 2018 e 2019 ..	30

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CEET – Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

FAN – *Free Amino Nitrogen*

hl – Hectolitro

kg - Quilograma

LRC – Levedura Residual Cervejeira

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NBR – Norma Brasileira

PIB – Produto Interno Bruto

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	10
2.1	Geral .....	10
2.2	Específicos.....	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1	História e Mercado da Cerveja .....	11
3.2	Processo de Produção Cervejeira .....	12
3.2.1	Matéria Prima .....	12
3.2.2	Seleção e preparação do Malte .....	13
3.3	Etapas de Produção.....	13
3.3.1	Mosturação .....	13
3.3.2	Fervura do Mosto.....	14
3.3.3	Fermentação.....	14
3.3.4	Maturação .....	15
3.3.5	Pasteurização .....	15
3.4	Resíduos Sólidos .....	15
3.4.1	Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS).....	16
3.5	Impactos Ambientais dos Resíduos Sólidos.....	17
3.6	Resíduos Sólidos Provenientes da Produção de Cerveja.....	18
3.6.1	Bagaço de Malte .....	18
3.6.2	<i>Trub</i> Quente .....	20
3.6.3	Levedura Residual Cervejeira (LRC) .....	21
3.6.4	Terra Diatomácea .....	22
3.7	Utilização dos Resíduos Sólidos de acordo com a Literatura .....	23
3.8	Caldeira de Biomassa .....	24
4	METODOLOGIA.....	26

4.1	Coleta de Dados.....	26
4.2	Caracterização de Resíduos .....	26
4.2.1	ABNT NBR 10004:2004 .....	26
4.2.2	Caracterização Físico-química .....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
5.1	Volume de Resíduos Produzidos.....	28
5.2	Caracterização dos Resíduos .....	30
5.2.1	ABNT NBR 10004:2004 .....	30
5.2.2	Caracterização Físico-Química do Bagaço de Malte e LRC .....	31
5.2.3	Caracterização Físico-Química da Terra Diatomácea .....	33
5.3	Proposta de Utilização dos Resíduos Sólidos.....	35
6	CONCLUSÃO.....	37
7	REFERÊNCIAS .....	38

## 1 INTRODUÇÃO

A bebida alcoólica denominada cerveja está presente no cotidiano do homem há séculos, e o seu surgimento está associado ao consumo de pães, já que ambos são produzidos a partir de cereais e processos fermentativos. Relatos que se estendem desde antes da escrita, mostram o que possivelmente foi a evolução dessa bebida até o padrão consumido atualmente (SILVA, LEITE e PAULA, 2016).

O mercado cervejeiro é bastante representativo, países como a República Tcheca e a Polônia, apresentaram em 2017 um consumo per capita de 137 litros e 98 litros, respectivamente (FORBES, 2018). No Brasil, o crescimento apresentado pela indústria cervejeira, também é uma realidade. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2018, o número de empresas nessa área cresceu cerca de 23% (MAPA, 2018).

Como consequência do elevado consumo e produção, ocorre também o aumento da geração de resíduos líquidos e sólidos, provenientes de seu processo produtivo, o qual envolve a moagem do malte, além de processos físicos como a filtragem, a fermentação e a clarificação (JUNIOR, VIEIRA e FERREIRA, 2009). Esses processos geram, principalmente, resíduos como bagaço de malte, *trub* quente, levedura residual e terra diatomácea, contribuindo para o aumento da poluição ambiental caso não sejam destinados corretamente. (MATHIAS, MELLO e SÉRVULO, 2014).

Para conter tal aumento, as leis e fiscalizações ambientais vêm se tornando cada vez mais rigorosas, tanto no Brasil, quanto no mundo (GOULARTI, SILVEIRAI, *et al.*, 2011). No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída em 2010, prevendo responsabilidades e benefícios ao setor produtivo frente ao gerenciamento e destinação de resíduos sólidos produzidos (PAIXÃO, 2012). O custo associado ao descarte de resíduos de forma sustentável apresenta elevados custos, portanto, alternativas para sua reutilização têm se mostrado vantajosas e cada vez mais exploradas (GOULARTI, SILVEIRAI, *et al.*, 2011).

Este trabalho busca explorar alternativas para a destinação ou uma utilização sustentável de resíduos sólidos provenientes do processo de produção da cerveja.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Apresentar uma destinação ou reutilização sustentável, para os resíduos sólidos provenientes do processo de fabricação de cerveja.

### **2.2 Específicos**

- Identificar os resíduos gerados pela produção de cerveja, e relacionar a sua quantidade com o volume de cerveja produzido;
- Realizar um estudo sobre a caracterização dos resíduos sólidos gerados pelo processo de produção em uma cervejaria;

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

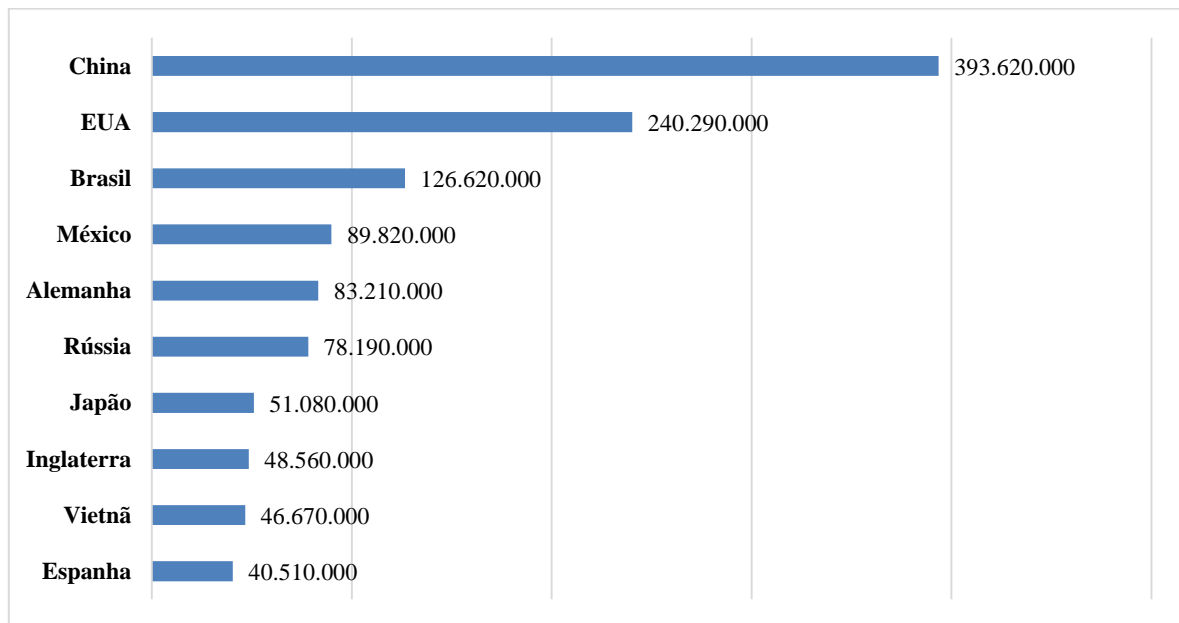
#### **3.1 História e Mercado da Cerveja**

A história da cerveja tem início na antiguidade, quando as primeiras bebidas à base de fermentação de grãos foram descobertas. Quando as primeiras civilizações começaram a se formar, a principal fonte de carboidratos e proteínas eram os grãos, dada a facilidade de cultivo e armazenagem deste tipo de alimento. Assim, a partir deles, muitos alimentos e bebidas foram criados, a exemplo de cervejas (MEUSSDOERFFER, 2009). A partir de seu surgimento na Mesopotâmia, com Sumérios e Assírios, a cerveja alcançou o Egito através desses povos, posteriormente a região Mediterrânea e finalmente se espalhou por toda a Europa, onde consolidou seu mercado, tendo como importantes polos a Alemanha e República Tcheca, que até hoje representam grandes produtores e consumidores da bebida (ROSA e AFONSO, 2015).

No Brasil, o consumo da bebida teve início com a chegada dos Holandeses no séc. XVII, mas se estabeleceu, definitivamente, com a entrada de muitos ingleses no país a partir de 1808. Com o passar dos anos, a importação da cerveja britânica perdeu espaço para o mercado Alemão. No final do séc. XIX, tiveram início as primeiras produções de cervejas brasileiras (SANTOS, 2003).

De acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Brasil, em 2011, alcançou o terceiro lugar em maior consumo de cerveja, ficando atrás apenas de Estados Unidos e China, como demonstrado na Figura 1 (JÚNIOR, JUNIOR, *et al.*), em hectolitros (hl). No consumo per capita, os países com maior índice são República Tcheca (137,38 litros), Polônia (98,06 litros) e Alemanha (95,95 litros) (FORBES, 2018).

Figura 1 - Maiores consumidores mundiais de cervejas em 2019 (Consumo em hl)



Fonte: Adaptado de (KIRIN BEER UNIVERSITY, 2019)

Atualmente, a indústria brasileira cervejeira representa 1,6% do Produto Interno Bruto (PIB) Nacional e tem produção anual de aproximadamente de 14,1 bilhões de litros por ano (CERVBRASIL, 2018). O número de cervejarias também cresce no país, tendo apresentado um aumento de 23% no ano de 2018, totalizando 889 produtores (MAPA, 2019).

Assim, com o aumento da produção e consumo de cerveja no país, é preciso que avanços tecnológicos, rigor legislativo e preocupações ambientais estejam presentes em seu processo produtivo, para que se garanta o consumo seguro e sustentável dessa bebida.

## 3.2 Processo de Produção Cervejeira

### 3.2.1 Matéria Prima

Basicamente são três principais ingredientes utilizados na indústria cervejeira: a água, o malte e o lúpulo. A água é o principal componente em quantidade, a ser utilizado na produção, e sua qualidade está diretamente relacionada com a qualidade final do produto. O segundo é o malte, que tem a função de fornecer nutrientes e açúcares que serão posteriormente utilizados na fermentação. O malte tem origem da cevada, sendo esta obtida a partir de variedades selecionadas. E o terceiro ingrediente, responsável pelo amargor característico da cerveja, é o lúpulo. Responsável, não somente por contrabalancear o dulçor do malte após a fermentação, mas funciona como um conservante natural (MEGA, NEVES e ANDRADE, 2011).



