

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM PORTO ALEGRE**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS E**  
**BIOTECNOLOGIA**

**JONATHAN NUNES ALVES**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO BAGAÇO DE MALTE:**  
**ABORDAGEM EXPERIMENTAL E SUAS POSSIBILIDADES DE**  
**APROVEITAMENTO**

**PORTO ALEGRE**

**2023**

**JONATHAN NUNES ALVES**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO BAGAÇO DE MALTE:  
ABORDAGEM EXPERIMENTAL E SUAS POSSIBILIDADES DE  
APROVEITAMENTO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Ma. Cristiane Cassales Pibernat

**PORTO ALEGRE  
2023**

Catálogo de Publicação na Fonte

A474c Alves, Jonathan Nunes.  
Caracterização físico-química do bagaço de malte: abordagem experimental e suas possibilidades de aproveitamento / Jonathan Nunes Alves. – Porto Alegre, 2023.  
[61] f.

Orientadora: Prof. Cristiane Cassales Pibernat.

Monografia (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, unidade em Porto Alegre, 2023.

1. Malte. 2. Biomassa. 3. Biocombustível. 4. Biorrefinaria. 5. Biotecnologia. I. Pibernat, Cristiane Cassales. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por Laís Nunes da Silva CRB10/2176.

**JONATHAN NUNES ALVES**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO BAGAÇO DE MALTE:  
ABORDAGEM EXPERIMENTAL E SUAS POSSIBILIDADES DE  
APROVEITAMENTO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Ma. Cristiane Cassales Pibernat

Aprovado em: 08 / 12 / 2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Profa. Ma. Cristiane Cassales Pibernat  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

---

Profa. Dra. Lilian Raquel Hickert  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Fernando Santos Almeida  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha mãe,  
Maria Cristina, que sempre foi um exemplo  
para mim e sempre incentivou-me a  
perseguir meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Dentre as mais de 12 mil palavras escritas neste projeto, estas foram as mais difíceis de escrever. Não por ser uma tarefa pesada, mas sim porque faltar-me-iam palavras para expressar meus sentimentos. Neste sentido, faço meu singelo agradecimento.

Agradeço primeiramente a UERGS, e todos os professores e técnicos que cruzaram meu caminho, pois fizeram parte do início desse ciclo. Não tenho dúvidas de que tornaram minha a minha jornada menos árdua. Faço um agradecimento especial a minha orientadora, Profa. Cristiane, pela paciência ao longo dos muitos projetos que realizamos juntos e pelo exemplo de profissionalismo que sempre demonstrou.

Expresso minha gratidão aos amigos que tive a honra de conhecer durante a minha trajetória acadêmica, tenho certeza que sem vocês eu não teria ido tão longe. Foram incontáveis momentos compartilhados, os quais jamais esquecerei. Cito, em especial, Dudu, Vini, Paula e Maria, muito obrigado por terem chegado até aqui comigo.

Não posso esquecer-me de meus amigos do Discord, amigos de longa data, que tornaram as noites mais leves, mesmo nos momentos mais difíceis. Espero continuar contando com vocês no restante da jornada.

Agradeço principalmente à minha família, se fora difícil tendo o suporte deles, não tenho dúvidas que teria sido impossível sem eles. Agradeço aos meus sobrinhos por ter a honra de tê-los próximo a mim; prometo-lhes sempre estar presente. Agradeço ao meu irmão Beto, que por um infortúnio do destino, não está mais entre nós, mas tenho certeza que estaria com um grande sorriso, dizendo estar orgulhoso. Agradeço ao meu irmão Jair, que tão logo assumiu-se como uma figura paterna, servindo-me de exemplo. Agradeço à minha irmã caçula Jeniffer, que sempre fez questão de dizer quão orgulhosa era e mesmo após tantas brigas entre irmãos, hoje não pediria para lhe devolver à maternidade. Agradeço especialmente a minha irmã Patrícia, por ter sido o suporte emocional que eu tanto precisei, mesmo muitas vezes não colocando-as em palavras, saiba que sou muito grato a você.

Agradeço a minha mãe, Maria Cristina, que sempre me apoiou em todas decisões tomadas, deixando-me acertar ou errar quando necessário, visando meu desenvolvimento.

Se cheguei até aqui, saiba que fora graças a senhora, que me serviu-me de exemplo pela sua dedicação para com os filhos. A senhora, uma mulher negra e sendo mãe solteira, sempre foi motivo de orgulho pra mim, pois mesmo nos momentos mais difíceis, se mostrou uma mulher forte e nos deu o seu melhor durante nossa criação. Agradeço ao meu pai Paulo, pelas dicas e conselhos ao longo de toda jornada e pelo apoio prestado durante esses anos.

Por fim, agradeço a minha melhor amiga Nathalia Noda, que por conta do destino, veio a se tornar minha namorada. Anseio por chamá-la de esposa. Sou grato pelos momentos únicos que compartilhamos, muitas vezes difíceis, mas tenho certeza que cada desafio fortaleceu ainda mais meus sentimentos por você. Você conhece meus medos e defeitos, mas ainda assim esteve presente durante toda essa árdua caminhada. Lembro-me da primeira vez que te vi; me apaixonei naquele instante, mas jamais pude imaginar o quão essencial você se tornaria em minha vida.

## RESUMO

A crescente demanda por produtos feitos com base em cereais maltados, aumentou consideravelmente o impacto ambiental por conta do aumento de resíduos gerados. O presente trabalho tem como objetivo realizar a caracterização físico-química inicial da biomassa de malte, abordando possibilidades e formas de melhorar os processos biotecnológicos envolvidos na destinação final do bagaço de malte gerados durante a produção de cerveja. Exploração de diferentes vias e o detalhamento das etapas visam buscar formas de utilizar esse resíduo como fonte alternativa de geração de recursos. A pesquisa foi baseada em estudos de caracterização da biomassa, sendo esta, submetida a análise de viabilidade para valorização por dois tratamentos distintos, pirólise e fermentação. A via pirolítica mostrou-se bastante desafiadora por conta da infraestrutura prévia e dos tratamentos necessários a obtenção do produto desejado. Contudo o alto teor de voláteis obtidos nas amostras pós-mostura, sendo de 83,58 % para a primeira e 83,76 % para a segunda mostura, indicam sua possibilidade de aproveitamento. Os teores de cinzas para a primeira e segunda mosturação foram 14,34 % e 14,01 %, respectivamente. Os teores de umidade foram de 82,24 % e 81,57 % para a primeira e segunda mostura e 2,48 % e 2,61 % para carbono fixo. Resultados preliminares obtidos em diferentes literaturas, demonstram que o bagaço de malte é uma biomassa promissora, para utilização em outros processos biotecnológicos.

**Palavras-chave:** Malte. Biomassa. Biocombustível. Biorrefinaria. Biotecnologia.



## **ABSTRACT**

The growing demand for products made from malted cereals has considerably increased the environmental impact due to the increase in waste generated. The present work aims to carry out an initial physical-chemical characterization of malt biomass, addressing possibilities and ways of improving the biotechnological processes involved in the final disposal of malt bagasse generated during beer production. Exploring different routes and detailing the stages, looking for ways to use this scarcity as an alternative source of generating resources. The research was based on biomass characterization studies, which were subjected to a predictive analysis for recovery through two different treatments, pyrolysis and inspection. The pyrolytic route proved to be very popular due to the planned infrastructure and the treatments necessary to obtain the desired product. However, the high volatile content obtained in the post-mix samples, being 83.58 % for the first and 83.76% for the second demonstration, indicates its possibility of use. The ash contents for the first and second presentations were 14.34 % and 14.01 %, respectively. The moisture contents were 82.24 % and 81.57% for the first and second mixtures and 2.48 % and 2.61 % for fixed carbon. Preliminary results obtained in different literature demonstrate that malt bagasse is a promising biomass for use in other biotechnological processes.

**Keywords:** Malt. Biomass. Biofuel. Biorefinery. Biotechnology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura molecular da celulose.....	18
Figura 2 - Representação estrutural genérica da lignina.....	19
Figura 3 - Estrutura representativa do xileno, um grupo de hemiceluloses .....	20
Figura 4 - Representação de um reator para pirólise rápida .....	28
Figura 5 - Rota metabólica para produção de etanol .....	31
Figura 6 - Efeito da aplicação do pré-tratamento na biomassa lignocelulósica .....	32
Figura 7 - Conjunto para teste de granulometria mecanizado .....	37
Figura 8 - Mosturação em laboratório .....	40
Figura 9 - Medição Brix da amostra.....	46
Figura 10 - Variação da fração ponderal pelo diâmetro médio do grão .....	47
Figura 11 - Histograma de dispersão granulométrica do malte.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise imediata de diferentes biomassas .....	22
Tabela 2 - Composição imediata do bagaço de malte .....	23
Tabela 3 - Análise elementar do bagaço de malte .....	24
Tabela 4 - Rendimentos típicos de produtos obtidos por diferentes modos de pirólise de madeira .....	26
Tabela 5 - Principais parâmetros de operação para processos de pirólise.....	27
Tabela 6 - Principais parâmetros de operação para processos de pirólise.....	28
Tabela 7 - Principais parâmetros de operação para processos de pirólise.....	29
Tabela 8 - Abertura de malha das peneiras granulométricas.....	38
Tabela 9 - Quadro de enzimas importantes que atuam na mosturação. ....	39
Tabela 10 – Análise imediata .....	49
Tabela 14 - Teor de carboidratos.....	54

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	15
2.1. OBJETIVOS GERAIS .....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	16
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
4.1. BIORREFINARIA: PRODUTOS DE INTERESSE DA BIOMASSA .....	17
4.5. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA .....	20
4.6. VIA INSUMOS AGRÍCOLAS .....	24
4.7. VIA ALIMENTAÇÃO ANIMAL .....	25
4.8. VIA PIROLÍTICA .....	26
4.8.1. <b>Conceito</b> .....	26
4.8.2. <b>Pirólise lenta</b> .....	27
4.8.3. <b>Pirólise rápida</b> .....	27
4.8.4. <b>Pirólise ultrarrápida</b> .....	29
4.9. <b>VIA FERMENTATIVA</b> .....	29
4.9.1. <b>Microrganismos</b> .....	29
4.9.2. <b>Fermentação</b> .....	30
4.9.3. <b>Fermentação alcoólica</b> .....	30
4.9.4. <b>Pré-Tratamento</b> .....	31
4.9.4.1. <i>Pré-tratamento físico</i> .....	32
4.9.4.2. <i>Pré-tratamento químico</i> .....	33
4.9.4.3. <i>Pré-tratamento biológico</i> .....	34
4.9.5. <b>Pré-tratamento combinado</b> .....	35
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	35
5.1. AMOSTRAS .....	35
5.2. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA .....	36
5.4. ANÁLISE DE AÇÚCARES REDUTORES .....	43
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	46
REFERÊNCIAS .....	57

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Supermercados - ABRAS (2021), a venda de cerveja no Brasil ultrapassou 13 bilhões de litros em 2020. A revista Beer Art, traz que a média de consumo anual de cerveja por brasileiros, beira incríveis 65 L per capita.

Levando em consideração que produção de cerveja hoje movimenta a economia, sustenta famílias e promove o desenvolvimento local ao entorno das cervejarias, vê-se a relevância econômica e até mesmo social desta bebida (PELLIN, 2016). Todavia, o aumento na produção de cerveja por cervejarias de menor porte, gerou o aumento de um passivo ambiental, cujo até mesmo as grandes cervejarias possuem problemas para lidar (ROSA, 2018).

A destinação final dos resíduos gerados durante a fabricação da cerveja tem sido um problema frequentemente encontrado. A produção de cerveja consiste basicamente na extração de açúcares fermentescíveis do grão do malte para posterior fermentação, porém após este processo, o bagaço do malte é descartado, sendo esta etapa o problema.

O bagaço de malte por muito tempo foi utilizado como insumo agrícola, sendo devolvido aos produtores de cevada para compor a nutrição do solo. Apesar de essa ainda ser uma das vias de destinação do bagaço hoje, já existe uma parcela de produtores que enviam seus resíduos para complementação da alimentação animal, introduzindo na produção de ração ou mesmo distribuindo integralmente *in natura* nos comedouros. Embora seja uma destinação mais ecologicamente viável, ainda sim está longe de ser a melhor utilização para o bagaço gerado. Estudos recentes, mostram que o aproveitamento dos resíduos de biomassa, utilizados na indústria, possuem alta aplicabilidade na produção de outros compostos com maior valor agregado, como por exemplo: Produção de etanol de segunda geração, extração de xilitol por conversão biotecnológica ou até mesmo produção de tijolos ecológicos. Desta forma tornar o que antes era um passivo ambiental como um ativo econômico, permitindo obter maior capitalização em cima da exploração total do mesmo insumo.

