



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



JULIA PEREIRA CAIXETA SOUSA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUO CERVEJEIRO - BAGAÇO DE MALTE: UMA  
REVISÃO

Patos de Minas

2025

JULIA PEREIRA CAIXETA SOUSA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUO CERVEJEIRO - BAGAÇO DE MALTE: UMA  
REVISÃO

Projeto Final de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador(a): Neiton Carlos da Silva

Coorientador(a): Marieli de Lima

Patos de Minas

2025



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos de Minas  
Rua Major Gote, 808, Bloco G, Sala 414 - Bairro Centro, Patos de Minas-MG, CEP 38702-054  
Telefone: (34) 3821-0588 - [www.feq.ufu.br/graduacao/engenharia-de-alimentos](http://www.feq.ufu.br/graduacao/engenharia-de-alimentos) - [coordgea@feq.ufu.br](mailto:coordgea@feq.ufu.br)



### HOMOLOGAÇÃO Nº 25

JÚLIA PEREIRA CAIXETA SOUSA

#### Aproveitamento de resíduo cervejeiro - bagaço de malte: uma revisão

Projeto Final de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

**Prof. Dr. Neiton Carlos da Silva**  
Orientador - FEQUI/UFU

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marieli de Lima**  
Coorientadora - FEQUI/UFU

**Prof. Dr. Marcos de Souza Gomes**  
IQUFU/UFU

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Michelle Andriati Sentanin**  
FEQUI/UFU

Patos de Minas, 30 de abril de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Neiton Carlos da Silva, Presidente**, em 30/04/2025, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Michelle Andriati Sentanin, Membro de Comissão**, em 30/04/2025, às 17:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos de Souza Gomes, Membro de Comissão**, em 30/04/2025, às 18:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Membro de Comissão**, em 30/04/2025, às 18:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6281804** e o código CRC **2F2FED93**.

Dedico este trabalho aos meus pais, que  
trabalharam embaixo do sol para que eu pudesse  
chegar aqui, na sombra!



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por guiar e iluminar todos os caminhos desse sonho.

A Nossa Senhora, por sempre passar na frente e abençoar todos os caminhos e decisões.

Aos meus pais, Joel e Marcilene, por todo apoio, esforços, tempo e dedicação para que eu pudesse concluir o ensino superior.

Aos meus irmãos, Isabela e Miguel, que me ouviram explicar conteúdo para estudar para provas e que sempre tiveram paciência comigo nos dias mais estressantes.

Aos meus orientadores, Neiton e Marieli, por todas as orientações e tempo dedicados para elaboração desse trabalho.

A todos professores, desde os do ensino fundamental aos do ensino superior, que fizeram parte da minha caminhada e transmitiram conhecimento com excelência, que proporcionaram eu chegar aqui.

Aos meus amigos, Bruna e Ordarlei, que dividiram comigo as dificuldades, alegrias e trabalhos da faculdade. Vocês fizeram essa fase mais leve.

Ao PET Engenharia de Alimentos, tutores e petianos, que me ajudaram e proporcionaram meu desenvolvido pessoal e profissional durante a graduação.

Ao grupo da Semente a Xícara, que proporcionariam meu desenvolvimento profissional e acadêmico durante a graduação.

A todos os meus colegas que participaram da minha vida acadêmica.

"Não há limites para o que nós, mulheres,  
podemos concretizar". (Michelle Obama)

## RESUMO

O bagaço de malte é um resíduo produzido em grande quantidade pela indústria cervejeira. Se trata de um subproduto que apresenta grandes quantidades de nutrientes, como fibras, proteínas e compostos bioativos. No geral, é um resíduo destinado para aterros sanitários e/ou compostagem. Entretanto, este insumo possui potencial para utilização em novos produtos. Essa revisão tem como objetivo analisar, por meio de estudo bibliográfico dos últimos 15 anos, o uso desse resíduo proveniente da indústria cervejeira em diversas aplicações. Foi utilizado a plataforma *web of Science* para realizar o levantamento bibliográfico, partindo de palavras chaves selecionadas e filtros aplicados (período e área de pesquisa). Além disso, foi usado o *Google Acadêmico* para complementar a pesquisa. Foram encontrados 397 artigos e utilizando os recursos da plataforma foram montados gráficos baseados nos filtros aplicados. Desses artigos, foi feito um refino para encontrar as principais aplicações do bagaço de malte, que são: alimentação animal, alimentação humana, extração de compostos e geração de energia. Além disso, verificou-se a elaboração de composto termoplástico e painéis utilizando o bagaço de malte como base. Na alimentação animal, o bagaço de malte pode ser incorporado na dieta de ruminantes, suínos, peixes, caprinos e outros animais. As quantidades fornecidas para esses animais variam de proporção, visto que uma alta quantidade pode interferir na engorda dos animais. Na alimentação humana, o bagaço de malte pode ser incorporado em derivados cárneos, elaboração de pães, bolos, biscoitos, petiscos, extrusados, entre outros. A adição mais sugerida foi a 10% da proporção das formulações. É de comum senso entre todos os autores que o bagaço de malte apresenta grandes quantidades de proteínas, fibras e compostos bioativos, que podem ser aproveitados para elaboração de novos alimentos e servir como fonte de nutrientes para animais. Com esse aproveitamento, se tem consequência positiva para o meio ambiente, visto que diminui a quantidade de resíduos depositados no mesmo.