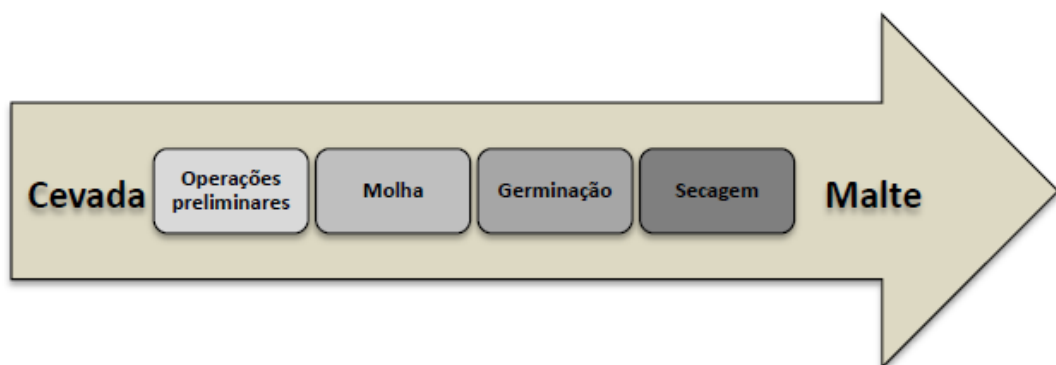
Além destes três ingredientes, para que a fermentação possa ocorrer, existe um quarto ingrediente a ser utilizado no processo de fabricação da cerveja, a levedura. A sua principal função é consumir o açúcar extraído do malte e produzir álcool e gás carbônico. O processo metabólico da levedura ainda produz outras substâncias que, mesmo em quantidades inferiores de álcool, dão características únicas à cerveja, como aroma, cor, limpidez e sabor (LEA e PIGGOTT, 2003).

Dependendo do tipo de cerveja, existem outros ingredientes que são utilizados juntos ao malte, conhecidos como cereais não maltados ou como adjuntos. Dentre os quais, os mais comuns são: milho, arroz, aveia, centeio e trigo (MANOLLI, 2015).

### 3.2.2 Seleção e preparação do Malte

O processo de produção da cerveja se inicia com a seleção e a limpeza da cevada, dentro das operações preliminares, seguido de um processo de germinação interrompida desses grãos para a produção do malte, denominada malteação, e a secagem (Figura 2). Para que o malte alcance o tamanho adequado, o mesmo é moído e levado ao processo de mosturação, etapa em que se inicia a produção da cerveja (INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA, 2015).

Figura 2 - Esquema das etapas do processo de maltagem



Fonte: (INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA, 2015)

## 3.3 Etapas de Produção

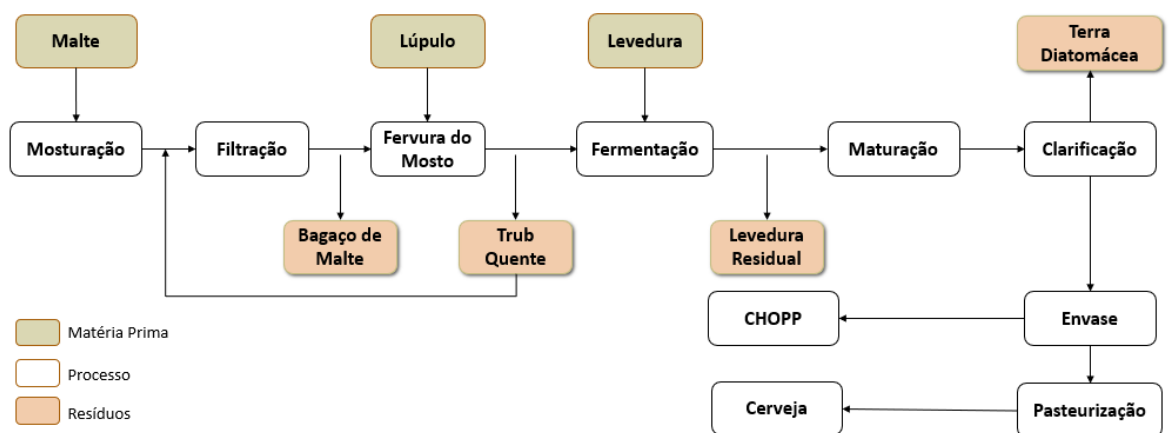
### 3.3.1 Mosturação

Após preparação do malte, inicia-se o processo de mosturação (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), o qual consiste na transformação do amido em açúcares, cuja mistura com água, lúpulo e complementos, irá desencadear a formação do mosto (JUNIOR, VIEIRA e FERREIRA, 2009). A transformação do malte em mosto, é iniciada com a

hidrólise do amido contido no malte em açúcares. Esta hidrólise ocorre pela ação de enzimas, produzindo tanto açúcares que serão utilizados como fonte de energia na fermentação, como açúcares não fermentáveis (BANDINELLI, 2015).

Ao final do processo, o mosto líquido puro é obtido através do processo de filtração, geralmente realizado em filtros prensa ou cuba-filtros. Como resultado, obtém-se o mosto puro, que será utilizado na produção da cerveja, e o bagaço de malte, primeiro resíduo sólido do processo (LEA e PIGGOTT, 2003).

Figura 3 - Fluxograma Processo de Fabricação da Cerveja



Fonte: Adaptado de (BAXTER e HUGHES, 2001)

### 3.3.2 Fervura do Mosto

Na etapa seguinte à obtenção do mosto puro, adiciona-se o lúpulo e a mistura é levada à ebulição para que seja esterilizada. Esse processo promove, também, a caracterização do gosto da cerveja, pois alfa-ácidos presentes no lúpulo são isomerizados e geram o conhecido amargor dessa bebida. Além disso, esta etapa gera a formação do *trub*, proveniente da coagulação de proteínas solúveis (BAXTER e HUGHES, 2001). Antes de seguir para a fermentação, ocorre o que é chamado de clarificação do mosto, onde tanto o bagaço de lúpulo, quanto o *trub*, são separados do mosto, para que esse possa ser resfriado e então fermentado (BOULTON e QUAIN, 2001).

### 3.3.3 Fermentação

As leveduras são adicionadas ao mosto para que ocorra sua fermentação logo após a etapa de filtração (Figura 3). Dessa forma, ocorre a transformação do açúcar contido no mosto em etanol e CO<sub>2</sub>, em meio anaeróbico, gerando a bebida denominada cerveja. A

temperatura, assim como o tipo de fermento utilizado nesse processo, varia de acordo com o tipo de cerveja a ser produzida (LEA e PIGGOTT, 2003).

### 3.3.4 Maturação

Logo após ser fermentada, a cerveja passa por um processo de maturação, com o objetivo de conferir características desejadas ao produto, como cor e gosto. O tempo de maturação também varia de acordo com o tipo de cerveja desejado (BAXTER e HUGHES, 2001).

### 3.3.5 Pasteurização

A pasteurização é uma etapa que consiste em um tratamento térmico controlado, no qual a cerveja é submetida a um aquecimento indireto, normalmente com água quente, por 37 minutos em temperatura constante de 62°C. Em seguida é submetida ao resfriamento até 25°C por 17 minutos. Esse processo ocorre durante o envase, e caso o produto não passe por essa etapa, ele se torna uma cerveja não pasteurizada, também conhecida como *chopp*, sendo que a principal característica, quando comparado com a cerveja, é de ser um produto mais fresco e, por isso, as principais características da cerveja estarão no seu melhor estado, como o sabor e o aroma. Entretanto, há disponível para consumo no mercado o *chopp* pasteurizado.

## 3.4 Resíduos Sólidos

Durante o processo de fabricação da cerveja, tem-se a produção dos chamados resíduos sólidos que ocorrem durante as etapas de mosturação, fervura do mosto, fermentação e clarificação, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (BAXTER e HUGHES, 2001).

Segundo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Norma Brasileira (NBR) 10.004/2004, resíduos sólidos são aqueles que:

Resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Assim, todos os resíduos sólidos são classificados de acordo com sua periculosidade, e sua produção é regulada de forma que as próprias indústrias sejam responsáveis por seu tratamento ou destinação.

A classificação dos resíduos sólidos é feita pela norma ABNT NBR 10.004 de 31 de maio de 2004, elaborada pela Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos (CEET). Os resíduos são classificados em dois grupos, os de resíduos sólidos perigosos, e os não perigosos (ABNT, 2004).

a) Resíduos classe I – perigosos: são classificados como resíduos classe I aqueles que apresentem as seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;

b) Resíduos Classe II - não perigosos: os resíduos dessa classe são classificados em dois grupos, os de resíduos não perigosos inertes e os não inertes:

- Resíduos Classe II A - não inertes: são classificados nesse grupo de resíduos, os que apresentem as seguintes propriedades: biodegradabilidade; combustibilidades e solubilidade em água;
- Resíduos Classe II B – inertes: os resíduos pertencentes a esse grupo são aqueles que quando estão em contato dinâmico e estático com a água, não possuem nenhum de seus elementos solubilizados na água, alterando assim as concentrações do padrão de potabilidade.

### **3.4.1 Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS)**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos foi instituída pela Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, responsável pela implementação de mecanismos e programas a fim de promover a gestão, o descarte, e o tratamento de resíduos.

Essa política se tornou uma referência por tratar de todos os resíduos sólidos, sendo industriais, urbanos, dentre outros, e por tratar dos resíduos, incentivando assim o descarte correto (BRASIL, 2010).