A alta produção de biomassa no Brasil permite que haja pesquisa nas mais diversas áreas, muitas delas voltadas na produção de combustíveis renováveis em prol da redução a utilização de resíduos fósseis.

A possibilidade de transformar resíduos de biomassa de malte em produtos de valor agregado permite e motiva estudos como o apresentado neste trabalho.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVOS GERAIS**

Este trabalho tem como objetivo trazer formas de repensar sobre os processos envolvidos na destinação final dos resíduos gerados durante a produção de cerveja, explorando diferentes vias, visando também o detalhamento das etapas e, assim, buscando melhorar o aproveitamento deste resíduo como fonte alternativa de geração de recursos.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir o objetivo geral do presente projeto, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Estudo sobre a origem e cenário local e mundial em relação ao consumo e produção da cerveja de forma a demonstrar a necessidade de estudos sobre o assunto;
- Caracterização do resíduo oriundo de cervejarias, partir de análises granulométricas, imediatas e cromatográficas;

### **3. JUSTIFICATIVA**

A utilização dos recursos naturais, tende a aumentar acompanhando o aumento populacional, tendo em vista que os recursos são finitos e em grande maioria não renováveis, estudos que visam melhorar a eficiência ou otimizar processos já estabelecidos com esses recursos são de grande importância para a sociedade.

Com o aumento da população, a geração de bens de consumo deve ampliar sua produção para acompanhar esse crescimento. A fabricação de bebidas é um setor rico da indústria e com muitos adeptos, havendo grande geração do produto acabado e como consequência, grande produção de resíduos durante a fabricação de seus bens.

Entretanto, a grande maioria das cervejarias não possui pesquisa nessa área do conhecimento, sendo assim, os resíduos possuem um enorme potencial de desenvolvimento, uma vez que boa parte desses recursos é subutilizado.

O potencial emergente desses recursos permite que estudos como este possam explorar alternativas viáveis de reaproveitamento, gerando assim ganhos com a gestão ambiental e também ganhos financeiros, pois aumenta o valor agregado do resíduo como produto.

Com o intuito de investigar a possibilidade de valorização dos resíduos gerados durante a produção de cerveja, seja em pequenas ou grandes cervejarias, o presente trabalho visa avaliar diferentes vias de obtenção de produto a partir desse recurso, que é amplamente disponível nas mais diferentes regiões do Brasil e do mundo.



## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico serão revisados os principais conceitos como base teórica do trabalho. Os temas abordados serão os conceitos, a caracterização da biomassa e as vias possíveis de destinação.

### 4.1. BIORREFINARIA: PRODUTOS DE INTERESSE DA BIOMASSA

O conceito de biorrefinaria não é algo novo, assim como sua prática em plantas industriais, a ideia geral não sofreu muitas alterações ao longo dos anos desde sua criação em meados dos anos 60. Em suma, o conceito de biorrefinaria é o emprego e/ou desenvolvimento de técnicas capazes de explorar da melhor forma possível um determinado subproduto, que é resultante da produção agrícola ou industrial (EMBRAPA AGROENERGIA, 2011).

Embora o conceito seja conhecido, ainda se vê receio na aplicação de recursos financeiros devido à alta taxa de mudança das tecnologias, contudo esse mesmo avanço da tecnologia permite a realização de pesquisas nos mais diversos tipos de matérias-primas que podem ser utilizadas. No Brasil, as biorrefinaria mais consolidadas no mercado financeiro são as de açúcar, papel e celulose, estas possuem ampla capacidade de aproveitar em totalidade os subprodutos gerados em suas produções (ASSAD, 2017).

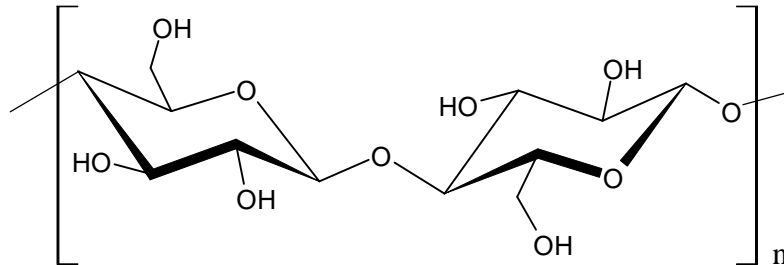
Diferentes tipos de matérias-primas podem ser submetidos a processos em diversas plataformas de biorrefinaria, dependendo apenas do produto final desejado. Apesar de haver origens diferentes, pode-se dizer que a constituição básica molecular de uma biomassa consiste de três moléculas principais: Celulose, Lignina e Hemiceluloses (VASSILEV, 2012).

### 4.2. CELULOSE

A celulose é o polímero natural que mais está presente no mundo e um dos principais constituintes da parede celular dos vegetais. Fornece rigidez e resistência, ambos importantes para o desenvolvimento da planta. É um polímero linear definido como homopolissacarídeo composto por unidades de D-Glicose unidas entre si por ligações glicosídicas  $\beta$  (1-4) como pode ser observado na Figura 1. Nos vegetais as

moléculas da celulose se dispõem paralelamente, arranjando em fibrilas as ligações com a hemicelulose e a lignina (ARANTES, 2010).

Figura 1 - Estrutura molecular da celulose

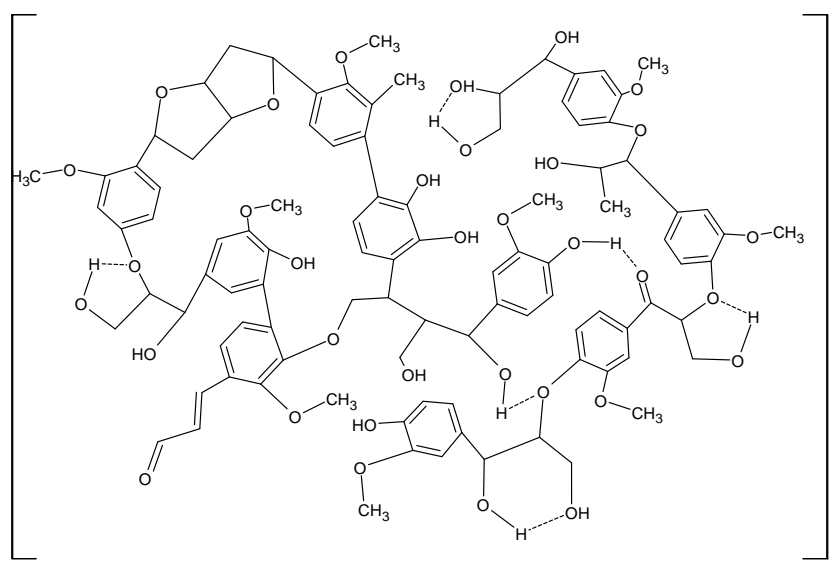


Fonte: Autor (2022)

#### 4.3. LIGNINA

Depois da celulose, a lignina é a macromolécula mais abundante dentre as biomassas (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013). É definida como uma substância hidrofóbica, com estrutura tridimensional e amorfa, altamente ramificada. Sua estrutura é muito mais complexa do que a celulose e a hemicelulose por possuir diversas unidades precursoras e ao grande número de combinações possíveis entre elas (MARABEZI, 2009), na Figura 2, é possível observar a grande presença de anéis aromáticos formando uma cadeia complexa.

Figura 2 - Representação estrutural genérica da lignina

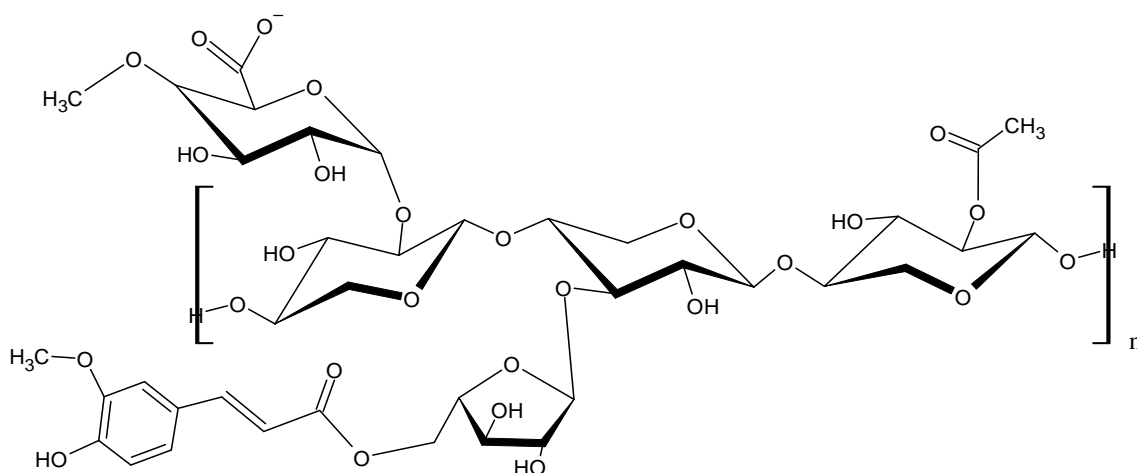


Fonte: Autor (2022)

#### 4.4. HEMICELULOSES

As hemiceluloses são heteropolissacarídeos complexos com cadeias menores que as da celulose e depositam-se na parede celular em uma etapa anterior a lignificação. São estruturalmente mais semelhantes a celulose do que com a lignina e a sua composição química varia de acordo com os vegetais, o tipo de tecido e outros fatores (SANTOS et al, 2013), são classificadas de acordo com o resíduo do açúcar principal. As hemiceluloses apresentam muitas ramificações, o que permite interagir facilmente com a celulose e com a lignina, a figura 3 representa a estrutura.

Figura 3 - Estrutura representativa do xileno, um grupo de hemiceluloses



Fonte: Autor (2022)

Sendo assim, podemos tratar essas três moléculas, como produtos de interesse no processo de tratamento da biomassa, uma vez que a rota mais adequada a ser escolhida para o aproveitamento da biomassa, depende das quantidades dispostas destas moléculas.

#### 4.5. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

O bagaço de malte gerado na produção de cerveja, mostrou-se muito promissor na disponibilidade dos produtos de interesse para reaproveitamento energético dessa biomassa (MASSARDI, 2020).

Estudos recentes, demonstram tal disponibilidade, por meio de diferentes análises realizadas.

##### 4.5.1. Análise Granulométrica

A análise granulométrica do bagaço de malte, entendido aqui como uma valiosa biomassa resultante do processo de mosturação, emerge como um componente crucial na produção cervejeira contemporânea. Este aspecto da pesquisa é fundamental para compreender a distribuição de tamanhos de partículas no bagaço de malte,

influenciando diretamente as características e aplicações dessa biomassa no contexto industrial e ambiental.

A granulometria do bagaço de malte, nesse contexto, refere-se à distribuição das partículas sólidas que compõem essa biomassa. Métodos analíticos, como a peneiração, são empregados para classificar as partículas do bagaço em diferentes frações granulométricas, proporcionando informações essenciais sobre sua composição física (SAMPAIO, 2007).

A relação entre a granulometria do bagaço de malte como biomassa e os processos subsequentes, como a produção de biogás ou outros usos industriais, é de significativa importância. A granulometria influencia a eficiência de processos de conversão, como a digestão anaeróbica, impactando a liberação de compostos fermentáveis e a produção de biogás (GOMES, 2009).

Estudos destacam a relevância de otimizar a granulometria do bagaço de malte para maximizar seu potencial como biomassa. Uma distribuição granulométrica adequada pode favorecer a eficiência de processos bioquímicos, resultando em maiores rendimentos na produção de biogás e outros subprodutos desejáveis. Entretanto, a busca pela granulometria ideal do bagaço de malte como biomassa não é isenta de desafios, visto que diferentes processos de conversão demandam abordagens específicas. A interação complexa entre a granulometria, a composição química e as condições de processamento requerem uma compreensão abrangente para otimizar a utilização do bagaço de malte como biomassa.

#### 4.5.2. **Análise Imediata**

Conforme mencionado anteriormente, conhecer a composição da biomassa utilizada é fundamental para o direcionamento a via mais adequada as suas características físico-químicas, para tanto, faz-se necessário lançar mão de análises qualitativas e/ou quantitativas.

As análises imediatas e elementar são exemplos de ensaios realizados num primeiro momento para determinar a composição de uma biomassa. A ABNT NBR 8112 (2015) para carvão vegetal, descreve bem os parâmetros avaliados na análise imediata de uma biomassa.