**Palavras-chave:** bagaço de malte; resíduo cervejeiro; cervejaria; revisão bibliográfica; análise bibliométrica.

## ABSTRACT

Brewer's Spent Grain (BSG) is a byproduct produced in massive quantities by the brewing industry. It contains significant amounts of nutrients, such as fiber, proteins, and bioactive compounds. Generally, BSG is disposed of in landfills and/or composted, however, it has great potential to be using in new products. This review aims to analyze, through a bibliographic study covering the last 15 years, the use of brewing industry byproduct in various applications. The Web of Science platform was used to conduct the literature review, applying selected keywords and specific filters. Additionally, Google Scholar was used to complement the search. A total of 397 articles were found, and charts were generated based on the applied filters using the platform's tools. From these articles, a refinement was conducted to identify the main applications of BSG, which include animal feed, human food, compound extraction, and energy generation. Moreover, BSG has also been explored to produce thermoplastic composites and fiber-based panels. In animal feed, BSG can be incorporated into the diets of ruminants, pigs, fish, goats, and other animals. The inclusion levels vary, as excessive amounts may negatively impact weight gain. In human food, BSG can be incorporated to meat products, bread, cakes, cookies, snacks, extruded products, and other food formulations. The most suggested addition level was 10% of the total formulation. It is a common consensus among all researchers that BSG is rich in protein, fiber, and bioactive compounds, which can be utilized in the development of new food products and as a nutrient source for animals. Furthermore, its utilization has a positive environmental impact by reducing the amount of waste disposed of in landfills and other ecosystems.

**Keywords:** brewer's spent grain; brewery waste; brewery; bibliographic review; bibliometric analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Primeiro anúncio de cerveja no Brasil. ....	5
Figura 2 - Fluxograma do processo de malteação. ....	6
Figura 3 - Grãos de cevada. ....	7
Figura 4 - Moinho de martelos. ....	8
Figura 5 - Filtro-prensa. ....	8
Figura 6 - Moinho de rolos. ....	9
Figura 7 - Tina-filtro. ....	9
Figura 8 - Malte após o processo de moagem. ....	10
Figura 9 - Fluxograma de produção de cerveja. ....	10
Figura 10 - Etapa de brassagem do malte. ....	11
Figura 11 - Lúpulo fresco e lúpulo peletizado. ....	12
Figura 12 - Tanque de fermentação cervejeira. ....	13
Figura 13 - Estrutura parcial da molécula de hemicelulose. ....	18
Figura 14 - Estrutura química das principais hemiceluloses. ....	19
Figura 15 - Estrutura química da xilana. ....	19
Figura 16 - Representação da cadeia linear da celulose. ....	20
Figura 17 - Estrutura dos álcoois precursores da lignina. ....	21
Figura 18 - Modelo de um dos tipos de estrutura química para lignina de folhosas. ....	22
Figura 19 - Estrutura química básica dos compostos flavonoides. ....	24
Figura 20 - Taninos Hidrolisáveis: galotaninos e elagitaninos. ....	25
Figura 21 - Relação entre artigos publicados por ano, relacionados com bagaço de malte. ....	26
Figura 22 - Relação de artigos publicados por áreas de estudo. ....	26
Figura 23 - Relação dos principais países de origem das publicações relacionados com o bagaço de malte. ....	27
Figura 24 - Imagens representativas dos estágios da fermentação durante os dias 2 a 12. ....	30
Figura 25 - Fotos de pães com diferentes adições de farinha de bagaço de malte nas proporções de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, respectivamente. ....	35
Figura 26 - Imagens de breadsticks contendo diferentes níveis de resíduos de cervejeiro. ....	36
Figura 27 - Imagens dos extrudados (da esquerda para direita: somente da cevada com bagaço de malte (1); cevada com bagaço de malte e proteína isolada do leite (2); cevada, amido de milho, bagaço de malte e proteína isolada do leite (3) e cevada, amido de milho e proteína do leite (4)). ....	37
Figura 28 - Amostra de chips feitos com diferentes adições de bagaço de malte. ....	38