Com o objetivo, de manter uma boa gestão dos resíduos sólidos, o Art. 7º da lei propõe:

- I - Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- IV - Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
- V - Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- VII - gestão integrada de resíduos sólidos;
- VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor

empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

IX - Capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;

X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:  
a) produtos reciclados e recicláveis;

b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;

XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;

XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;

XV - Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

### **3.5 Impactos Ambientais dos Resíduos Sólidos**

O impacto ambiental é definido como uma alteração das propriedades biológicas e físico-químicas do meio ambiente, alteração essa que pode ser provocada direta ou indiretamente por atividades humanas, que podem afetar a saúde, bem-estar, segurança da população, atividades socioeconômicas, a biota, e a qualidade dos recursos (BRASIL, 1986).

Os impactos gerados pelo descarte indevido de resíduos sólidos no solo podem ser de caráter direto, ou seja, o próprio material gera a contaminação, ou, como é mais comum, de caráter indireto, onde a fermentação destes materiais origina a formação de ácidos orgânicos. (MATOS, 2005).

Um importante exemplo de impacto gerado no solo é a formação do chamado “chorume”, líquido de elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que é formado a partir da degradação do material orgânico presente nos resíduos sólidos, gerando odores fétidos. Tais odores, além de provocar um desconforto para seres humanos e animais, podem atrair vários vetores de doenças.

Assim como ocorre no solo, o lançamento indevido de resíduos sólidos orgânicos nos recursos hídricos pode acarretar um grave impacto ambiental, como consta no artigo 18 da Lei 997/76 do estado de São Paulo, que determina os padrões de lançamento de efluentes líquidos nos corpos de água devem ser de no máximo 60 mg/l de DQO.

Uma das possíveis consequências desse impacto é mortandade de peixes, que está relacionada a diversos fatores, como alteração de pH, decomposição de matéria orgânica, dentre outros. A terra diatomácea saturada, por apresentar um pH ácido de aproximadamente 5,62, gera uma diminuição no pH da água, fazendo com que os peixes tenham uma maior frequência respiratória podendo acarretar sua morte (CETESB, 2020).

Outro impacto gerado pelo descarte dos resíduos em rios e lagos é a ocorrência da eutrofização, que afeta de diversas formas, todos os ecossistemas aquáticos (TUNDISI e TUNDISI, 2008). A eutrofização é um processo em que ocorre com o aumento de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, provocando o surgimento excessivo de organismos como algas e cianobactérias. A disponibilidade de oxigênio dissolvido neste ambiente, fica então, reduzido devido à presença de um maior número de algas. Assim, para que essa água possa ser utilizada, é necessário empregar técnicas que ajudem na sua remoção, garantindo a coloração, sabor e odor adequado para consumo, aumentando significativamente o custo do processo (CETESB, 2020). Além disso, tais algas podem ser tóxicas, impossibilitando que a água seja utilizada para o abastecimento humano e animal, mesmo que haja tratamento adicional (CIGAGNA, 2013).

### **3.6 Resíduos Sólidos Provenientes da Produção de Cerveja**

No processo de produção da cerveja, quatro resíduos sólidos são produzidos, sendo eles: bagaço de malte, *trub* quente, leveduras e terra diatomácea. Todos podem ser classificados como Resíduos Classe II A, com exceção ao *trub* que é classificado como Resíduo Classe II B (MELLO e PAWLOWSKY, 2002).

#### **3.6.1 Bagaço de Malte**

O bagaço de malte pode ser considerado o primeiro resíduo a ser produzido durante o processo de fabricação da cerveja. Esse resíduo é gerado logo após a etapa de mosturação, onde ocorre a extração de açúcares fermentáveis, vitaminas e aminoácidos do malte, que constituirão o chamado mosto doce. O bagaço é importante nessa etapa, pois exerce a função de torta filtrante (RODRÍGUEZ, AGUILAR e SILVA, 2018). Esse resíduo é o de maior quantidade sendo produzido durante o ano inteiro, possuindo um baixo, ou nenhum custo de valor agregado. (ALIYU e BALA, 2011).

O bagaço de malte (Figura 4), compõe cerca de 85% da quantidade de resíduo produzido em todo processo de fabricação, considerando o processo e o envase. Em todo o processo de fabricação, estima-se que cada 100 kg de malte utilizado, são gerados aproximadamente 125 kg de bagaço de malte úmido, contendo 80% de umidade quando

obtidos na tina de filtração. Com isso é possível concluir que para cada hectolitro (hl) de cerveja produzida, é obtido aproximadamente 10 kg de bagaço (LIMA, 2010).

A sua composição é rica em fibras e proteínas (Quadro 1), com cerca de 70 e 15% (p/p), respectivamente, sendo que as principais fibras presentes são celulose em menor quantidade com 15%, hemicelulose e lignina com 28% cada (LIMA, 2010). Também faz parte de sua composição, em quantidades menores, cinzas, lipídios, vitaminas, aminoácidos e compostos fenólicos, além da presença de muitos minerais, como silício, fósforo, cálcio, magnésio, sódio, entre outros (MATHIAS, 2015).

Figura 4 - Bagaço de Malte



Fonte: Próprio Autor

Quadro 1 - Principais Componentes Presentes nos Resíduos

Tipo de Composto	Bagaço de Malte	<i>Trub</i> Quente	Levedura Residual	Terra Diatomácea
Fibras	✓	-	-	-
Carboidratos	-	✓	✓	-
Proteínas	✓	✓	✓	✓
Aminoácidos	✓		✓	-
Cinzas	✓	✓	✓	-
Vitaminas	✓		✓	-
Compostos Fenólicos	✓	✓	-	✓
Ácidos Graxos	-	✓	✓	-
Materiais Fósseis	-	-	-	✓

Fonte: Adaptado de (MATHIAS, 2015)

### 3.6.2 *Trub* Quente

O segundo resíduo sólido gerado no processo de fabricação da cerveja, resultante da coagulação das proteínas insolúveis de elevada massa molar, é o *trub* quente (Figura 5), que tende a se agregar formando flocos que precipitam formando complexos com outros compostos do mosto, como constituintes nitrogenados, carboidratos e polifenóis (MATHIAS, 2015).

Apesar da maioria dos aminoácidos presentes no mosto serem assimilados pelas leveduras, as proteínas restantes devem ser removidas, pois posteriormente reagem com os polifenóis, resultando em uma instabilidade coloidal (BARCHET, 1993).

A composição desse resíduo é influenciada por diversos fatores, como as proporções dos adjuntos utilizados, do tipo de cevada, o tipo de moagem que foi utilizada no processo, o pH durante o processo, os níveis de oxidação durante a ebulição, dentre outros (COSTA, 2017).



Figura 5 - Trub Quente



Fonte: (COSTA, 2017)

### 3.6.3 Levedura Residual Cervejeira (LRC)

No processo de fabricação da cerveja, existem dois tipos de leveduras a serem utilizadas, a *Saccharomyces cerevisiae*, responsável por cervejas com alta fermentação, e a *Saccharomyces uvarum* responsável pelas cervejas de baixa fermentação.

Durante o processo de fermentação, as leveduras podem ser reutilizadas de três a cinco vezes devido à sua multiplicação (AMORIM, 2015). Entretanto, quando a possibilidade do reciclo acaba se esgotando, é necessária sua eliminação, gerando assim, o terceiro resíduo da produção da cerveja, a levedura residual (Figura 6).

A levedura residual apresenta composição predominantemente proteica, sendo entre 30 a 60%, em base seca, às quais possuem um elevado grau de aminoácidos essenciais em sua estrutura (VILELA, SGARBIERI e ALVIM, 2000). Entre os aminoácidos presentes, estão a leucina, valina, triptofano, lisina, isoleucina dentre outros, ocorrendo deficiência de aminoácidos sulfurados na sua composição (YAMADA, ALVIM, *et al.*, 2003).

Existem também outras substâncias presentes nesse resíduo, como no caso de 35 a 45% de carboidratos, e 5 a 7,5% de minerais, dentre eles selênio, cálcio, fósforo, potássio, magnésio, ferro e outros (PINTO, LOPES, *et al.*, 2013).

Figura 6 - Levedura Residual



Fonte: Próprio Autor

#### 3.6.4 Terra Diatomácea

O último resíduo sólido do processo de fabricação da cerveja, é a terra diatomácea (Figura 7) ou *kieselguhr*, resultante do processo de clarificação. É natural de terrenos de sedimentação, essencialmente de áreas de formação oceânica ou lacustre, constituída principalmente da acumulação de esqueletos e fósseis de algas pré-históricas, as diatomáceas (ALTISSIMO, 2016).

Esse resíduo apresenta excessiva porosidade, promovendo uma grande área de superfície de contato, com isso é utilizado como um agente de filtração por profundidade. Representa atualmente o melhor meio de filtração para a indústria cervejeira (MATHIAS, 2015).

A terra diatomácea é um sedimento amorfo, que possui predominantemente a presença de sílica opalina, mas possui outros constituintes também, em menores proporções, como alumínio, cálcio, ferro, sódio, potássio, magnésio (EDIZ, BENTLI e TATAR, 2010). Também pode ser encontrado outros minerais, em menor quantidade, chamados de minerais secundários, como argilominerais, mica, calcita, feldspato e impurezas de matéria orgânica (MATEO, CUEVAS, *et al.*, 2017).

Figura 7 - Terra Diatomácea



Fonte: Próprio Autor

### 3.7 Utilização dos Resíduos Sólidos de acordo com a Literatura

A literatura apresenta a utilização de bagaço de malte na alimentação de suínos, indicando que a adição de 15% de bagaço de malte é o ideal para ter um balanceamento nutricional da dieta de suínos que estão em crescimento e terminação (VIEIRA e BRAZ, 2009). Em um estudo semelhante, uma adição ideal para a alimentação de suínos em terminação sendo de 20% (ALBUQUERQUE, LOPES, *et al.*, 2011).

A utilização da levedura residual cervejeira como suplementação de vacas leiteiras também é sugerido por alguns autores, como Oliveira e Fontes. A aplicação de uma dieta baseada na utilização de milho, polpa cítrica e levedura residual cervejeira gerou ganho em eficiência alimentar por resultar na mesma produção de leite com um menor consumo de matéria seca (OLIVEIRA, BITENCOURT, *et al.*, 2010). Um estudo com vacas da raça Holstein-Frisian, por exemplo, onde levedura residual foi utilizada como parte da dieta dos animais, mostrou que após seis semanas não houve mudança no volume da produção de leite (FONTES e FISCHER, 1979).