A determinação de umidade, teor de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo são ensaios comumente realizados com a biomassa, no intuito de estabelecer as condições da biomassa.

A comparação entre diferentes tipos de biomassas, quanto a suas análises imediatas, pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise imediata de diferentes biomassas

<i>Biomassa</i>	<i>Teor de voláteis (%)</i>	<i>Teor de umidade (%)</i>	<i>Teor de carbono fixo (%)</i>	<i>Teor de cinzas (%)</i>	<i>Referências</i>
<i>Casca de arroz</i>	64,24	10,61	11,90	23,84	Morais et al (2011)
<i>Resíduos de soja</i>	69,60	6,30	19,00	5,10	Werther et al (2000)
<i>Bagaço de cana</i>	83,10	8,20	12,70	4,20	Katyal Thambimuthu; Valix (2003)
<i>Sabugo de milho</i>	87,4	-	16,70	22,6	Demirbas (2004)

Fonte: Adaptado de Vieira (2012).

Já a comparação entre diferentes autores sobre a composição imediata do bagaço de malte, quanto a suas análises imediatas, é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição imediata do bagaço de malte

<i>Análises (%)<sup>1</sup></i>	<i>Evaristo et al, (2017)</i>	<i>Da Silva (2018)</i>	<i>Villalba (2022)</i>
<i>Umidade</i>	76,90	76,9	77,48
<i>Voláteis</i>	80,30	78,22	78,04
<i>Cinzas</i>	3,60	3,35	0,28
<i>Carbono Fixo</i>	16,10	18,41	20,17
<i>Extrativeis</i>	20,6	-	-
<i>Lignina insolúvel</i>	22,70	-	-

Fonte: Autor, 2023.

<sup>1</sup> Valores obtidos em base úmida

#### 4.5.3. Análise Elementar

Por outro lado, enquanto a análise imediata determina qualitativamente a composição de uma biomassa, a análise elementar é uma análise quantitativa que serve para determinar a composição elementar da biomassa.

O objetivo desse tipo de análise é estabelecer as frações moleculares da biomassa, sendo possível determinar a massa e as fórmulas moleculares. Os principais elementos encontrados nas biomassas são: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S) (PROTÁSIO, 2011).

A técnica mais comumente utilizada na análise elementar de CHNSO, utiliza a combustão da amostra como base e pode ser feito em um instrumento específico, conhecido como analisador elementar. Durante a combustão, a amostra gera gases compostos dos elementos C, H, N, O e S, gerando produtos de combustão, como por exemplo: CO, H<sub>2</sub>O e NO<sub>2</sub>. Então são medidos por cromatografia gasosa para ser determinada a relação dos elementos da amostra original (FADEEVA, 2008).

A comparação entre diferentes autores sobre a composição imediata do bagaço de malte, quanto a suas análises elementares, pode ser observada na Figura 3.

Tabela 3 - Análise elementar do bagaço de malte

Análises (%)	Liñan-montes (2014)	Fiebig (2022)	Carmona (2021)
<i>Carbono</i>	46,83	26,32	48,30
<i>Hidrogênio</i>	7,01	3,05	6,99
<i>Oxigênio</i>	38,71	60,68	35,32
<i>Nitrogênio</i>	0,70	-	5,39
<i>Enxofre</i>	0,29	-	0,43
<i>Cinzas</i>	6,4	-	-

Fonte: Autor, 2023.

Tais ensaios possibilitam direcionar a analisar a melhor rota de destinação final para o tratamento da biomassa.

#### 4.6. VIA INSUMOS AGRÍCOLAS

Apesar de ser uma via de destinação final em desuso por maior parte dos produtores de cerveja, o bagaço de malte era comumente retornado a produtores agrícolas para complementação nutricional do solo das plantações (TOMBINI, 2022).

Por conta dos altos teores de N, S e C remanescentes no bagaço de malte, via-se essa alternativa como uma boa destinação para os resíduos gerados, porém estudos demonstraram que, apesar de ocorrer a suplementação do solo, problemas relacionados ao aumento do pH e contaminação do solo foram encontrados devido a lenta decomposição do bagaço de malte. A possibilidade de lixiviação e contaminação dos corpos hídricos, também é um fator que deve ser considerado ao se analisar a disposição dos resíduos no solo.

Embora estudos recentes demonstrem o potencial de utilização do bagaço de malte na produção de diferentes variações de cogumelos (DE OLIVEIRA, 2021), a utilização não ocorre de forma integral uma vez que quantidades maiores que 15 % do bagaço de malte afetaram a produção dos cogumelos (CHIMINI, 2021).



Por conta desses problemas, a destinação do bagaço de malte para sua utilização como adubo orgânico, não é vista como eficiente, uma vez que as análises imediatas e elementares, demonstram o enorme potencial ocioso, presente no resíduo.

#### 4.7. VIA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

Uma vez que a destinação do bagaço de malte para aproveitamento como adubo não se mostrou interessante do ponto de vista ecológico, fazia-se necessário outras formas de disposição dessa biomassa.

Um destino mais comumente utilizado atualmente, é a disposição do bagaço de malte como suplementação a alimentação animal (CARVALHO, 2021).

Uma das maiores dificuldades empregadas nesse processo de destinação, ocorre pela característica úmida da biomassa, que por conta desse fator, o tempo de conserva diminui consideravelmente, sendo necessário dispor de um processo de secagem do bagaço de malte para que não ocorra a deterioração e contaminação fúngica da biomassa (BRUST et al., 2015).

Entretanto, a introdução do bagaço de malte na alimentação animal, assim como o impacto ambiental deste, é considerada favorável, uma vez que reduz efetivamente os custos de produção e impacta no manejo dos resíduos ambientais. Há um limite, no entanto, de incorporação do bagaço de malte devido ao alto teor de fibras presentes na composição da biomassa a utilização em demasiado pode comprometer a ingestão de matéria seca da dieta dos animais, visto que efeitos de enchimento físico podem ser observados (CÓRDOVA, 2004). Somado a este cuidado no balanceamento da quantidade de bagaço a ser disposta, TRUJILLO (2018) e BRUST (2015) trazem que o manejo incorreto do bagaço de malte na alimentação animal, representa um perigo até mesmo a vida do alimentado, visto que há quadros de intoxicação por etanol causada pela ingestão dos resíduos úmidos das cervejarias.

Por tanto, apesar da grande disponibilidade e do alto potencial de uso na alimentação, outras vias e possibilidades devem ser estudadas.

## 4.8. VIA PIROLÍTICA

Nesta sessão serão explorados todos pormenores sobre a pirólise, incluindo uma explicação do conceito da técnica até possíveis variações da técnica a depender do produto desejado.

### 4.8.1. Conceito

A pirólise consiste em um processo de decomposição térmica na ausência ou com a presença controlada de oxigênio (KAMINSKY e SINN, 1996). Como resultado desse processo, são gerados produtos sólidos, líquidos e gasosos, sendo todos produtos com alto potencial de aproveitamento (MASCHIO,1992). O controle de temperatura e o tempo de residência são parâmetros importantes a serem observados para a obtenção dos maiores rendimentos.

O processo pirolítico pode ser dividido em três classificações diferentes, de acordo com os parâmetros de tempo de residência, temperatura, taxa de aquecimento, meio de reação e reatores empregados para determinada biomassa, são eles: pirólise lenta, pirólise rápida e pirólise ultrarrápida. A composição percentual da biomassa por tipo de pirólise, pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 - Rendimentos típicos de produtos obtidos por diferentes modos de pirólise de madeira

Modo	Condições	Líquido (%)	Carvão (%)	Gás (%)
<i>Pirólise Rápida</i>	Temperatura moderada, por volta de 500°C, baixo tempo de residência	75	12	13
<i>Pirólise Lenta</i>	Baixa temperatura, por volta de 400°C, alto tempo de residência	30	35	35
<i>Pirólise ultrarrápida</i>	Alta temperatura, por volta de 1000°C, tempo de residência muito baixo	5	12	85

Fonte: Adaptado de BRIDGWATER (2007)

#### 4.8.2. Pirólise lenta

Processo também chamado de carbonização, consiste na conversão térmica, onde a biomassa, após um processo de secagem, é submetida a aquecimento sob baixas temperaturas, geralmente abaixo de 500°C, baixa taxa de aquecimento e alto tempo de residência (BRIDGWATER, 2003)

A pirólise lenta favorece a formação do carvão pirolítico, contudo quantidades relevantes da fase líquida e gasosa também são produzidas.

Reatores de leito fixo, aquecidos por meio de fornalha ou eletricamente, podem ser empregados. Os líquidos são obtidos através da condensação dos gases produzidos dentro do reator, a liquefação ocorre por meio de um condensador de vapor simples, uma porção de gases não condensáveis também é gerada (BRIDGWATER, 2003).

Os parâmetros trazidos pela literatura são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Principais parâmetros de operação para processos de pirólise

Modo	Pirólise Lenta
<i>Temperatura de operação (°C)</i>	300 - 700
<i>Taxa de aquecimento (°C. s<sup>-1</sup>)</i>	0,1 - 1
<i>Tempo de residência (s)</i>	450 - 550
<i>Tamanho da partícula (mm)</i>	5 - 50

Fonte: Adaptado de DEMIRBAS (2002)

#### 4.8.3. Pirólise rápida

Diferente da pirólise lenta, a pirólise rápida possui uma característica de favorecimento da produção da fase líquida da reação, o bio-óleo.

Os parâmetros geralmente adotados quando o produto de interesse é obtido por esta via, podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Principais parâmetros de operação para processos de pirólise

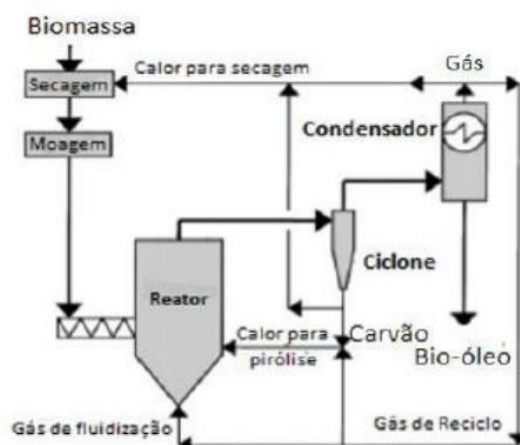
Modo	Pirólise Rápida
Temperatura de operação (°C)	850 - 1250
Taxa de aquecimento (°C. s <sup>-1</sup> )	10 - 200
Tempo de residência (s)	0,5 - 10
Tamanho da partícula (mm)	< 1

Fonte: Adaptado de DEMIRBAS (2002)

A necessidade do controle do tempo de residência tanto da biomassa, quanto dos gases no reator, faz com que seja necessário um leito fluido, o que garante também altos coeficientes de transferência de calor e massa. A fim de evitar possíveis problemas nesses coeficientes, o tamanho da partícula da biomassa é reduzido, se comparado a partícula da pirólise lenta, até que se possa desprezar a resistência interna de transferência de calor e massa (SANTOS, 2011).

O aquecimento do reator pode ser realizado de forma direta ou indireta, assim como na via anterior, contudo para evitar o arraste da fase sólida junto as fases voláteis, pode-se lançar mão de ciclones junto ao processo, conforme o esquema apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Representação de um reator para pirólise rápida



Fonte: Adaptado de BRIDGWATER (2000)

#### 4.8.4. Pirólise ultrarrápida

Assim como na pirólise rápida, a necessidade de que a reação ocorra em leito fluido é imprescindível, uma vez que o tempo de residência da biomassa e dos gases voláteis, tendem a ser na casa de frações de segundos, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Principais parâmetros de operação para processos de pirólise

Modo	Pirólise Ultrarrápida
<i>Temperatura de operação (°C)</i>	850 - 1250
<i>Taxa de aquecimento (°C. s<sup>-1</sup>)</i>	10 - 200
<i>Tempo de residência (s)</i>	0,5 - 10
<i>Tamanho da partícula (mm)</i>	< 1

Fonte: Adaptado de DEMIRBAS (2002)

A taxa de aquecimento e as temperaturas mais altas, propiciam um aumento significativo da formação dos voláteis, favorecendo assim a produção dos compostos liberados nos gases da reação.

#### 4.9. VIA FERMENTATIVA

A fermentação é um processo que ocorre naturalmente no meio ambiente, sendo utilizado pelos humanos há cerca de 6000 anos. Primariamente sob a intenção de manter os alimentos conservados, posteriormente a obtenção de precursores das atuais bebidas fermentadas. Esta pode ser utilizada como uma forma de agregar valor ao resíduo malte cervejeiro.