Figura 29 - Observações de biscoitos incorporados com (1) BSG 0; (2) BSG 5%; (3) BSG 10%; (4) BSG 20%. .....	40
Figura 30 - A aparência dos muffins nas seções superior e longitudinal. ....	41
Figura 31 - Barras de cereais mel e chocolate armazenados um dia após o processo de produção. ....	43
Figura 32 - Formulações dos bolos com adição de bagaço de malte. ....	44
Figura 33 - Esquema da produção de bio-óleo e biogás melhorados in situ por impregnação com nitrato de prata. ....	48
Figura 34 - Diagrama esquemático de digestores de biogás em escala de bancada mostrando cinco tratamentos e reatores de controle.....	49
Figura 35 - Partículas de madeira (A) e partículas de BSG (B), conforme usadas em painéis de partículas.....	50
Figura 36 - Preparação dos filmes. ....	51

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>2</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
<b>4.1. Cerveja.....</b>	<b>4</b>
<b>4.1.1. Produção da cerveja .....</b>	<b>5</b>
<b>4.1.2. Resíduos cervejeiros .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2. Propriedades do bagaço de malte.....</b>	<b>15</b>
4.2.1. Fibras .....	17
4.2.2. Compostos antioxidantes .....	22
4.2.2.1. Flavonoides.....	23
4.2.2.2. Taninos .....	24
<b>4.3. Aplicações do bagaço de malte .....</b>	<b>25</b>
4.3.1. Alimentação animal .....	28
4.3.2. Alimentação humana .....	31
4.3.3. Extração de compostos .....	44
4.3.4. Geração de energia .....	46
4.3.5. Outras aplicações .....	49
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>

## 1. Introdução

O crescimento da atividade cervejeira no Brasil tem sido notável nos últimos anos, impulsionado tanto pelo aumento do consumo quanto pela expansão das pequenas cervejarias artesanais. Em 2023, foram registradas 118 novas cervejarias no país, consolidando uma tendência de crescimento contínuo do setor (BRASIL, 2023). No entanto, esse avanço na produção também resulta em um aumento proporcional na geração de resíduos sólidos e líquidos. Entre esses resíduos, destacam-se o bagaço de malte (do inglês, *brewer's spent grain* - BSG), leveduras residuais, água de lavagem e efluentes com alta carga orgânica, além dos resíduos gerados pelas embalagens. A destinação inadequada desses materiais pode causar sérios impactos ambientais, como a contaminação do solo e da água, devido à sua rica composição em matéria orgânica (VERDE et al., 2019).

Entre esses resíduos, o bagaço de malte se destaca pelo seu volume e potencial de reutilização. O bagaço de malte é o principal resíduo gerado durante o processo cervejeiro, resultante da filtração do mosto após a etapa de brassagem. Estima-se que, para cada 100 litros de cerveja produzidos, sejam gerados cerca de 20 kg de bagaço de malte (SARAIVA et al., 2019). Considerando que o Brasil produz aproximadamente 15 bilhões de litros de cerveja anualmente (BRASIL, 2023), isso equivale a cerca de 3 milhões de toneladas de bagaço de malte por ano. Tradicionalmente, a destinação desse resíduo inclui a disposição em aterros sanitários e a compostagem, processos que, embora eficientes, podem gerar subprodutos indesejáveis como gás metano e chorume. Outra aplicação comum é a utilização do bagaço como suplemento alimentar para o gado, devido ao seu alto teor de fibras (SANTIAGO, 2023; SARAIVA et al., 2019).

Apesar das formas tradicionais de disposição, o bagaço de malte apresenta um alto potencial nutritivo e funcional. Sua composição é rica em fibras (cerca de 70%), proteínas (20%), mono e diácidos fenólicos (1,2%) e vitaminas do complexo B (RECH; ZORZAN, 2017). Essa riqueza nutricional sugere a viabilidade de sua reinserção como matéria-prima em outros processos industriais, o que representa uma alternativa promissora para reduzir o impacto ambiental associado ao descarte inadequado desse resíduo (SANTIAGO, 2023).