Além da alimentação suína e bovina, um outro estudo avaliou a utilização dos resíduos na alimentação de cabras leiteiras na fase final de lactação, concluindo que não houve nenhuma alteração na produção do leite, recomendando a utilização de 20% do resíduo na alimentação dos animais por gerar um melhor retorno econômico e por responder a uma produção maior de leite (MENDONÇA, 2012).

Existem ainda, outras proposições para o reaproveitamento dos resíduos orgânicos da cervejaria, como a produção de biogás através da digestão anaeróbia, onde estudos mostraram que a co-digestão de dois ou mais substratos possibilitam ganhos significativos na produção de metano (POLASTRI, SIMÕES, *et al.*, 2019). Além de biogás, a produção

de bioetanol também é possível, graças à grande presença de hemicelulose, celulose e lignina na composição do bagaço de malte, que servem de matéria-prima para este combustível (GENCHEVA, DIMITROV, *et al.*, 2012). Estas alternativas apresentam maior vantagem para cervejarias de grande porte, pois é necessário uma quantidade muito grande de resíduos para a produção em volume considerável destes combustíveis. (ACACIO, APYAN, *et al.*, 2011)

Outra destinação possível para o bagaço de malte é a fabricação de produtos com valor agregado, como o caso do xilitol, ácido láctico e de compostos fenólicos (MUSSATTO, DRAGONE, *et al.*, 2008).

Já para a terra diatomácea, estudos apontam a possibilidade de reutilização deste resíduo nas próprias cervejarias durante o processo de filtração, onde, por tratamento térmico a 700°C, é possível recuperá-la quase de forma integral, sendo que suas propriedades físico-químicas resultantes ficaram muito próximas da terra diatomácea original (GOULARTI, SILVEIRAI, *et al.*, 2011).

Ainda existe uma possível destinação para os resíduos estudados, que é a utilização como matéria prima para a produção de tijolos ecológicos, que são assim chamados pois não são queimados em fornos durante a produção, diferente do tijolo tradicional, o que evita o corte de árvores para a utilização da madeira nos fornos, e também a emissão de gases poluentes na atmosfera (FIAIS e SOUZA, 2007). Um estudo demonstrou que a utilização das cinzas tanto do bagaço de malte como da levedura residual na produção de tijolos ecológicos, promove a formação de silicatos, que em contato com a água promovem maior resistência ao material (AMARAL, 2014).

### **3.8 Caldeira de Biomassa**

A caldeira consiste em um equipamento que possui um reservatório, um conjunto de tubos, e um aparelho para o aquecimento da água, que ocorre através da troca térmica entre o combustível e a água. Esse aquecimento pode ocorrer utilizando combustíveis como petróleo, carvão e biomassa (ALTAFINI, 2002).

Classifica-se como biomassa qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia elétrica, mecânica ou térmica. Quando usada com a finalidade energética, é classificada em três grupos, sendo eles: florestal, agrícola e resíduos urbanos. Seu potencial energético depende de dois fatores, a matéria prima utilizada e a tecnologia empregada no processamento (MURARO, 2018).

O processo de geração de vapor pela caldeira de biomassa começa na fornalha, ou queimador, que consiste em um recipiente separado, onde irá ocorrer a queima da biomassa. Então, com a liberação do calor, ocorre o aquecimento da água e em seguida a liberação do vapor. O aquecimento da água pode ocorrer de duas maneiras, dependendo o tipo de caldeira, podendo ser do tipo Flamotubular, onde os gases de combustão são conduzidos por todo o interior. Ou do tipo Aquatubular, onde os gases de combustão possuem uma circulação exterior, e a água e o vapor são conduzidos pelos tubos (ALTAFINI, 2002).

Existe ainda um tipo de caldeira que possui características de ambos os tipos citados, a caldeira Mista, onde a produção de parte do vapor acontece na fornalha devido ao aquecimento da água dentro dos tubos com gases do lado externo, característica da Aquatubular. Já a parte da convecção ocorre através da passagem dos gases de combustão pelo interior dos tubos e o aquecimento da água do lado externo, característica das Flamotubulares (MURARO, 2018).

## 4 METODOLOGIA

O método de estudo de caso foi escolhido para a análise deste trabalho, pois a destinação de resíduos sólidos provenientes do processo de cerveja é um tema abrangente e complexo. Trata-se de um método qualitativo, de caráter exploratório e descritivo (YIN, 2001), que busca comparar e/ou sugerir opções sustentáveis para o problema.

Como base do estudo, foi escolhida uma cervejaria de grande porte que possui várias fábricas, dentro e fora do país. A planta avaliada situa-se no estado de São Paulo e produz cervejas dos tipos Pilsen, Weiss, IPA, entre outras. Sua produção anual atinge milhões de hectolitros, o que reflete uma grande geração de resíduos sólidos.

Os principais resíduos sólidos gerados pela empresa são o bagaço de mate, leveduras residuais e terra diatomácea. O *trub* quente também é produzido, porém é totalmente reaproveitado no próprio processo de fabricação da cerveja durante a fervura do mosto, e, portanto, não será abordado como resíduo neste trabalho.

### 4.1 Coleta de Dados

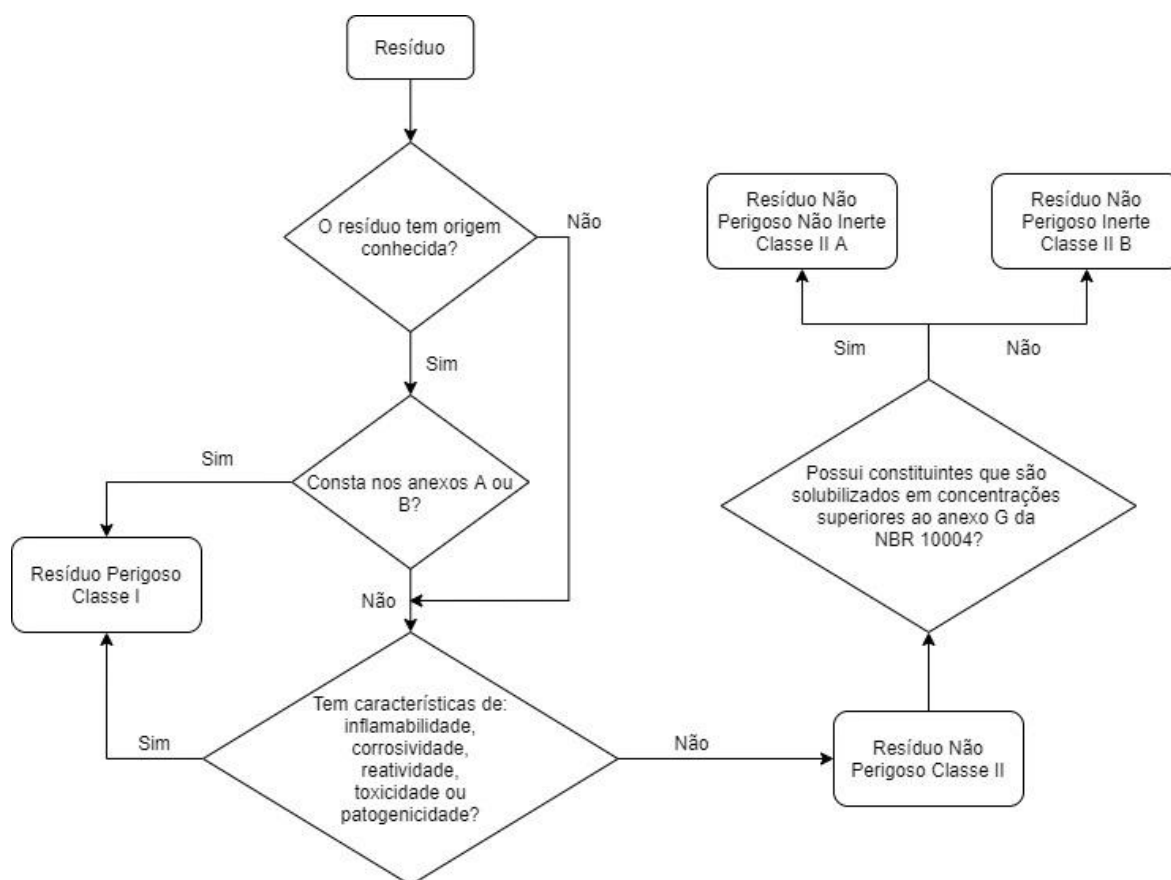
A coleta de dados teve como base informações sobre o volume filtrado de cerveja, e o respectivo volume de resíduos sólidos gerados por essa produção. Os dados referem-se ao período que se inicia em janeiro de 2018 e que termina em dezembro de 2019. Além disso, buscou-se através da literatura entender o impacto gerado por tais resíduos e propor melhores aplicações, a fim de preservar o meio ambiente.

### 4.2 Caracterização de Resíduos

#### 4.2.1 ABNT NBR 10004:2004

A caracterização dos resíduos foi feita conforme propõe a norma ABNT NBR 10.004:2004. A partir do fluxograma apresentado (Figura 8) cada resíduo foi classificado em umas das três classes existentes: Resíduos Perigosos (I), Resíduo Não Perigoso e Não Inerte (IIA) ou Resíduo Não Perigoso e Inerte (IIB).

Figura 8 - Classificação de Resíduos ABNT NBR 10.004



Fonte: Adaptado de (ABNT, 2004)

## 4.2.2 Caracterização Físico-química

A caracterização físico-química foi feita a partir de proposições da literatura, dado que não foi possível a realização de estudos amostrais.