##### 4.9.1. Microrganismos

A *Saccharomyces cerevisiae* é o principal microrganismo utilizado na produção de etanol no Brasil e no mundo. Esse microrganismo realiza a fermentação de sacarose à etanol com altos rendimentos, alta produtividade e sendo capaz de tolerar altas concentrações de etanol quando comparada a outros organismos (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013). Sendo ainda considerado um organismo modelo, possui o ciclo de vida rápido, é de fácil manipulação e é um organismo não-patogênico. Tudo isso aliado ao fato de o genoma dessa levedura já estar completamente sequenciado, entende-se sua ampla utilização.

#### 4.9.2. Fermentação

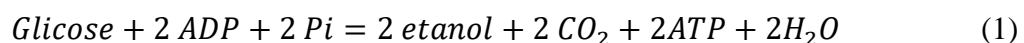
Segundo TORTORA (2012), a fermentação é definida como qualquer processo metabólico que libera energia a partir de um açúcar ou outra molécula orgânica, que não requer oxigênio ou um sistema de transporte de elétrons e utiliza uma molécula orgânica como acceptor final de elétrons.

Existe inúmeros microrganismos capazes de realizar fermentações disponíveis na natureza, contudo o substrato e o produto final dessa fermentação, depende do tipo de agente biológico empregado. Com base na rota de fermentação e no produto final obtido, é possível classificar o tipo de fermentação, as mais conhecidas são a fermentação láctica, sendo essa caracterizada pela produção de ácido láctico, e a fermentação alcoólica, cujo o produto principal é o etanol (SHARMA; KAPOOR, 1996).

#### 4.9.3. Fermentação alcoólica

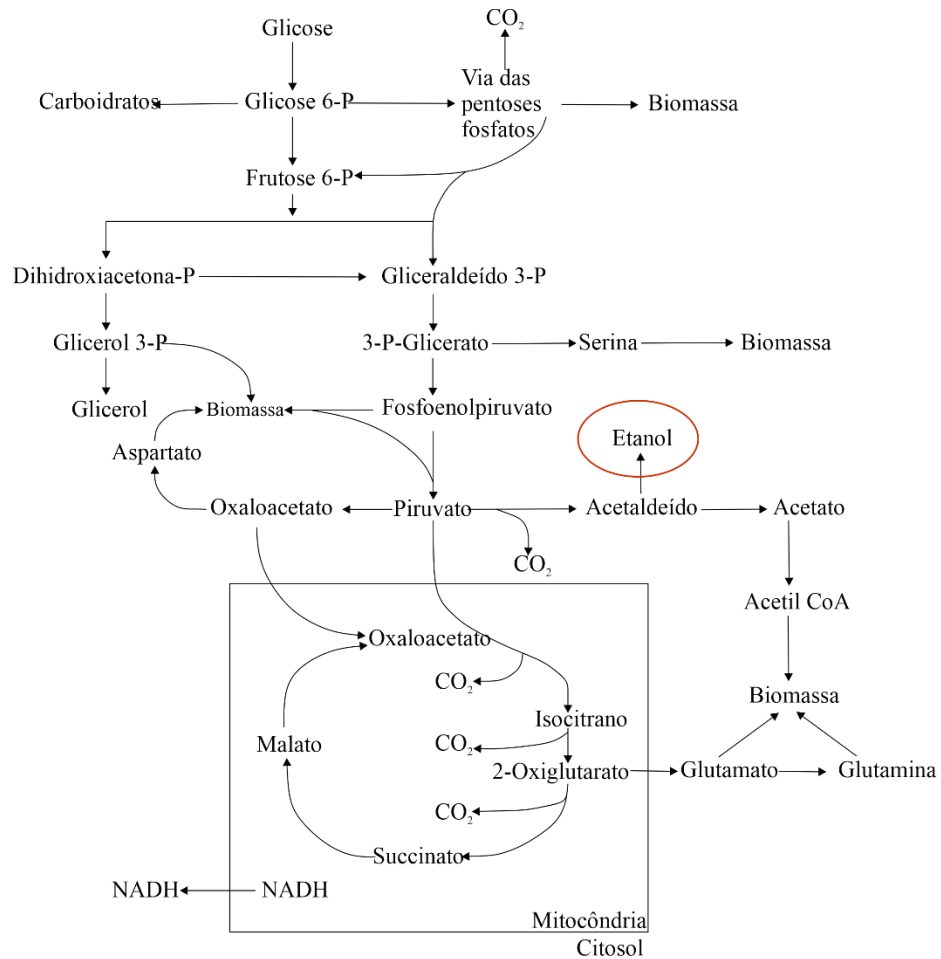
No processo de fermentação alcoólico com *S. cerevisiae* ocorre uma sequência de reações ordenadas, em que cada uma é catalisada por uma enzima específica. Os carboidratos necessários para as reações, podem ser endógenos (fazendo parte da constituição das leveduras) ou exógenos (sendo atribuídos as leveduras).

A glicólise, que é a principal rota metabólica adotada durante a produção de etanol, segue como princípio a equação 1:



Na Figura 5 é possível observar a rota metabólica completa da produção de etanol pela levedura, a partir do substrato glicose.

Figura 5 - Rota metabólica para produção de etanol



Fonte: Adaptado de TORTORA (2012)

É possível constatar a produção de produtos em diferentes pontos da rota, estes chamados de metabólitos secundários, são responsáveis pela sobrevivência das células, sendo capazes de fornecer resistência ao meio, assim como garantir a sobrevivência em ambientes com déficit de nutrientes. (MALAJOVICH, 2016)

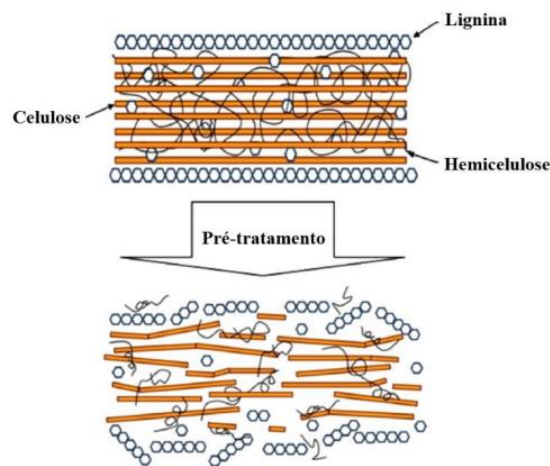
#### 4.9.4. Pré-Tratamento

A lignina presente na biomassa é responsável pela proteção biológica das plantas, assim como possui função estrutural e, por conta disso, devido a própria característica

estrutural das moléculas constituintes da biomassa, etapas de preparo devem anteceder a fermentação utilizando o bagaço de malte.

O pré-tratamento tem função fundamental na utilização de biomassas lignocelulósicas no processo de uma biorrefinaria. Sua aplicação permite um aumento na disponibilidade das moléculas para as enzimas que convertem os polímeros de carboidratos em açúcares fermentescíveis, conseqüentemente melhorando a eficiência do processo. A Figura 6 ilustra o efeito da aplicação do pré-tratamento na biomassa lignocelulósica.

Figura 6 - Efeito da aplicação do pré-tratamento na biomassa lignocelulósica



Fonte: Adaptado de MOOD (2013)

Sendo uma etapa obrigatória para a hidrólise enzimática da biomassa, o pré-tratamento pode ser realizado através de diversas técnicas, entre elas as físicas, químicas e/ou biológicas.

O tipo de pré-tratamento empregado, depende principalmente das características da biomassa, assim como o processo a qual a mesma será aplicada. (EICHLER et al., 2015).

#### 4.9.4.1. Pré-tratamento físico

São os tratamentos que utilizam algum processo físico que preparam a biomassa para receber outro processo de conversão e podem ser divididos em duas categorias: mecânico e não-mecânico.



No tratamento mecânico, podemos citar a moagem e trituração como principais métodos de pré-tratamento, diminuindo o tamanho das partículas e aumentando a superfície de contato e a densidade aparente.

Já no tratamento não-mecânico, a biomassa pode ser exposta a agentes que alteram as características físicas da biomassa, pode-se citar a explosão a vapor ou extração por água quente. A desvantagem desses pré-tratamentos, contudo, é o aumento considerável no gasto energético e a diminuição da digestibilidade da biomassa em relação as leveduras.

Os pré-tratamentos físicos são a primeira etapa do processo e costumam ser empregados como etapa antecessora a outros tratamentos, sendo aplicadas em conjunto com o objetivo de aumentar a efetividade do tratamento empregado (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013).

#### *4.9.4.2. Pré-tratamento químico*

São os tratamentos que utilizam agentes químicos, como por exemplo ácidos, bases e/ou solventes orgânicos para quebrar a estrutura recalcitrante da biomassa.

Os tratamentos ácidos causam a ruptura das interações de Van der Waals, das pontes de hidrogênio e das ligações covalentes da biomassa. Esse processo provoca a hidrólise da hemicelulose de forma quase completa, porém a celulose é hidrolisada de forma mais lenta e há a degradação dos monossacarídeos.

Os agentes químicos mais utilizados nesse tratamento são o ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico e ácido clorídrico em suas formas diluídas, com a concentração variando de acordo com a quantidade de hemiceluloses da biomassa (TAHERDANAK et al., 2016).

Assim como o tratamento ácido, os tratamentos realizados por agentes alcalinos, utilizam soluções diluídas em condições moderadas. O tratamento básico, age principalmente removendo a lignina presente na biomassa. A cristalinidade do grau de polimerização da celulose é reduzida com o acréscimo de temperatura, além da perturbação causada nas ligações da lignina com os carboidratos. Para esse método os álcalis mais comumente usados são: hidróxido de sódio e amônia.

No entanto, a principal desvantagem desse pré-tratamento é a possibilidade da conversão do agente básico a sais irrecuperáveis ou sais que se incorporem a biomassa.

#### 4.9.4.3. *Pré-tratamento biológico*

O pré-tratamento biológico envolve a utilização de microrganismo ou produtos desses, capazes de realizar a deslignificação e/ou redução do grau de polimerização das hemiceluloses e celuloses (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013).

Sendo um tratamento desejado devido aos baixos custos energéticos e pela baixa ou nenhuma produção de subprodutos indesejáveis. Entretanto, por lidar com produtos biológicos, o aumento no tempo do processo é considerável.

É considerado um dos métodos de pré-tratamento mais econômico e ecologicamente viável, pois é realizado em condições amenas de temperatura e pressão, não necessitam de agentes químicos, no entanto, requerem monitoramento contínuo. (GÍRIO et al., 2010; KUMAR et al., 2020)

O teor de umidade é um fator crucial para a escolha do microrganismo operante para o pré-tratamento, influenciando diretamente na eficiência do tratamento fúngico. Além de outros fatores como as características físico-químicas da biomassa.

Apesar de ser um processo não muito oneroso e de baixa produção de metabólitos indesejáveis, o processo tende a ser incompatível para aplicação em escala industrial por conta do elevado tempo de duração. Outra desvantagem da utilização desse tratamento, é a utilização dos carboidratos presentes na biomassa para a manutenção do organismo, uma vez que os microrganismos utilizam os nutrientes da biomassa para seu crescimento metabólico.

Por esse motivo, tratamentos utilizando enzimas, tem se tornado cada vez mais comuns.

A possibilidade de diminuir o tempo do processo ainda como a diminuição da perda dos açúcares durante o processo de digestão, tem sido um fator demasiado atrativo.

As características do complexo enzimático assim como a do substrato escolhido devem determinar as condições de temperatura, pH, tempo de contato, concentração de enzima e relação sólido-líquido em que o processo deve ser empregado. As características do processo devem ser determinadas e otimizadas experimentalmente para cada caso aplicado (RABELO, 2010).

A eficiência do pré-tratamento enzimático é determinada pela atividade da enzima, sua especificidade em relação ao substrato. No entanto, muitos fatores podem influenciar nas taxas de hidrólise pelas enzimas, entre eles podemos citar o grau de

polimerização da celulose, lignina e hemiceluloses, assim como a taxa de cristalinidade e a área disponível na biomassa.

Apesar de os constantes avanços na tecnologia permitirem eficiência de tratamento, alternativas como o pré-tratamento enzimático, tendem a ser onerosos, uma vez que o processo de obtenção de enzimas para a utilização ainda é um processo com custo elevado, o que vai contra um dos principais requerimento para a escolha de um pré-tratamento, que é impactar da menor forma no custo da obtenção do biocombustível.