### 4.2.2.1 Caracterização do Bagaço de Malte e Leveduras Residuais Cervejeiras

Estudos da literatura mostram que a análise físico-química do bagaço de malte e de leveduras residuais é feita a partir dos resíduos brutos e de suas frações total e solúvel. Assim, parâmetros como teor de umidade do resíduo mineral fixo (cinzas), teor de açúcares redutores solúveis, teor de carbono total, teor de nitrogênio total e proteínas brutas, teor de aminoácidos e Demanda Química de Oxigênio (DQO) são determinados.

### 4.2.2.2 Caracterização da Terra Diatomácea

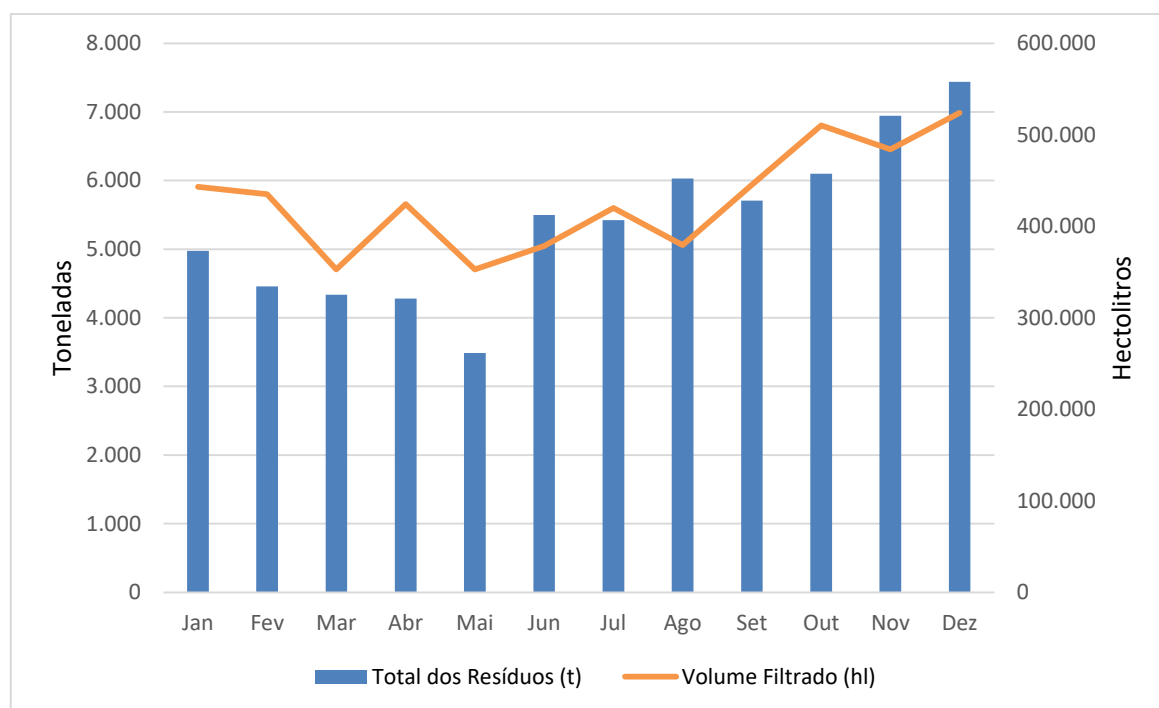
A determinação da análise físico-química da terra diatomácea na literatura ocorreu a partir de análises de pH, a determinação da densidade aparente, da densidade úmida, do teor de umidade na base seca, e o teste de sedimentação. A análise considerou a terra diatomácea saturada com matéria orgânica, logo após o processo de filtração da cerveja.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Volume de Resíduos Produzidos

O volume total de cerveja produzido no ano de 2018, pela cervejaria estudada, foi de 5.151.457,62 hectolitros (Figura 9). Sendo que o volume produzido no segundo e no terceiro trimestre são inferiores ao primeiro e ao quarto trimestre, isso ocorre pelo fato do consumo do produto ser menor nas épocas mais frias do ano, baixa temporada para a indústria cervejeira.

Figura 9 - Quantidade de Resíduos e Volume Filtrado em 2018

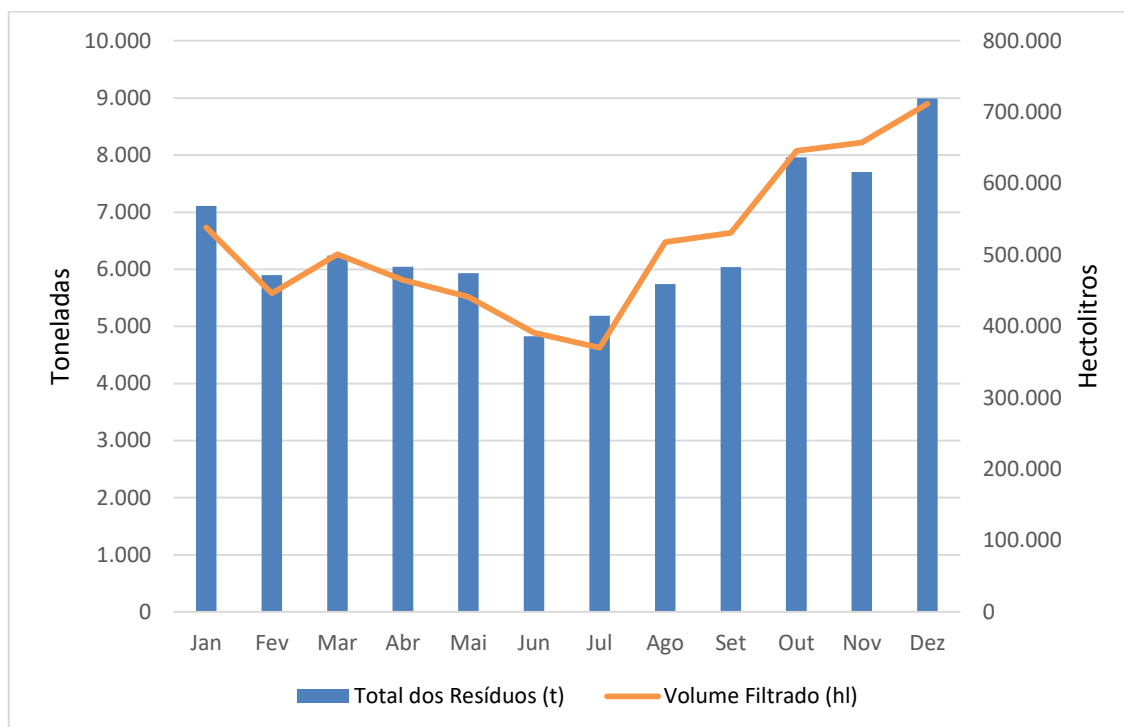


Fonte: Dados Fornecidos pela Cervejaria

A quantidade de resíduos produzido no mesmo período foi de 53.233,28 toneladas de Bagaço de Malte, 11.009,16 toneladas de Levedura Residual Cervejeira (LRC) e 437,73 toneladas de Terra Diatomácea (Figura 10).



Figura 10 - Quantidade de Resíduos e Volume Filtrado em 2019

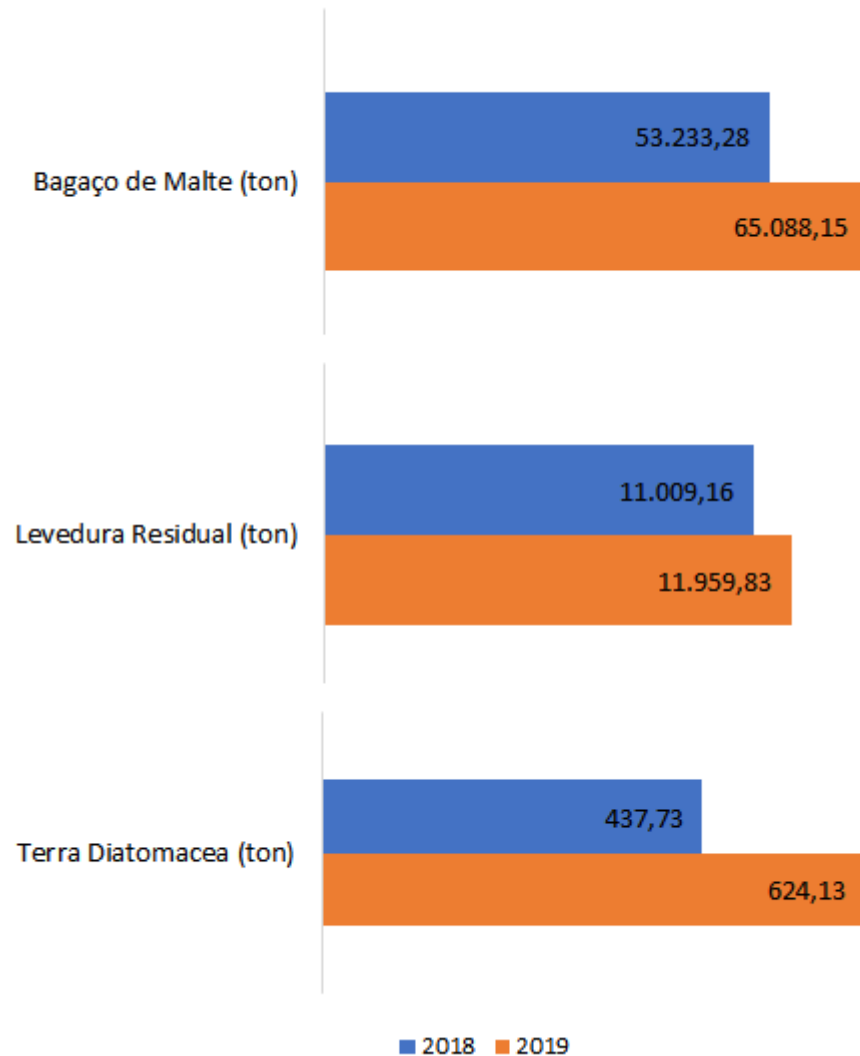


Fonte: Dados Fornecidos pela Cervejaria

No ano de 2019 ocorreu um aumento de aproximadamente 21% no volume total de cerveja em relação a 2018, totalizando 6.220.499,20 hectolitros (Figura 10). A distribuição da maior quantidade de cerveja produzida aconteceu durante o primeiro e o quarto trimestre, assim como no ano anterior. Este aumento produtivo reflete diretamente no volume gerado de resíduos.

A quantidade de resíduos produzidos no período foi de 65.088,15 toneladas de Bagaço de Malte, 11.959,83 toneladas de Levedura Residual Cervejeira (LRC) e 624,13 toneladas de Terra Diatomácea (Figura 11), 20,08% maior que o ano de 2018. Observa-se, portanto, uma tendência anual de crescimento.

Figura 11- Comparação da Quantidade de Resíduos entre os anos de 2018 e 2019



Fonte: Dados Fornecidos pela Cervejaria

## 5.2 Caracterização dos Resíduos

A caracterização dos resíduos estudados foi realizada segundo a ABNT NBR 10004:2004 e a caracterização físico-química encontrada na literatura e em outros trabalhos.

### 5.2.1 ABNT NBR 10004:2004

O Quadro 2 apresenta a classificação dos resíduos identificados conforme a metodologia descrita na norma ABNT NBR 10004:2004. Todos os resíduos pertencem à classe II A, sendo não perigosos e não inertes.

Quadro 2 - Classificação ABNT NBR 10.004

Resíduo	Classificação ABNT NBR 10.004
Bagaço de Malte	Classe II A
Levedura Residual Cervejeira	Classe II A
Terra Diatomácea	Classe II A

Fonte: Próprio Autor

## 5.2.2 Caracterização Físico-Química do Bagaço de Malte e LRC

### 5.2.2.1 Teor de Umidade

A literatura apresenta um elevado teor de umidade para o bagaço de malte residual de cervejarias. O percentual médio de umidade encontrado em diversos estudos é de aproximadamente 75% - 80%, variando de autor para autor, segundo a Tabela 1. Essa alta umidade é decorrente da retenção de água após o processo de clarificação. O alto teor de umidade também está presente na levedura residual cervejeira, e o percentual médio varia de 80% - 90%, dependendo da literatura utilizada, conforme a Tabela 1.

Estes resultados demonstram que a eficácia na desidratação destes compostos deve ser alta, para que seja possível um armazenamento sem risco de contaminação e que possibilite sua reaplicação para outros fins. No caso do bagaço de malte, por exemplo, muitas cervejarias utilizam um método de secagem composto por duas etapas, resultando em um teor de umidade de aproximadamente 10% (ALIYU e BALA, 2011).

Tabela 1 - Umidade dos Resíduos (%)

Bagaço de Malte	Levedura Residual Cervejeira	Autores
90	-	(BRIGGS, BOULTON, <i>et al.</i> , 2004)
77	83	(KLAGENBOECH, THOMAZINI e SILVA, 2011)
82	86	(MATHIAS, 2015)
-	90	(FERREIRA, PINHO, <i>et al.</i> , 2010)
-	90	(FILLAUDEAU, BLANPAIN-AVET e DAUFIN, 2006)
-	90	(HOUGH, 1990)

Fonte: Próprio Autor

### 5.2.2.2 Resíduo mineral fixo dos resíduos secos – Cinzas

A literatura indica que o bagaço de malte incinerado, apresenta composição mineral que varia de 2,3% até 7,9%. Essa faixa de valores é devido à variação da cevada utilizada, além das condições de cultivo e do próprio processo de produção da cerveja (MUSSATTO, DRAGONE, *et al.*, 2008).

Já para a levedura residual cervejeira, esses valores são, em geral, em torno de 6%, apresentando uma certa variação entre os estudos considerados (Tabela 2). A composição é muito influenciada pela escolha das células, variação entre as espécies, além da etapa em que foram extraídas e o número de vezes que foram reutilizadas.

Tabela 2 - Teor de Cinzas dos Resíduos (% m/m)

Bagaço de Malte	Levedura Residual Cervejeira	Autores
3,4 – 4,0	-	(SANTOS, JIMÉNEZ, <i>et al.</i> , 2003)
3,8	5,8	(MATHIAS, 2015)
4,9	-	(NIEMI, FAULDS, <i>et al.</i> , 2012)
4,4	-	(ZHAOXIA, JINLONG, <i>et al.</i> , 2012)
2,3 – 7,9	-	(ALIYU e BALA, 2011)
-	6,9	(COSTA, MAGNANI e CASTRO-GOMEZ, 2012)
-	6,9	(VILELA, SGARBIERI e ALVIM, 2000)
-	6,0	(YAMADA, ALVIM, <i>et al.</i> , 2003)
-	2,0	(PINTO, LOPES, <i>et al.</i> , 2013)

Fonte: Próprio Autor

### 5.2.2.3 Teor de açúcares redutores

A literatura indica que tanto o bagaço de malte, quanto as leveduras residuais apresentam baixo índice de açúcares redutores, sendo essencialmente compostos por fibras e proteínas, no caso do bagaço, e carboidratos nas leveduras. Ambos os resíduos apresentam composição de, aproximadamente, 1% de açúcares redutores (MATHIAS, 2015).

#### **5.2.2.4 Teor de carbono total nos resíduos quentes**

Por possuir muitos compostos orgânicos de cadeia carbônica, dentre eles a hemicelulose, lignina, celulose e proteínas, a concentração de teor de carbono total no bagaço de malte tende a ser elevada, chegando a um percentual de aproximadamente 50%. O mesmo ocorre para as leveduras residuais, que também possuem cadeias carbônicas em sua estrutura, com composição em torno de 50% de carbono em sua massa seca (MATHIAS, 2015).

#### **5.2.2.5 Teor de nitrogênio total, solúvel e proteínas brutas**

Segundo De Clerck (1957), o percentual de proteínas brutas no bagaço de malte equivale a, aproximadamente, 25% de sua matéria seca, considerando um teor de umidade 80%. Já para leveduras residuais, esse valor deve variar entre 45% e 70%, sendo dependente do estado fisiológico das células.

#### **5.2.2.6 Teor de aminoácidos (FAN – *Free Amino Nitrogen*) da fração residual**

O bagaço de malte, por ter sido lavado durante o processo cervejeiro, tende a perder a maior parte de sua fração solúvel, o que resulta em um baixo valor de aminoácidos nitrogenados livres em sua porção residual (STEWART e PRIEST, 2006). Já as leveduras residuais apresentam elevado teor de aminoácidos, associados principalmente à liberação de seus componentes durante a lise celular. Dentre os principais aminoácidos constituintes das leveduras residuais estão a lisina, leucina, isoleucina, dentre outros (YAMADA, ALVIM, *et al.*, 2003).

#### **5.2.2.7 Demanda química de oxigênio (DQO)**

Devido à baixa composição solúvel dos resíduos em questão, a DQO obtida para os dois tipos de resíduos é elevada, de aproximadamente 120.920 mg/l (SELUY e ISLA, 2014). Isso significa que, se despejados diretamente no meio ambiente, impactam negativamente o ecossistema, reforçando a necessidade de reutilização e/ou tratamento prévio antes de seu descarte (CORDEIRO, EL-AOUAR e GUSMÃO, 2012).

### **5.2.3 Caracterização Físico-Química da Terra Diatomácea**

#### **5.2.3.1 pH**

A terra diatomácea possui pH naturalmente alcalino próximo de 8,59. Porém com a presença da matéria orgânica após o processo de filtração, o pH da terra diatomácea passa a ser aproximadamente de 5,62 (GOULARTI, SILVEIRAI, *et al.*, 2011).

### **5.2.3.2 Densidade Aparente, Densidade Úmida e Teor de Umidade**

Os valores da densidade aparente, densidade úmida e o teor de umidade em base seca, variam conforme a quantidade de matéria orgânica aderida (Tabela 3). Sendo que, esses valores para a terra diatomácea original são 204,8 g/L para a densidade aparente, 402,0 g/L para a densidade úmida e 0,16% para o teor de umidade em base seca (GOULARTI, SILVEIRAI, *et al.*, 2011).

### **5.2.3.3 Teste de Sedimentação**

Por possuir origem sedimentar, o valor de sedimentação da terra diatomácea após o processo de filtração da cerveja é de 0,82g sendo que para a terra diatomácea original é de 1,63g (GOULARTI, SILVEIRAI, *et al.*, 2011).

### **5.2.3.4 Umidade**

O teor de umidade também é alto, sendo de, aproximadamente, 65% - 80%, podendo variar de acordo com o local de origem do minério (PIMENTEL, 2006).

### **5.2.3.5 Resíduo mineral fixo dos resíduos secos – Cinzas**

Para a terra diatomácea, esses valores são elevados, sendo aproximadamente de 30%, devido à presença de sílica e compostos inorgânicos, além dos resquícios de composto orgânicos provenientes do processo de produção da cerveja (PIMENTEL, 2006).

### **5.2.3.6 Demanda química de oxigênio (DQO)**

A terra diatomácea apresenta elevada concentração de DQO após o processo de filtração da cerveja, sendo de aproximadamente 121.667 mg/l (PIMENTEL, 2006). Quanto maior a concentração de matéria orgânica maior é a proliferação das bactérias, apresentando maior atividade de respiração, causando o maior consumo de oxigênio do meio aquático.

Tabela 3 - Características Físico-Química da Terra Diatomácea Saturada

Caracterização Físico-Química	(GOULARTI, SILVEIRAI, <i>et al.</i> , 2011)	(PIMENTEL, 2006)
pH	5,92	-
Densidade Aparente (g/l)	276,7	-
Densidade Úmida (g/l)	399,6	-
Teor de Umidade em Base Seca (%)	2,34	-
Sedimentação (g)	0,82	-
Cinzas (%)	-	28,37
Teor de Umidade (%)	-	71,65
DQO (mg/l)	-	121.667

Fonte: Próprio Autor

### 5.3 Proposta de Utilização dos Resíduos Sólidos

A cervejaria estudada, atualmente utiliza uma empresa terceirizada para a coleta dos resíduos sólidos produzidos na fabricação da cerveja, cujo destino é concentrado em produtores rurais próximos da região de Itu/SP que os utilizam como parte da alimentação de gado leiteiro e gado de corte. Esta proposta de reutilização é bastante citada entre os autores que propõem uma correta destinação a estes resíduos sólidos.