#### 4.9.5. Pré-tratamento combinado

A utilização de apenas um método de pré-tratamento da biomassa pode não ser tão eficiente, visto que as diferentes formas de tratar a biomassa disponibilizam diferentes moléculas. Logo, uma alternativa é o emprego de mais de um processo de pré-tratamento, buscando reduzir os pontos fracos e visando aumentar a efetividade na disponibilização dos açúcares fermentescíveis.

Além da redução dos pontos mais ineficientes de cada tratamento em separado, o emprego de métodos combinados, possibilita a diminuição no tempo de tratamento, assim como no custo do processo (CHANDRA et al., 2012c).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são descritas as metodologias que foram empregadas durante os ensaios de caracterização do bagaço de malte.

### 5.1. AMOSTRAS

Foi escolhido para os ensaios o malte de cevada do tipo Pilsen, devido a larga utilização na indústria cervejeira. As amostras foram doadas pela Ambev – Filial Maltaria Navegantes, sendo as partes doadas constituintes do mesmo lote de fabricação.

Os maltes foram obtidos *in natura*, ou seja, na forma de grãos inteiros com casca. Essa abordagem foi adotada para preservar integralmente as características físico-químicas das amostras.

As amostras que foram empregadas nas análises descritas a seguir, foram separadas em dois grupos, malte *in natura* (apenas moído) e malte pós mosturação (bagaço de malte). Cada ensaio realizado, foi repetido utilizando amostras de ambos os grupos com o intuito de verificar a diferença de composição em ambas as etapas do malte.

## 5.2. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

Conhecer a composição da biomassa a ser trabalhada é fundamental para direcionar o caminho mais viável para sua aplicação. Assim como possibilita calcular o rendimento teórico do processo e otimizar as etapas com intuito de aumentar a conversão para o produto desejado.

### 5.2.1. Análise granulométrica

A granulometria tem papel fundamental no processo de produção na indústria cervejeira, assim como na otimização do processo de aproveitamento do resíduo.

#### 5.2.1.1. Ajuste do moinho

O moinho de malte utilizado em laboratório (Cerveja da Casa, patrimônio Uergs 25268), de dois rolos estriados, teve a distância do seu par de rolos ajustada e calibrada utilizando um calibre de folga.

Os experimentos foram planejados para que fossem analisados quatro diferentes ajustes de moedor. As distâncias testadas entre o par de rolos foi medida em milímetros: Abertura 0,70 mm; Abertura 0,65 mm; Abertura 0,60 mm; e Abertura 0,55 mm.

#### 5.2.1.2. Separação de amostra

As amostras totalizando aproximadamente um quilo em peso foram separadas em frações de 50 g destinadas aos ensaios. O procedimento envolveu a pesagem do material *in natura* em balança semi-analítica (marca Gehaka, modelo BK300, patrimônio Uergs 17807), seguida pela moagem na abertura específica selecionada para cada ensaio.

Esse processo de pesagem e moagem foi repetido para cada abertura, tanto no ensaio de mosturação quanto no ensaio de peneiramento.

O objetivo era minimizar as perdas e manter as proporções adequadas de partículas grosseiras, médias finas e pó.

#### 5.2.1.3. Peneiramento

A classificação das partículas de malte moído foi realizada através de teste de seis peneiras com agitador mecânico de acordo com o protocolo da ASBC (1996).

As peneiras da série Tyler foram selecionadas para que tivessem abertura de malha semelhante às indicadas pela EBC (2010) e ASBC (1996). O aparato experimental é mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Conjunto para teste de granulometria mecanizado



Fonte: Autor, 2023.

Uma amostra de 50 g, previamente pesada e dividida, foi posicionada sobre a peneira de malha mais ampla no topo do conjunto. As peneiras foram submetidas à agitação mecânica por 10 minutos, e o peso de cada peneira foi registrado empregando balança semi-analítica. O ciclo de agitação e pesagem foi repetido até que a diferença

entre as mesmas peneiras atingisse, no máximo, 0,2 % da massa inicial, indicando que todo o material de tamanho inferior à malha tinha passado para a peneira seguinte.

A Tabela 8 apresenta o conjunto de peneiras (marca Bertel, patrimônio Uergs 25298) utilizado, seus valores equivalentes em milímetros e uma comparação com os valores de abertura de malha das peneiras indicados nos protocolos.

Tabela 8 - Abertura de malha das peneiras granulométricas.

Tyler mesh (n°)	Abertura da malha (mm)	EBC (mm)	ASBC (mm)
9	1,981	-	2,000
12	1,397	1,270	1,410
16	0,991	1,010	1,000
24	0,701	0,547	0,590
35	0,417	-	-
60	0,248	0,253	0,250
Fundo	0	0	0

Fonte: Autor, 2023.

Com base nos resultados obtidos pelos ensaios de granulometria e para ficar mais próximo da realidade da disponibilidade de bagaço de malte comumente encontrado nas indústrias, optou-se por prosseguir para as demais análises adotando 0,65mm como granulometria padrão.

#### 5.2.1.4. *Mosturação em laboratório - Congress mash*

Para avaliar o potencial máximo de extração dos grãos amostrados foram realizadas mosturações em laboratório conduzidas com base no protocolo de extração proposto pela ASBC (1996). Com base na Tabela 9, pode-se adaptar o procedimento padrão de mosturação, fazendo rampas de temperatura na faixa ótima, com intuito de otimizar a extração dos açúcares do grãos.

Tabela 9 - Quadro de enzimas importantes que atuam na mosturação.

<i>Enzima</i>	<i>Faixa de atuação (°C)</i>	<i>Temperatura ótima (°C)</i>	<i>Degradação (°C)</i>	<i>Efeito</i>
<i>β-glucanase</i>	35 - 50	45	55 - 60	Quebra da celulose   Redução da gomosidade
<i>Peptidase</i>	45 - 50	45	60	Quebra de proteínas em aminoácidos livres
<i>Protease</i>	50 - 60	52	70	Redução no tamanho das proteínas
<i>β-amilase</i>	58 - 65	62	70 - 72	Quebra do amido   Produção de maltose
<i>α-amilase</i>	65 - 74	70	78 - 80	Quebra do amido em açúcares grandes (dextrinas)

Fonte: adaptado de SCHAUMLÖFFEL, 2018

Sendo assim, o procedimento adaptado consistiu nos seguintes passos:

Foi utilizado uma das amostras de 50 g de malte já moída previamente separada. Em seguida, o conteúdo foi misturado com 200 mL de água destilada a 50 °C em um béquer, tarado em balança semi-analítica, mantendo a mistura a 50 °C por 20 minutos. Durante a 1ª rampa, a temperatura da mistura foi elevada até 62 °C a uma velocidade de 1°C/min; 50 mL de água destilada a 62 °C foram adicionados, e a mistura foi mantida a 62 °C por 40 minutos. No passo seguinte, na 2ª rampa, a temperatura foi elevada até 70 °C a uma velocidade de 1°C/min; 50 mL de água destilada a 70 °C foram adicionados, e a mistura foi mantida a 70 °C por 30 minutos. Após essas etapas, a mistura foi resfriada até atingir 25 °C. A massa total da mistura foi ajustada para 450 g com água destilada em balança semi-analítica. Finalmente, a mistura foi filtrada e a concentração de açúcar do mosto resultante foi medida.

O aparato experimental utilizado é mostrado na Figura 8 e consiste de um banho-maria com controle digital de temperatura (marca De Leo, patrimônio Uergs 13683), um suporte universal, agitador mecânico com controle de velocidade (marca Fisatom, modelo 710) e termômetro químico de vidro/mercúrio de -10 °C a 110 °C (marca Incoterm, modelo L-286/05).

*Figura 8 - Mosturação em laboratório*



Fonte: Autor, 2023.

O teor de extrato, expresso como porcentagem mássica, foi medido em graus Brix (°Brix), uma escala numérica baseada no índice de refração (a alteração na direção da luz



em comparação com a água destilada) de uma solução, empregando um refratômetro (marca, Instrutherm). Essa escala é frequentemente empregada para avaliar indiretamente a quantidade de compostos solúveis em uma solução de sacarose. Um grau Brix equivale a 1g de açúcar por 100g de solução, ou 1kg de açúcar por 100kg de solução.

### 5.3. ANÁLISE IMEDIATA

A análise imediata consiste nos primeiros ensaios realizados em uma amostra da biomassa. Essas análises podem ser divididas nos tópicos abaixo.

#### 5.3.1. Teor de umidade

O teor de umidade da biomassa foi determinado utilizando procedimentos adaptados com a normativa ABNT - NBR 8112 (2015) – Análise imediata para carvão vegetal. O método é uma análise gravimétrica de determinação dos sólidos totais remanescentes na biomassa após o processo de secagem de uma amostra.

Foi pesado aproximadamente 50g do bagaço de malte com granulometria padronizada e seco a 105 °C em cápsulas de inox previamente identificados, secos e tarados. As cápsulas foram submetidas a uma estufa de aquecimento durante uma noite à temperatura de 105 °C. Em seguida as cápsulas foram colocadas para resfriar em um dessecador e por fim, pesados. Após a etapa de pesagem, as cápsulas foram submetidas novamente a estufa, porém durante 1 hora para a confirmação do atingimento de peso constante.

O experimento foi realizado em triplicata e o valor calculado corresponde à média das massas encontradas nas amostras. O teor de umidade pode ser obtido através da equação 2:

$$u = (m_2 - m_3 / m_2 - m_1) .100 \quad (2)$$

Onde,  $u$  = Teor de umidade (%);  $m_1$  = massa do cadinho de secagem vazio em estufa a 105 °C (g);  $m_2$  = massa do cadinho com amostra antes da secagem (g);  $m_3$  = massa do cadinho com amostra depois da secagem (g).

### 5.3.2. Voláteis

O teor de voláteis da biomassa também foi determinado utilizando a ABNT - NBR 8112 (2015) – Análise imediata para carvão vegetal, este método de análise abrange a determinação da porcentagem de produtos gasosos, excluindo o vapor de umidade presente no carvão.

Para a realização deste teste, 12 cadinhos de porcelana foram previamente identificados, secos e tarados. Seguido da adição de aproximadamente 1g de bagaço de malte seco pós mostura e *in natura*, sendo 2 amostras de bagaço seco pós mostura e 6 amostras de bagaço *in natura* (moído) ensaiadas em triplicata. Os cadinhos foram colocados na mufla regulada a 900 °C por 3 minutos com a porta aberta, seguido de 7 minutos com a porta fechada. Posteriormente, seguiram para um dessecador para resfriar e por fim foram pesados. O teor de material volátil pode ser obtido de acordo com a equação 3:

$$MV = (M_{MV} / M_{bs}) * 100 \quad (3)$$

Onde,  $MV$  é o teor de material volátil (%);  $M_{MV}$  é a massa da biomassa após o experimento de material volátil (g);  $M_{bs}$  é a massa da biomassa após a secagem (g).

### 5.3.3. Cinzas

Na determinação do teor de cinzas, foi utilizada a normativa ABNT - NBR 8112 (2015) – Análise imediata para carvão vegetal. Esta norma contempla a determinação das cinzas, expressa como a porcentagem em massa dos resíduos restantes após a oxidação a seco (oxidação a 700 ± 10 °C).

Após a identificação, tara e secagem dos cadinhos de porcelana, foram pesados aproximadamente 1g de bagaço de malte seco pós mostura e *in natura*. Em seguida, eles foram colocados em uma mufla pré-aquecida a 700 °C, mantendo-se lá por 30 min até

que ocorresse a queima completa da amostra. Posteriormente os cadinhos foram transferidos para um dessecador para resfriar e em seguida pesados.

A equação 4 foi utilizada para determinar o teor de cinzas.

$$TC = (Mc/Mbs) * 100 \quad (4)$$

onde: TC é o teor de cinzas (%); Mc é a massa da biomassa após as cinzas (g); Mbs é a massa da biomassa após a secagem (g).

#### 5.3.4. **Carbono fixo**

Utilizando a ABNT - NBR 8112 (2015) – Análise imediata para carvão vegetal, o teor de carbono fixo da biomassa pode ser determinado de forma indireta, sendo possível traçar um paralelo entre os ensaios realizados para a obtenção do carbono fixo, empregando a equação 5.

$$CF = 100 - (MV + TC) \quad (5)$$

Onde, CF é o teor de carbono fixo (%); TC é o teor de cinzas (%); MV é o teor de material volátil (%).

### 5.4. ANÁLISE DE AÇÚCARES REDUTORES

Os açúcares redutores têm a capacidade de agir como agentes redutores em reações químicas, transferindo elétrons para outros compostos. Exemplos comuns de açúcares redutores incluem a glicose e a frutose.