Isso é explicado, pois o bagaço de malte possui alto valor proteico e é predominantemente fibroso, além de apresentar vitaminas, aminoácidos, possuindo um alto valor nutricional. Para a empresa estudada, esta é uma alternativa interessante, pois existem algumas fábricas que produzem ração animal na região de Campinas, próxima à região de Itu-SP. A levedura residual, por apresentar também um alto valor proteico, é de forma semelhante indicada para essa finalidade, porém por gerar produtos de valor nutricional ainda maior, está ganhando destaque na aplicação da indústria farmacêutica e na dieta humana (MATHIAS, 2015).

Uma destinação para o bagaço de malte e para a levedura residual, é a sua utilização como combustível na caldeira de biomassa instalada na cervejaria em 2019. Atualmente a caldeira de biomassa do tipo Mista trabalha com dois tipos de combustíveis, o primeiro sendo os gases produzidos pela estação de tratamento de efluentes da cervejaria, e o segundo sendo cavaco de madeira, esse podendo ser substituído pelo bagaço de malte e pela levedura residual. O resíduo gerado, pela utilização do bagaço de malte e a levedura residual, é a cinza desses resíduos.

A partir disso, é possível destinar as cinzas do bagaço de malte, da levedura residual e ainda a terra diatomácea para cerâmicas, que são muito presentes na região, para a produção de tijolos ecológicos. Os tijolos ecológicos possuem a vantagem de um ótimo isolamento térmico, além de uma durabilidade que chega a ser seis vezes maior que as dos tijolos convencionais. Além disso, sua produção demanda quantidades menores de cimento, ferro e madeira (FLORIANI, 2017).

Além disso, pela terra diatomácea apresentar uma sedimentação baixa (Tabela 3) e ter sílica na sua composição, a sua utilização na produção de tijolo ecológico faz com que possua resistência acima de 1,7 Mpa (BETSUYAKU, JUNIOR e VALADÃO, 2017), sendo que para o tijolo tradicional é de 1,5 Mpa.

Corroborando com este cenário proposto, no ano de 2020, por conta da pandemia do novo coronavírus (Sars-CoV-2), ocorreu um crescimento no segmento da construção civil e das reformas, isso se deve ao fato das pessoas estarem passando mais tempo dentro de casa, e assim começaram a enxergar a necessidade de melhorar o ambiente. Com isso ocorreu um aumento na demanda de materiais de construção e escassez de matérias primas para sua produção, principalmente do tijolo. Estes dois fatores geraram, além da falta de material disponível, o aumento do preço do tijolo tradicional, o que pode ser demonstrado pela Tabela 4. Já para o tijolo ecológico variação apresentada é menor quando comparada com o tijolo tradicional.

O aumento na demanda por tijolos e o aumento da produção de resíduos por parte da indústria de bebidas, apresentam uma oportunidade de crescimento da produção de tijolos ecológicos. Além disso, na região de Itu, várias cerâmicas já produzem o tijolo ecológico e seriam beneficiadas por um acordo com a cervejaria citada.

Tabela 4 - Variação do Preço do Tijolo entre 2019/2020

Tipo	Valor em 09/19	Valor em 09/20	Variação
Tijolo Tradicional	R\$ 0,50	R\$ 1,20	40%
Tijolo Ecológico	R\$ 0,75	R\$ 1,25	33,3%

Fonte: Adaptado de (BOURGUIGNON, 2020) e (EcolojiT, 2020)



## 6 CONCLUSÃO

Com o levantamento de dados a respeito da produção de resíduos da cervejaria, foi possível concluir um aumento significativo no ano de 2019 quando comparado com 2018. Isso se deve ao fato de a produção de cerveja ter aumentado cerca de 21% de um ano para o outro. Nota-se, também, que durante dezembro e janeiro ocorreu a maior produção de cerveja, resultando na maior produção de resíduos.

Dentre as muitas formas de utilização de resíduos, foi possível concluir que a produção de tijolos ecológicos é indicada, pois, além de absorver tanto as cinzas do bagaço de malte e da levedura residual, quanto a terra diatomácea, essa destinação funciona como um incentivo à produção mais limpa de tijolos, dado que estes não necessitam da queima em fornos para sua produção, evitando assim a liberação de gases poluentes e o corte de árvores para tal fim.

Considerando a localização geográfica da cervejaria estudada, e o aumento progressivo dos resíduos, é possível que com o tempo, a necessidade de consumo animal, destino atual dos resíduos, não absorva toda a produção existente. Sendo que são produtores rurais que recebem os resíduos.

Além disso, para a cervejaria, essa região é especialmente atrativa, por possuir várias cerâmicas localizadas nas proximidades que já produzem o tijolo ecológico, e outras que podem começar a produzir, pois o processo de produção é muito simples, sendo basicamente uma mistura de cimento, água, argila e areia, que pode ser substituída pelas cinzas dos resíduos orgânicos ou a terra diatomácea.

## 7 REFERÊNCIAS

- ACACIO, K. et al. **Alternative Uses for Brewers' Spent Grain**. Illinois Institute of Technology. [S.l.]. 2011.
- ALBUQUERQUE, D. M. N. et al. Resíduo Desidratado de Cervejaria para Suínos em Terminação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 2, p. 465-472, mar. 2011.
- ALIYU, S.; BALA, M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, p. 324-331, Janeiro 2011. ISSN 1684-5315.
- ALTAFINI, C. R. **Apostila sobre Caldeiras**. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, p. 36. 2002.
- ALTISSIMO, R. G. **Estudo de Caso da Viabilidade Técnico-Econômica da Reutilização do Resíduo de Terra Diatomácea em Indústria Cervejeira**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2016.
- AMARAL, M. C. **Avaliação da Incorporação de Resíduo de Cinzas de Bagaço de Cana-de-Açúcar em Tijolo Solo-Cimento**. Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF. Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro, p. 101. 2014.
- AMORIM, H. V. D. **Linhagens de Leveduras Personalizadas para Produção de Etanol: Seleção Dirigida pelo Processo**. 1ª. ed. Piracicaba: Fermentec Tecnologias em Açúcar e Alcool Ltda., v. 1, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro. 2004.
- ASSOCIATION, A. P. H. **Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater**. [S.l.]: American Public Health Association, v. 21, 2005.
- BANDINELLI, P. C. **Estudo de caso de melhoria no processo de mosturação de uma cervejaria no RS**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2015.
- BARCHET, R. Hot Trub: Formation and Removal. **Brewing Techniques**, v. 1, n. 4, 1993.
- BAXTER, E. D.; HUGHES, P. S. An Overview of the Malting and Brewing Process. In: BAXTER, E. D.; HUGHES, P. S. **Beer: Quality, Safety and Nutritional Aspects**. 1ª. ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001. Cap. 1, p. 1-13.
- BETSUYAKU, R. Y.; JUNIOR, H. G. D.; VALADÃO, I. C. R. P. Produção de tijolo ecológico com resíduo de Areia Diatomácea. **CADERNOS UniFOA**, Volta Redonda, n. 34, p. 23-33, ago. 2017. ISSN 1982-1816.

BOULTON, C.; QUAIN, D. The brewing process. In: BOULTON, C.; QUAIN, D. **Brewing Yeast and Fermentation**. 1ª. ed. Ames: Blackwell Publishing, 2001. Cap. 2, p. 19-68.

BOURGUIGNON, N. Preço dos Materiais de Construção Disparam e Construtoras Reclamam. **A Gazeta**, 2020. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/es/economia/precos-de-materiais-de-construcao-disparam-e-construtoras-reclamam-0920>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001**. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. [S.l.], p. 4. 1986.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de ago. de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, ago 2010.

BRIGGS, D. E. et al. **Brewing Science and Practice**. 1ª. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2004.

CERVBRASIL. Dados do Setor. **CervBrasil - Associação Brasileira da Indústria da Cerveja**, 2018. Disponível em: <[http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/dados-do-setor/](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/)>. Acesso em: 23 Setembro 2019.

CETESB. Mortandade de Peixes. **Cetesb - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/>>. Acesso em: 28 out. 2020.

CIGAGNA, C. **Estudo da Eutrofização do Reservatório da Floresta Estadual "Edmundo Navarro de Andrade" (FEENA) - Rio Claro - SP**. Universidade Estadual Paulista - Unesp. Rio Claro, p. 136. 2013.

CORDEIRO, L. G.; EL-AOUAR, Â. A.; GUSMÃO, R. P. Caracterização do Bagaço de Malte Oriundo de Cervejarias. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 3, p. 20-22, 2012. ISSN 1981-8203.

COSTA, A. G.; MAGNANI, M.; CASTRO-GOMEZ, R. J. H. Obtenção e Caracterização de Manoproteínas da Parede Celular de Leveduras de Descarte em Cervejaria. **Acta Scientiarum**, v. 34, n. 1, p. 77-84, 2012. ISSN 1807-863X.

COSTA, F. S. F. **Estudo do Resíduo Gerado Pela Indústria Cervejeira Artesanal, trub Quente, Caracterização Fitoquímica e Avaliação de Atividades Antimicrobiana e Antioxidante**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2017.

DE CLERCK, J. **A Textbook of Brewing Volume 1**. [S.l.]: Chapman & Hall, v. I, 1957.

ECOLOJIT. **EcolojiT**, 2020. Disponível em: <<https://www.ecolokit.com.br/tijolo-ecologico/inicio.html>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

EDIZ, N.; BENTLI, Í.; TATAR, Í. Improvement in Filtration Characteristics of Diatomite by Calcination. **International Journal of Mineral Processing**, Kutahya, v. 94, p. 129-134, 2010.

FERREIRA, I. M. P. L. V. O. et al. Brewer's *Saccharomyces* yeast Biomass: Characteristics and Potential Applications. **Trends in Food Science & Technology**, n. 21, p. 77-84, 2010. ISSN 0924-2244.