#### 5.4.1. **Hidrólise ácida**

Para a hidrólise ácida, foram separadas em triplicatas cada um dos grupos de amostras, totalizando 12 amostras para o ensaio. Os ensaios de hidrólise foram adaptados seguindo a metodologia utilizada por HICKERT (2014), em frascos Erlenmeyers de 250 mL, foram adicionado 300mg de amostra livre de umidade, 3mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72 % (v/v) e

80mL de água destilada. Os Erlenmeyers foram submetidos a autoclave a 121°C, cerca de 1 atm durante 60min. Após essa etapa, as amostras foram filtradas utilizando um sistema de filtração a vácuo em um cadinho de vidro do tipo *Gooch* com fundo sinterizado, estes foram previamente secos e tarados. Foi retirado alíquotas de cada amostra do filtrado e os cadinhos com o sólido foram submetidos ao processo de secagem em estufa para retirada da umidade, seguindo os mesmos parâmetros do ensaio anterior. Após o atingimento do peso constante, os cadinhos foram pesados. As amostras do filtrado, foram submetidas à análise dos açúcares redutores glicose, xilose e arabinose, em HPLC modelo 1260 Infinity II LC System da Agilent, com detector RID, coluna Phenomenex – Rezex™ ROA Organic Acid H+ (8 %) 300 x 7,8 mm, fase móvel solução H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 N (Carlo Erba) em uma vazão de 0,6 mL.min<sup>-1</sup>.

Os teores de celulose e hemicelulose foram determinados seguindo a metodologia descrita por HICKERT (2010) apud IRICK et al. (1988), com base na análise de glicose, xilose e arabinose. Os cálculos foram realizados utilizando as seguintes equações:

$$\text{Celulose} = (([\text{Glicose}] \times 50) / (m \times \text{FC} \times \text{FP})) \times 100 \quad (6)$$

Onde, FC é o fator de conversão da celulose (0,9), FP é o fator de perda por hidrólise para celulose (1,06), m é a massa da amostra (g) e [Glicose] é a concentração de glicose expressa em g/L.

$$\text{Hemicelulose} = (([\text{Xilose}] \times 50 + [\text{Arabinose}] \times 50) / (m \times \text{FC} \times \text{FP})) \times 100 \quad (7)$$

Onde, FC é o fator de conversão da hemicelulose (0,88), FP é o fator de perda por hidrólise para hemicelulose (1,15), m é a massa da amostra (g), [Xilose] é a concentração de xilose expressa em g/L e [Arabinose] é a concentração de Arabinose expressa em g/L.

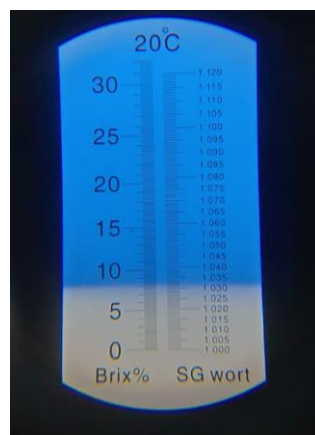
## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão abordados os resultados das análises realizados ao longo do projeto, assim como o a discussão ao em torno dos valores obtidos.

### 6.1. MOSTURAÇÃO

A Figura 9 permite observar que a mostura realizada em laboratório, atingiu os parâmetros estabelecido para a confecção de uma cerveja do tipo Pilsen.

Figura 9 - Medição Brix da amostra



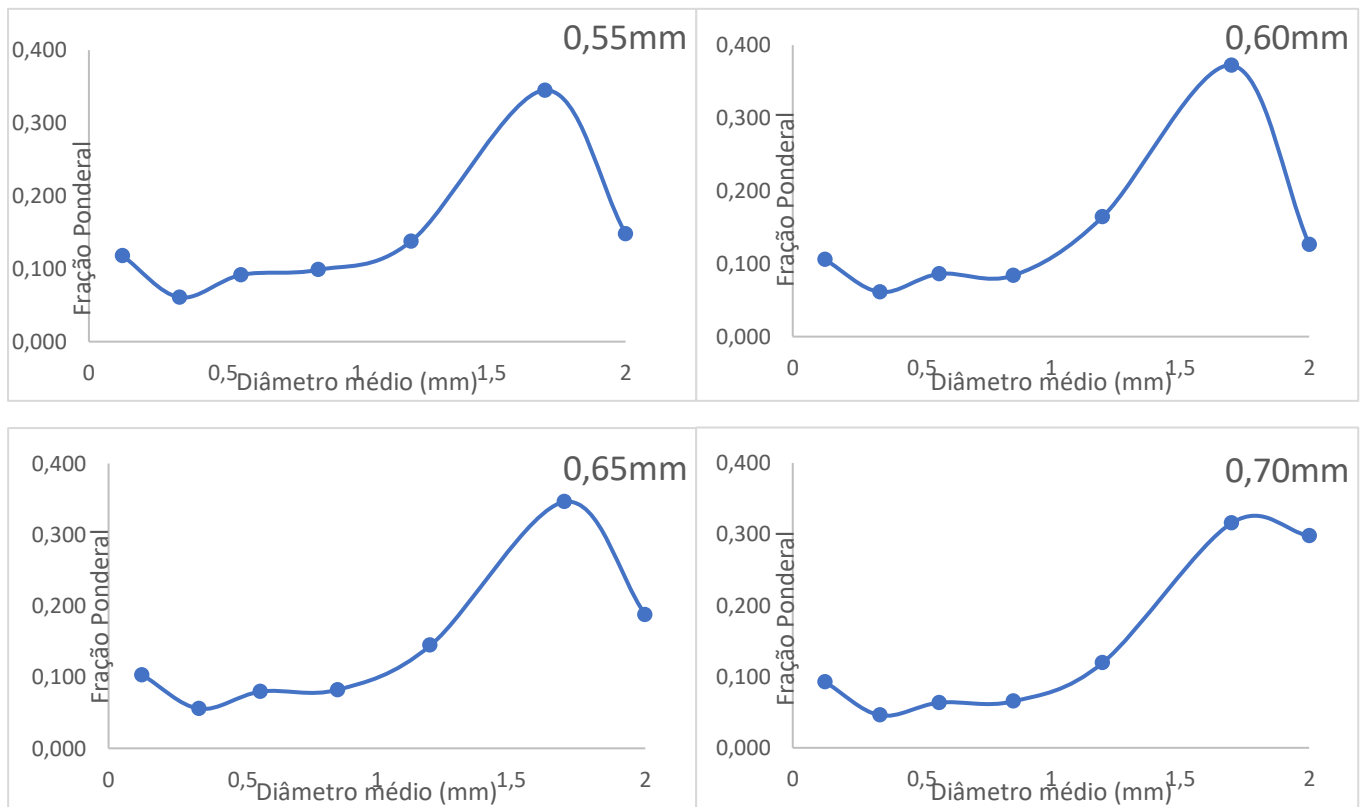
Fonte: Autor, 2023.

Sendo assim, um exemplo amostral com características semelhantes às encontradas na indústria.

### 6.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Por meio da análise dos dados obtidos com os ensaios de granulometria, foi possível observar a variação da fração ponderal em relação ao diâmetro médio da partícula de malte para as diferentes distâncias entre rolos utilizados na moagem. A Figura 10 explicita bem o perfil das variações observadas em cada caso.

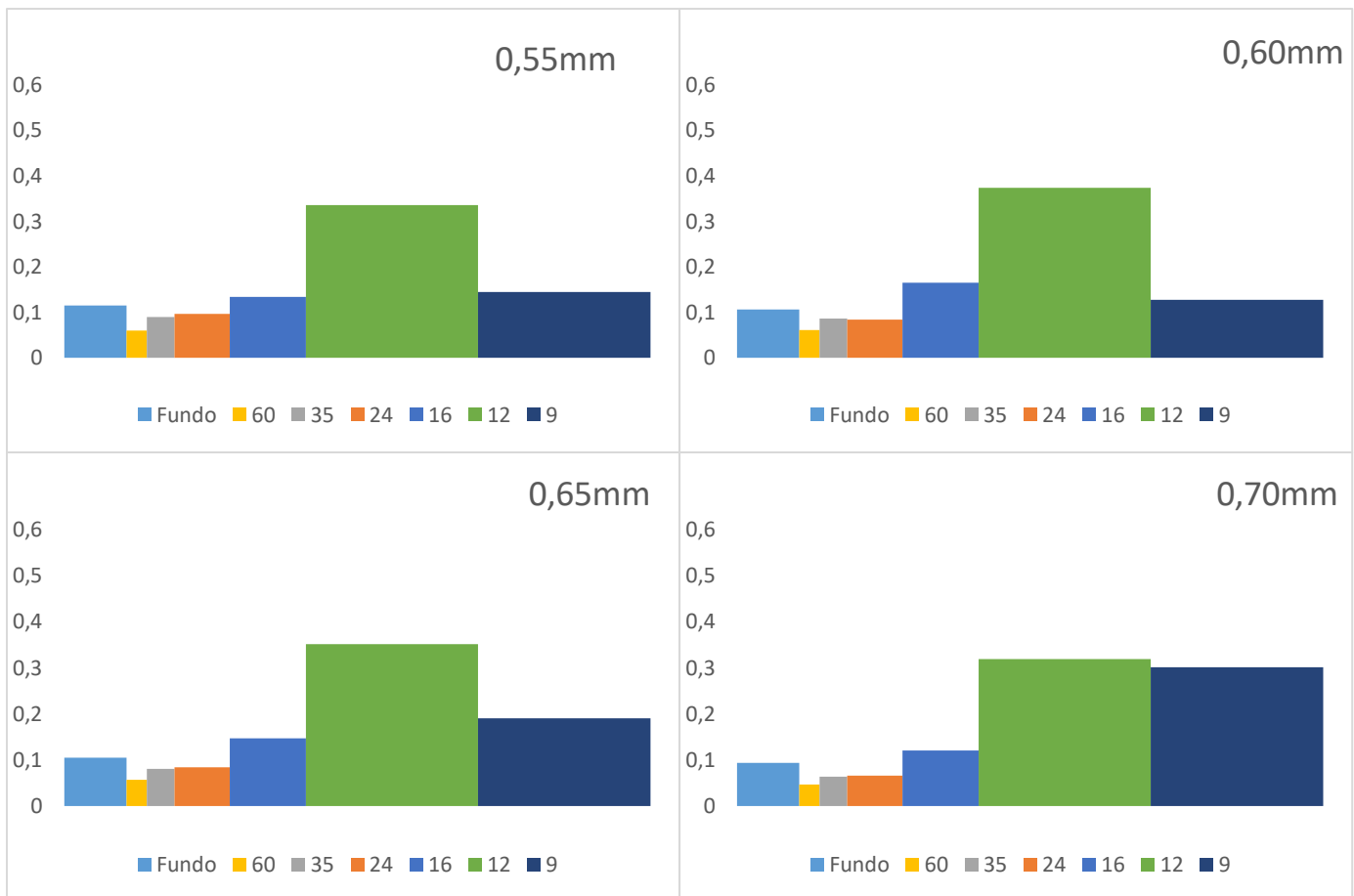
Figura 10 - Variação da fração ponderal pelo diâmetro médio da partícula de malte



Fonte: Autor, 2023.

O mesmo efeito de variação na dispersão das peneiras, pode ser avaliado utilizando outra ferramenta para visualização dos dados obtidos no experimento.

Figura 11 - Histograma de dispersão granulométrica do malte



Fonte: Autor, 2023.

A dispersão granulométrica refere-se à variedade de tamanhos de partículas presentes em uma amostra. O histograma de dispersão exibe essa diversidade, mostrando a frequência relativa de diferentes tamanhos de partículas ao longo de um eixo horizontal. Cada barra no histograma representa um intervalo de tamanho, e a altura da barra indica a proporção de partículas nesse intervalo em relação ao total da amostra.

A malha de mesh 12, apresentou um valor semelhante em todos os experimentos realizados com as diferentes peneiras. O estreitamento das aberturas dos rolos impacta diretamente dois principais fatores observáveis: a superfície de contato e a velocidade de reação enzimática, mas reflete também no tempo de filtração.

A superfície de contato aumenta significativamente quando o malte é moído em partículas menores, proporcionando maior eficiência na extração de açúcares solúveis durante a mosturação. Partículas menores têm mais área de superfície em contato com a água, acelerando a conversão do amido em açúcares fermentáveis.



A granulometria fina facilita a exposição rápida das enzimas do malte ao amido, acelerando a reação de conversão. Isso resulta em uma conversão mais rápida do amido em açúcares fermentáveis.

No entanto, é crucial manter um equilíbrio na granulometria da moagem para evitar uma cama de grãos densa e compacta, o que pode dificultar a filtração. Portanto, o controle preciso da granulometria é essencial para garantir uma mosturação eficiente e um mosto de alta qualidade no tempo desejado.

A abertura de 0,65mm mostrou-se mais adequada para utilização, por que se aproximava mais da granulometria utilizada nas indústrias e mantendo os valores mais próximos dos ideais, por isso foi escolhida para a realização dos ensaios de caracterização.

### 6.2.1. Análise Imediata

A análise imediata é parte fundamental no processo de caracterização de uma biomassa. Os resultados observados são apresentados a seguir.

Tabela 10 – Análise imediata

<i>Análises</i>	<i>Pós-Mosturação</i>		<i>In natura</i>
	<i>Primeira mosturação</i>	<i>Segunda mosturação</i>	moído
<i>Umidade (%)</i>	82,24	81,57	4,61
<i>Voláteis (%)</i>	83,58	83,76	88,22
<i>Cinzas (%)</i>	14,34	14,01	10,44
<i>Carbono Fixo (%)</i>	2,48	2,61	1,42

Fonte: Autor, 2023.

#### 6.2.1.1. Teor de Umidade

É possível observar na Tabela 10 que os resultados desta análise revelam um aumento notável no teor de umidade do malte após a mosturação.

Os valores apresentados estão de acordo com a literatura encontrada na Tabela 2 sobre a caracterização de biomassa. Estudos anteriores, como o trabalho de UNGUREANU (2018) destacam a importância da hidratação eficiente na obtenção de biomassa de alta qualidade. A transformação observada no teor de umidade do malte durante a mosturação não apenas valida essas descobertas, mas também amplia a compreensão de como as práticas específicas, como a mostura, podem influenciar positivamente a produção de biomassa a partir de subprodutos cervejeiros.

Além disso, a pesquisa de BONATO (2016) ressalta a relevância de abordagens sustentáveis na gestão de resíduos na indústria cervejeira. Essa convergência entre os resultados obtidos e a literatura existente fortalece a fundamentação teórica por trás das implicações práticas da pesquisa, estabelecendo uma ponte entre os dados experimentais e os conhecimentos consolidados na área de biomassa.

#### 6.2.1.2. Voláteis

Os resultados da análise dos materiais voláteis nas diferentes etapas de mosturação desempenham um papel crucial na compreensão das propriedades térmicas e na avaliação do potencial energético do bagaço de malte. Os valores obtidos para os materiais voláteis, podem ser observados na Tabela 10 e foram expressos em porcentagem, fornecendo *insights* valiosos sobre a composição da amostra e suas características durante o processo de mosturação.

Durante a primeira etapa de mosturação, foi observado um teor de materiais voláteis de 83,58 %. Este valor representa a fração da amostra que se vaporiza quando submetida a temperaturas elevadas. A presença significativa de materiais voláteis nesta fase indica a liberação de componentes que podem influenciar diretamente as propriedades térmicas e energéticas da biomassa.

Na segunda etapa de mosturação, o teor de materiais voláteis foi ligeiramente superior, alcançando 83,76 %. Esse aumento pode ser atribuído a variações nas condições de processo ou às características intrínsecas da matéria-prima. A análise comparativa desses valores destaca a importância de avaliar as mudanças nas propriedades voláteis ao longo das etapas de produção (VIEIRA, 2012).

Os valores obtidos nas análises de voláteis, ficaram dentro do esperado quando comparado com outras fontes. Segundo FERREIRA (2013), os percentuais de voláteis

para tronco de eucalipto, tronco de carvalho e casca de castanheiro, são 84,22 %, 82,29 % e 74,10 %, respectivamente.

A presença significativa de materiais voláteis no bagaço de malte é de particular interesse no contexto da produção de biocombustíveis ou outras aplicações energéticas. Esses componentes têm o potencial de influenciar positivamente na eficiência de processos, visto que os altos índices de material volátil, contribui para a reatividade e a aceleração do processo de conversão térmica, como a gaseificação ou a combustão, que visam aproveitar o bagaço como fonte de energia renovável.

Esses resultados destacam a relevância da análise de materiais voláteis como parte integrante da caracterização do bagaço de malte. Compreender a dinâmica desses componentes ao longo das etapas de mosturação fornece uma base sólida para a melhor entendimento de processos e a maximização do potencial energético dessa biomassa. Essas descobertas são fundamentais para a pesquisa no campo da produção sustentável de energia a partir de resíduos agroindustriais, contribuindo para avanços na área de bioenergia e sustentabilidade ambiental.

#### 6.2.1.3. Cinzas

A análise dos teores de cinzas proporciona uma compreensão essencial das características minerais do bagaço de malte, influenciando diretamente suas propriedades e aplicações potenciais. Os resultados obtidos, expressos em porcentagem, revelam a quantidade de resíduos inorgânicos presentes na amostra, sendo vital para avaliar o comportamento térmico e a viabilidade de aproveitamento do bagaço, como pode ser observado na Tabela 10.

Durante a primeira mosturação, o teor de cinzas foi mensurado em 14,34 %. Essa porcentagem representa a fração inorgânica da amostra, composta por minerais que permanecem após a incineração.

Na segunda mosturação, observou-se uma ligeira redução no teor de cinzas, atingindo 14,01 %. Comparado aos resultados encontrados por RODRIGUES (2019), para o teor de cinzas em casca de arroz foi encontrado 18,65 %, já para casca de coco, foi encontrado 13,24 % por MARCELINO (2017). Variações nesses valores podem estar relacionadas a diferentes condições de processo ou à natureza intrínseca da matéria-prima. A comparação desses resultados destaca a importância de monitorar as alterações nas características minerais durante o processo de produção.

A presença significativa de cinzas no bagaço de malte é de interesse particular em diversas aplicações, como na produção de biofertilizantes ou em processos que visam a recuperação de elementos inorgânicos, contudo para processos que utilizem a conversão térmica da biomassa, como por exemplo, pirólise, o teor de cinzas encontrado, podem ser um empecilho, visto que os minerais tendem a interferir no sistema. A compreensão detalhada dos teores de cinzas contribui para a maximização do valor agregado desse resíduo agroindustrial, alinhando-se a princípios de economia circular e sustentabilidade.

No entanto, cabe ressaltar que a observação de teores de cinzas nas amostras desviou-se dos valores encontrados por CORDEIRO (2011) de 0,74 % e por MASSARDI (2020) de 3,76 % para os estudos sobre o bagaço de malte. Essa disparidade pode ser atribuída a uma série de fatores que demandam uma análise criteriosa para uma compreensão abrangente (VIEIRA, 2012).

Dentre os elementos a serem considerados, destaca-se a diversidade de matérias-primas utilizadas na produção de malte, cada uma apresentando características intrínsecas distintas. Variações no solo, condições climáticas e práticas agrícolas podem impactar a composição mineral do malte, influenciando diretamente os teores de cinzas (VASSILEV, 2010). Além disso, aspectos relacionados à variedade da cevada, métodos de cultivo e até mesmo o estágio de maturação no momento da colheita podem introduzir variabilidades significativas.

A busca por alinhamento com a literatura demanda não apenas uma análise dos resultados obtidos, mas também uma investigação aprofundada das metodologias empregadas nas pesquisas de referência. A escolha de padrões de referência, as condições de análise e as técnicas instrumentais podem divergir, justificando parte das discrepâncias observadas.

#### *6.2.1.4. Carbono Fixo*

Os resultados dos teores de carbono fixo nas amostras de bagaço de malte, como apresentado na Tabela 10, desempenham um papel crucial no entendimento da composição dessa biomassa no contexto da produção cervejeira.

Contudo, observa-se uma notável discrepância entre os valores obtidos neste estudo e os de MARCELINO (2017), sendo 8,78 % para a casca de coco e por RODRIGUES (2019) de 13,32 % para a casca de arroz. Assim como na análise do teor de cinzas, essa disparidade pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo a complexidade da matriz da matéria-prima, a cevada, sujeita a variações de composição devido a fatores agronômicos, ambientais e práticas de cultivo.

É importante considerar que a fase de mosturação, uma etapa crítica no processo cervejeiro, também desempenha um papel crucial na formação dos teores de carbono fixo. A transformação térmica durante a mosturação pode influenciar a liberação de componentes carbonáceos, e variações nos parâmetros operacionais, como temperatura e tempo, podem resultar em diferenças significativas nos resultados analíticos (AL RÓZ, 2015).

#### **6.2.2. Cromatografia líquida**

A realização de ensaios empregando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) é um procedimento crucial para a análise de amostras, proporcionando dados valiosos para a compreensão de composições e características específicas. No contexto do presente estudo, dois ensaios foram conduzidos, sendo o segundo de maior relevância devido a desafios enfrentados no primeiro.

No primeiro ensaio, a tentativa de diluir as amostras em uma proporção de 1:10 seguida de filtração em membrana PTFE 0,22 µm foi adotada, visando preparar as soluções para a injeção no HPLC. Contudo, um obstáculo significativo foi identificado durante a análise cromatográfica, onde os picos resultantes se encontravam abaixo do limite inferior de detecção da curva de calibração. Esse fenômeno, possivelmente decorrente da diluição, comprometeu a precisão e a detecção dos compostos de interesse.

Diante dessa limitação, uma abordagem ajustada foi empregada no segundo ensaio. Aqui, optou-se por evitar a diluição, realizando apenas a filtração das amostras por meio de uma membrana PTFE 0,22 µm para garantir a remoção de impurezas e a preparação adequada para a injeção no HPLC. Os dados resultantes dessa segunda tentativa são os representados e discutidos a seguir.

Essa mudança na estratégia de preparação das amostras evidencia a importância da otimização dos procedimentos experimentais no contexto analítico. A busca por condições ideais de injeção, que garantam a detecção precisa dos analitos, é fundamental para assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos no HPLC. Essa adaptação na metodologia ressalta a natureza dinâmica do trabalho laboratorial e a necessidade de ajustes em tempo real para contornar desafios experimentais.

#### 6.2.2.1. Teor de açúcares

A investigação detalhada da composição de carboidratos no bagaço de malte desempenha um papel central na compreensão das transformações que ocorrem durante o intrincado processo cervejeiro, notadamente nas fases pós-mosturação. A análise dos teores percentuais de glicose, xilose e arabinose oferece uma perspectiva abrangente sobre a estrutura molecular da biomassa em diferentes estágios, com implicações cruciais na eficiência do processo e na qualidade do produto final.

Tabela 11 - Teor de carboidratos

Identificação	Celulose (%)	Xilose (%)	Arabinose (%)
Malte <i>in natura</i>	76,57	4,47	0,74
Malte Pós-Mostura 1	38,07	12,77	4,28
Malte Pós-Mostura 2	36,70	11,39	3,87

Fonte: Autor, 2023.

Os resultados das análises, conforme apresentados na Tabela 12, evidenciam a dinâmica complexa dos carboidratos no bagaço de malte, notadamente após a mosturação. Inicialmente, o malte *in natura* exibe um elevado teor de celulose, um polissacarídeo estrutural fundamental nas paredes celulares das células vegetais. Esse componente, de elevada massa molecular, representa uma reserva significativa de carbono no malte antes de seu emprego na produção de cerveja.

A redução substancial nos teores de celulose após a mosturação é notável, indicando um processo eficiente de hidrólise dessa fibra. Esse fenômeno é altamente relevante, pois a mosturação tem como objetivo principal a extração dos açúcares

fermentáveis contidos nas células vegetais, permitindo a formação do mosto, precursor essencial para a fermentação e a celulose originará maiores quantidades de glicose, açúcar mais fácil de ser metabolizado por microrganismos.

Ao analisar outros açúcares específicos, xilose e arabinose, observamos variações expressivas. Esses açúcares, membros das pentoses, são provenientes da hemicelulose, uma das frações estruturais do malte. A redução nos teores desses açúcares após a mosturação pode ser atribuída à sua conversão durante o processo.

A importância desses açúcares durante a mosturação é crucial para compreender a dinâmica do processo. A celulose, ao ser hidrolisada, libera moléculas de glicose, um dos principais açúcares fermentáveis. A xilose e arabinose, por sua vez, contribuem para a doçura e a complexidade sensorial da cerveja, sendo convertidas em álcoois superiores e ésteres durante a fermentação.