FIAIS, B. B.; SOUZA, D. S. D. Construção Sustentável com Tijolo Ecológico. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, Araçatuba - SP, v. 2, n. 1, p. 94-108, jan. 2007.

FILLAUDEAU, L.; BLANPAIN-AVET, P.; DAUFIN, G. Water, Wastewater and Waste Management in Brewing Industries. **Journal of Cleaner Production**, n. 14, p. 463-471, 2006. ISSN 0959-6526.

FLORIANI, H. A. **Utilização dos Resíduos Gerados na Filtração de Cervejas para a Produção de Tijolos Ecológicos**. Centro Universitário Facvest - UNIFACVEST. Lages, p. 48. 2017.

FONTES, R.; FISCHER, P. Experimento de Substituição da Suplementação Proteica por Autolizado de Fermento de Cerveja na Alimentação de Vacas Leiteiras da Raça Holstein-Frisian. **Pesquisa Agropecuária Tropical - UFG**, Goiania, v. 9, n. 1, p. 80-85, dez. 1979.

FORBES. 10 países que mais beberam e compraram cerveja no mundo em 2017. **Site da Forbes**, 2018. Disponível em: <<https://forbes.com.br/listas/2018/01/10-paises-que-mais-bebem-e-compram-cerveja/#foto8>>. Acesso em: 5 Outubro 2019.

GENCHEVA, P. et al. Hydrolysates from Malt Spent Grain with Potential Application in the Bioethanol Production. **Journal of BioScience and Biotechnology**, p. 135-141, 2012. ISSN 1314-6246.

GERON, L. J. V.; ZEOULA, L. M. **Silagem do Resíduo Úmido de Cervejaria: Uma Alternativa na Alimentação de Vacas Leiteiras**. Sinuelo Genética e Tecnologia Agropecuária. Curitiba, p. 5. 2016.

GOULARTI, M. R. et al. Metodologias para reutilização do resíduo de terra diatomácea, proveniente da filtração e clarificação da cerveja. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 625-629, Março 2011. ISSN 0100-4042.

HOUGH, J. S. **Biología de la Cerveza y de la Malta**. 1ª. ed. Zaragoza: Editorial ACRIBIA, S. A., 1990.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA. **Jornadas de lúpulo e cerveja: novas oportunidades de negócio**. 1. ed. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, v. 1, 2015.

JUNIOR, A. A. D.; VIEIRA, A. G.; FERREIRA, T. P. Processo de Produção de Cerveja. **Revista Processos Químicos**, Goiânia, v. 3, n. 6, p. 61-71, Julho 2009. ISSN 1981-8521.

JÚNIOR, O. C. et al. **O Setor de Bebidas no Brasil**. [S.l.]: BNDES - Biblioteca Digital.

KIRIN BEER UNIVERSITY. Kirin Beer University Report. **Kirin**, 2019. Disponível em: <[https://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2019/1224\\_01.html](https://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2019/1224_01.html)>. Acesso em: nov. 2020.

KLAGENBOECH, R.; THOMAZINI, M. H.; SILVA, G. M. C. Resíduo Úmido de Cervejaria: Uma Alternativa na Alimentação Animal. **Anais do III ENDICT - Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica**, Toledo, n. III, p. 7, out. 2011. ISSN 2176-3046.

LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. Alcoholic Beverage Fermentations. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. **Fermented Beverage Production**. 2ª. ed. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2003. Cap. 2, p. 25-38.

LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. Beers: Recent Technological Innovations in Brewing. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. **Fermented Beverage Production**. 2ª. ed. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2003. Cap. 3, p. 41-58.

LIMA, U. D. A. Bagaço de Malte de Cevada. In: LIMA, U. D. A. **Matérias-primas dos alimentos**. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, 2010. Cap. 4, p. 105-117.

MANOLLI, E. S. **Produção de cerveja utilizando laranja como adjunto de malte**. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de Lorena. Lorena. 2015.

MATEO, S. et al. Preliminary Study of the Use of Spent Diatomaceous Earth from the Brewing Industry in Clay Matrix Bricks. **Advances in Applied Ceramics: Structural, Functional and Bioceramics**, Jaen, v. 116, n. 2, p. 77-84, Agosto 2017. ISSN 1743-6761.

MATHIAS, T. R. D. S. **Aproveitamento Biotecnológico de Resíduos Industriais Cervejeiros**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Rio de Janeiro. 2015.

MATHIAS, T. R. D. S.; MELLO, P. P. M. D.; SÉRVULO, E. F. C. Solid wastes in brewing process: A review. **Journal of Brewing and Distilling**, Vassouras, v. V, p. 1-9, Julho 2014. ISSN 2141-2197.

MATOS, A. T. D. **Tratamento de Resíduos Agroindustriais**. Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 34. 2005.

MEGA, J. F.; NEVES, E.; ANDRADE, C. J. D. A Produção de Cerveja No Brasil. **Revista CITINO - Ciência, Tecnologia, Inovação e Oportunidade**, Joinville, v. 1, n. 1, p. 34-42, Outubro 2011. ISSN 2238-2461.

MELLO, E. T. D.; PAWLOWSKY, U. Minimização de resíduos em uma indústria de bebidas. **Brasil Alimentos**, São Paulo, v. 1, n. 17, p. 24-29, Novembro 2002.

MENDONÇA, L. M. **Utilização do Resíduo Umido de Cervejaria na Alimentação de Cabras Anglo Nubiana em Final de Lactação**. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, p. 66. 2012.

MEUSSDOERFFER, F. G. A Comprehensive History of Beer Brewing. In: MEUSSDOERFFER, F. G. **Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets**. Weinheim: WILEY-VCH, 2009. Cap. 1, p. 1-42.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. A Cerveja no Brasil. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/a-cerveja-no-brasil>>. Acesso em: 5 Outubro 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. A cada dois dias uma nova cervejaria abre as portas no Brasil. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2019. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/a-cada-dois-dias-uma-nova-cervejaria-abre-as-portas-no-brasil>>. Acesso em: 5 Outubro 2019.

MURARO, H. A. **Queima de Biomassa em Caldeiras e Aquecedores de Água**. Unopar. Ponta Grossa, p. 24. 2018.

MUSSATTO, S. I. et al. Total Reuse of Brewer's Spent Grain in Chemical and Biotechnological Processes for the Production of Added-Value Compounds. **Bioenergy: Challenges and Opportunities**, Guimarães, p. 6, abr. 2008.

NIEMI, P. et al. Effect of a Milling Pre-Treatment on the Enzymatic Hydrolysis of Carbohydrates in Brewer's Spent Grain. **Bioresource Technology**, n. 116, p. 155-160, 2012. ISSN 0960-8524.

OLIVEIRA, B. M. L. et al. Suplementação de Vacas Leiteiras com *Saccharomyces cerevisiae* cepa KA500. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Lavras, v. 62, n. 5, p. 1174-1182, ago. 2010. ISSN 0102-0935.

PAIXÃO, J. F. D. **Diagnóstico dos Resíduos: Relatório de Pesquisa**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea. Brasília, p. 9-10. 2012.

PIMENTEL, P. A. **Análise Físico-Química e Energética do Resíduo da Terra Diatomácea Utilizada Como Auxiliar de Filtração na Indústria de Cerveja**.

Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, p. 119. 2006.

PINTO, L. C. et al. Determinação do Valor Nutritivo de Derivados de Levedura de Cervejaria (*Saccharomyces* spp.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 7-17, 2013. ISSN 1517-8595.

POLASTRI, P. et al. Potencial da Produção de Biogás por meio da Digestão Anaeróbia do Bagaço de Malte. **2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**, Foz do Iguaçu, n. 2, p. 6, maio 2019.

RODRÍGUEZ, Y. B.; AGUILAR, I. G.; SILVA, J. B. D. A. E. Utilização do malte de sorgo na produção de cerveja: revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, p. 1-10, Junho 2018. ISSN 1981-6723.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A Química da Cerveja. **Química Nova**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 98-105, Maio 2015.

SANTOS, M. et al. Variability of brewer's spent grain within a brewery. **Food Chemistry**, v. 80, p. 17-21, 2003.

SANTOS, S. D. P. Introdução. In: SANTOS, S. D. P. **Os Primórdios da Cerveja no Brasil**. 1. ed. Cotia: Ateliê Editorial, v. 1, 2003. Cap. 1, p. 9-17.

SELUY, L. G.; ISLA, M. A. A Process To Treat High-Strength Brewery Wastewater via Ethanol Recovery and Vinasse Fermentation. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 53, p. 17043-17050, abr. 2014.

SILVA, H. A.; LEITE, M. A.; PAULA, A. R. V. D. Cerveja e sociedade. **Contextos da Alimentação – Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 85-91, Março 2016. ISSN 2238-4200.

STEWART, G. G.; PRIEST, F. G. **Handbook of Brewing**. 2ª. ed. [S.l.]: Taylor & Francis Group, 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. 1ª. ed. [S.l.]: Oficina de Textos', v. Unico, 2008.

VIEIRA, A. A.; BRAZ, J. M. Bagaço de Cevada na Alimentação Animal. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 6, n. 3, p. 973-979, jun. 2009.

VILELA, E. S. D.; SGARBIERI, V. C.; ALVIM, I. D. Valor Nutritivo da Biomassa de Células Íntegras, do Autolisado e do Extrato de Levedura Originária de Cervejaria. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 127-134, Maio 2000. ISSN 1678-9865.

YAMADA, E. A. et al. Composição Centesimal e Valor Protéico de Levedura Residual da Fermentação Etanólica e de seus Derivados. **Revista de Nutrição**, Campinas, p. 423-432, Outubro 2003. ISSN 1678-9865.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 2<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZHAOXIA, L. et al. Techniques Optimization of Combined Enzymatic Hydrolysis on Brewers' Spent Grain from Novozymes. **Journal of Life Sciences**, n. 6, p. 1232-1236, 2012.