Dessa forma, a análise detalhada da composição de carboidratos no bagaço de malte, especialmente considerando as transformações na celulose, xilose e arabinose pós-mosturação, não apenas fornece informações cruciais sobre a biomassa, mas também lança luz sobre os mecanismos fundamentais que moldam a qualidade e o caráter da cerveja. Essa compreensão profunda é vital para aprimorar a eficiência dos processos cervejeiros, e conduz a otimização como uma valiosa biomassa em diversas aplicações industriais.

## 7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos proporcionam uma visão abrangente do bagaço de malte, ressaltando sua complexidade e potencial na indústria cervejeira. A análise granulométrica do bagaço, considerado como biomassa pós-mosturação, revelou uma distribuição intrincada de partículas. A diversidade nas frações granulométricas destaca a importância de compreender essa característica para otimizar a utilização do bagaço em processos industriais e ambientais, utilizando métodos analíticos como a peneiração para fornecer informações cruciais sobre a composição física do resíduo.

Os teores de voláteis, registrando 83,58 % na primeira mosturação e 83,76 % na segunda, indicam a presença significativa de compostos orgânicos voláteis. Esses resultados sugerem o potencial do bagaço na produção de biogás e outros subprodutos desejáveis, destacando sua relevância na transição para fontes de energia renovável.

Contudo, as variações nos teores de carbono fixo (2,48 % e 2,61 %) e cinzas (14,34 % e 14,01 %) entre as mosturações ressaltam a influência do processo cervejeiro na composição do resíduo. A discrepância em relação a valores literários sublinha a importância de considerar as particularidades do processo de produção e as características específicas do malte utilizado.

Além disso, a diferença nos teores de celulose, xilose e arabinose sugere uma conversão bem-sucedida desses açúcares e suas disponibilizações no meio. No entanto, é perceptível que ainda há conteúdo residual nas amostras, indicando a possibilidade de incorporar outras técnicas de pré-tratamento para maximizar os resultados.

Portanto, conclui-se que o bagaço de malte de cevada possui um amplo potencial de uso em outros processos industriais, desde que seja tratado como um produto secundário de produção e não apenas como um resíduo. Este trabalho aborda as características iniciais da biomassa, evidenciando o potencial ainda não explorado deste recurso e abrindo caminho para novas abordagens práticas sobre as melhores vias e processos de utilização industrial.



## REFERÊNCIAS

- ARANTES, V.; SADDLER, J.N. Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: the role of amorphogenesis. *Biotechnology for Biofuels*, London, v. 3, n.4, p. 2-11, 2010.
- ASSAD, Leonor. Aproveitamento de resíduos do setor sucroalcooleiro desafia empresas e pesquisadores. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 69, n. 4, p. 13-16, out. 2017.
- BONATO, Samuel Vinícius. Método para gestão de resíduos na cadeia cervejeira do Rio Grande do Sul. 2016.
- BRIDGWATER, A. V. The production of biofuels and renewable chemicals by fast pyrolysis of biomass. **International Journal of Global Energy Issues**, v. 27, n. 2, p. 160-203, 2007.
- BRIDGWATER, A. V.; PEACOCKE, G. V. C. Fast pyrolysis processes for biomass. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 4, n. 1, p. 1-73, 2000.
- BRIDGWATER, Anthony V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. **Chemical engineering journal**, v. 91, n. 2-3, p. 87-102, 2003.
- BRUST, Luís Armando C. et al. Enfermidades em bovinos associadas ao consumo de resíduos de cervejaria. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 35, p. 956-964, 2015.
- CARMONA, I. N. Caracterização e uso do biocarvão de bagaço de malte visando o tratamento de esgoto sanitário. 2021. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.
- CARVALHO, Jéssica Motta et al. Utilização do bagaço de malte como alimentação animal: uma alternativa para o pequeno produtor. **Cadernos UniFOA**, v. 16, n. 46, 2021.
- CÉSPEDES VILLALBA, Fernando David et al. **Análise de rotas tecnológicas para o aproveitamento energético de resíduos gerados na indústria cervejeira**. 2022. Dissertação de Mestrado.
- CHANDRA, R., TAKEUCHI, H., HASEGAWA, T., KUMAR, R. Improving biodegradability and biogas production of wheat straw substrates using sodium hydroxide and hydrothermal pretreatments. *Energy*, v.43, p.273-282, 2012c

CHIMINI, Ana Claudia et al. Utilização de resíduo de cervejaria como substrato alternativo para a produção de *Ganoderma lucidum*. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 483-492, 2021.

CORDEIRO, Luana Gomes et al. Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos. 2011.

CÓRDOVA, Helder de Arruda et al. Utilização de cevada em substituição ao milho em dietas para vacas holandesas de alta produção. 2004.

DE OLIVEIRA, Ana Carolina Marques et al. BAGAÇO DE MALTE COMO SUPLEMENTO NUTRICIONAL NO CULTIVO DE *Pleurotus ostreatus*. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 36, n. 1, p. 155-164, 2021.

DE PAULA PROTÁSIO, Thiago et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 113-113, 2011.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in energy and combustion science*. Turquia: Elsevier, v. 30, p. 219-230, 2004.

DEMIRBAS, Ayhan; ARIN, Gönenç. An overview of biomass pyrolysis. **Energy sources**, v. 24, n. 5, p. 471-482, 2002.

EICHLER, Paulo; SANTOS, Fernando; TOLEDO, Marcilio; ZERBIN, Patrícia; SCHMITZ, Guilherme; ALVES, Camila; RIES, Lúcias; GOMES, Fernando. PRODUÇÃO DO BIOMETANOL VIA GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA. *Química Nova*, [s. l], v. 38, n. 6, p. 828-835, 2015.

FADEEVA, V. P.; TIKHOVA, V. D.; NIKULICHEVA, O. N. Elemental analysis of organic compounds with the use of automated CHNS analyzers. **Journal of analytical chemistry**, v. 63, n. 11, p. 1094-1106, 2008.

FERREIRA, Ana Catarina Oliveira. **Caracterização de vários tipos de biomassa para valorização energética**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro (Portugal).

FIEBIG, Matheus Sbruzzi. **Potencial capacidade energética do bagaço de malte para caldeiras de pequeno porte**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GOMES, Marina Mauro. Avaliação da digestão anaeróbia do bagaço de malte submetido a pré-tratamentos físicos. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GÍRIO, F.M.; FONSECA, C.; CARVALHEIRO, F.; DUARTE, L.C.; MARQUES, S.; BOGEL-ŁUKASIK, R.. Hemicelluloses for fuel ethanol: a review. *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 101, n. 13, p. 4775-4800, jul. 2010. Elsevier BV.

ABRAS. **Cerveja pode bater recorde com verão e Copa do Mundo**. 2022. Disponível em: <https://www.abras.com.br/clipping/bebidas/112508/cerveja-pode-bater-recorde-com-verao-e-copa-do-mundo/>. Acesso em: 13 de dezembro 2023.

HICKERT, Lilian Raquel. Otimização da hidrólise da casca de arroz (*Oryza sativa*) e avaliação da capacidade de bioconversão deste hidrolisado a etanol e xilitol por leveduras. 2010.

HICKERT, Lilian Raquel. Bioconversão de hidrolisados de casca de arroz e soja em etanol e xilitol por leveduras. 2014.

KAMINSKY, Walter; SINN, Hansjörg. Petrochemical processes for recycling plastics. **Recycling and Recovery of Plastics**. Hansen, Munich, 1996.

KATYAL, S.; THAMBIMUTHU, K.; VALIX, M. Carbonisation of bagasse in a fixed bed reactor: influence of process variables on char yield and characteristics. *Renewable Energy*. Canada: Pergamon, v. 28, p. 713-725, 2003.

KUMAR, R.; STREZOV, V.; WELDEKIDAN, H.; HE, J.; SINGH, S.; KAN, T.; DASTJERDI, B.. Lignocellulose biomass pyrolysis for bio-oil production: a review of biomass pre-treatment methods for production of drop-in fuels. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [S.L.], v. 123, p. 109763, maio 2020. Elsevier BV.

LIÑÁN-MONTES, A. et al. Characterization and thermal analysis of agave bagasse and malt spent grain. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, n. 1, p. 751-758, 2014.

MALAJOVICH, Maria Antônia. *Biotecnologia*. 2 ed, atualizada. Rio de Janeiro, 2016.

MARABEZI, K. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar**.

2009. 142 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009

MARCELINO, Marcela Magalhães. Biomassa residual do coco para obtenção de energia e intermediários químicos via gaseificação: caracterização, modelagem e simulação. 2017.

MARCUSSO, Eduardo Fernandes; MÜLLER, Carlos Vitor. **Anuário da cerveja no Brasil 2018: Crescimento e inovação**. Recuperado de <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/anuario-da-cerveja-no-brasil-2018/view>, 2019.

MASCHIO, G.; KOUFOPANOS, C.; LUCCHESI, A. Pyrolysis, a promising route for biomass utilization. **Bioresource Technology;(United Kingdom)**, v. 42, n. 3, 1992.

MASSARDI, Matheus Moreira; MASSINI, Rodrigo Manhães Motta; DE JESUS SILVA, Deusanilde. Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agregado. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 6, n. 1, p. 0083-0091, 2020.

MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T.; RODRIGUES, M.; SANTOS, E. C.S.; SOUZA, R. C. R. Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação.

PELLIN, Valdinho; MANTOVANELI JR, Oklinger. Cerveja artesanal e desenvolvimento regional em Santa Catarina (Brasil). **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP**, v. 9, n. 3, p. 47-61, 2016.

RABELO S.C. Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol de segunda geração. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 163, 2010.

RODRIGUES, D. et al. ANÁLISE IMEDIATA DE BIOMASSAS AGRÍCOLAS: UM ESTUDO COMPARATIVO, Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2019.

ROCHA, J. D.; MESA PÉREZ, J. M. CORTEZ, LAB Aspectos teóricos e práticos do processo de pirólise de biomassa. **Curso “Energia na Indústria de Açúcar e Álcool**, p. 12-16, 2004.

ROSA, Willian Silva da et al. **IMPACTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DA CERVEJA ARTESANAL: ANÁLISE DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS**. In: Siepex - Cachoeira do Sul, 2018. Disponível em: <<https://www.doity.com.br/anais/8-siepex/trabalho/59982>>. Acesso em: 30/11/2022 às 22:54

RÓZ, Alessandra L. da et al. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, p. 810-814, 2015.

SAMPAIO, João Alves; SILVA, Fernanda Arruda Nogueira Gomes da. Análise granulométrica por peneiramento. CETEM/MCTI, 2007.

SANTOS, Fernando; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-açúcar e espécies florestais. Viçosa: Os Editores, 2013.

SANTOS, Kássia Graciele dos et al. Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo. 2011.

SHARMA, Alka; KAPOOR, A. C. Levels of antinutritional factors in pearl millet as affected by processing treatments and various types of fermentation. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 49, n. 3, p. 241-252, 1996.

Silva, Hiury Araújo, Maria Alvim Leite, and ARV de PAULA. "Cerveja e sociedade." *Contextos da Alimentação—Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade* 4.2 (2016).

SILVA, Loyane Fernandes da. Viabilidade técnica da produção de briquetes a partir do bagaço de malte de cevada. 2018.

TAHERDANAK, M; ZILOUEI H; KARIMI K. The influence of dilute sulfuric acid pretreatment on biogas production from wheat plant. *Int. J. Green Energy*, v.13, p.1129-1134, 2016.

TOMBINI, Caroline et al. Análise da gestão do resíduo bagaço de malte em cervejarias da região oeste e extremo oeste do estado de Santa Catarina. **Conjecturas**, v. 22, n. 8, p. 560-580, 2022.

TRUJILLO, Janzel G. et al. Ethanol poisoning in cattle fed with malted barley waste with brewer's yeast. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 38, p. 382-386, 2018.

UNGUREANU, Nicoleta et al. Influence of biomass moisture content on pellet properties—review. *Engineering for rural development*, v. 17, p. 1876-1883, 2018.

VASCONCELOS, Solange Maria de. Pré-tratamentos Hidrotérmico e Com Ácido Fosfórico Diluído de Bagaço de Cana-de-açúcar Para Aplicação Em Biorrefinarias. 2012.

VASSILEV, Stanislav V. et al. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. **Fuel**, v. 94, p. 1-33, 2012.

VASSILEV, Stanislav V. et al. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, v. 89, n. 5, p. 913-933, 2010.

VIEIRA, A. C. Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas. **Universidade Estadual do Oeste do Paraná Cascavel**, p. 33, 2012.

WERTHER J.; SAENGER, M.; HARTGE, E. U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. *Progress in energy and combustion science*. Alemanha: Pergamon, v.26, p. 1-27, 2000