Além do potencial ambiental, o bagaço de malte encontra espaço em um mercado consumidor cada vez mais voltado para a alimentação saudável. Nos últimos anos, observa-se uma tendência crescente no consumo de alimentos com elevadas propriedades nutricionais e funcionais, impulsionada pela demanda por produtos mais saudáveis e sustentáveis (ROSENDO, 2021). Essa mudança no comportamento do consumidor tem levado a indústria



alimentícia a desenvolver produtos que aliam praticidade, alto valor nutritivo e baixo teor de gorduras, com destaque para alimentos ricos em fibras (SOARES et al., 2015). Nesse contexto, o aproveitamento do bagaço de malte pode contribuir significativamente, fornecendo um insumo rico em nutrientes e com potencial sensorial atrativo (OLIVEIRA, 2018).

O aproveitamento do bagaço de malte não apenas reduz os custos associados ao tratamento de resíduos na cadeia produtiva da cerveja, mas também abre oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos em setores como o alimentício, farmacêutico e de bioenergia. Além disso, a valorização desse resíduo pode contribuir para soluções de problemas globais como o desperdício de alimentos e a degradação ambiental, alinhando-se aos princípios da economia circular e do desenvolvimento sustentável (FERREIRA, 2023; OLIVEIRA, 2018). Com isso, se cumpre Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como: Fome zero e agricultura sustentável, energia acessível e limpa, assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo geral**

Realizar uma revisão sistemática da literatura, a partir da análise bibliométrica como ferramenta sobre a aplicação do bagaço de malte, nos últimos 15 anos.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Apresentar conceitos teóricos sobre a obtenção do bagaço de malte e o seu cenário atual;
- Com base na análise bibliométrica, levantar trabalhos relacionados à aplicação do bagaço de malte conforme as diferentes áreas do conhecimento com maior quantidade e relevância de pesquisas;
- Discutir e elucidar as aplicações obtidas, que foram:
  - Alimentação animal;
  - Alimentação humana;
  - Extração de compostos;
  - Geração de energia;
  - E outras aplicações.

## **3. Metodologia**

Foi utilizada a base de dados *Web of Science* (<https://www-webofscience-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/basic-search>) para realizar as pesquisas dos artigos para revisão bibliográfica sobre a aplicação do bagaço de malte. Foram selecionadas dez palavras chaves em inglês relacionadas ao tema, que foram: *Brewer's spent grain (BSG)*, *malt residue utilization*, *spent grain as feed*, *brewer's spent grain nutritional value*, *by-products from brewing industry*, *spent grain for animal feed*, *brewer's spent grain valorization*, *brewing by-products in food production*, *brewer's spent grain processing* e *sustainable use of malt by-products*. Foi aplicado filtro para selecionar apenas “Artigos” e “Artigos de revisão”. Selecionou-se artigos publicados nos últimos 15 anos, começando em 2009. Nas áreas de pesquisas foram escolhidas: “tecnologia de ciências dos alimentos”, “engenharia”, “biotecnologia e microbiologia aplicada”, “agricultura”, “combustíveis de energia”, “ciências de tecnologias”, “ciências ambientais”, “nutrição dietética”, “ciências de polímeros”, “ciências de materiais”, “microbiologia” e “ciências veterinárias”.

Os dados encontrados pelas buscas foram compilados, selecionados e exportados para o *Microsoft Excel*. Esses resultados foram expressos em gráficos, indicando a quantidade de artigos publicados por ano, a quantidade de artigos publicados por áreas de estudo e a relação dos países de origem dos artigos que publicaram pesquisas sobre o bagaço de malte. A partir dessas informações levantadas pela análise bibliométrica, foram selecionadas as principais áreas envolvidas, discutidas na seção de “Aplicações do bagaço de malte”. O principal foco das aplicações era para alimentação humana e animal, porém foram selecionadas algumas outras aplicações que são interessantes.

Além dos artigos encontrados no *Web of Science*, plataforma utilizada como base para pesquisa, em revistas nacionais foram encontrados artigos que fizeram a utilização do bagaço de malte em outros alimentos. Alimentos diferentes dos que foram citados anteriormente, que tiveram suas receitas originais fazendo a substituição parcial ou integral da farinha de trigo pelo bagaço de malte também foram observados. Tais pesquisas foram importantes também para o melhor aproveitamento do resíduo cervejeiro visto que incorporavam valor nutricional a alimentos muito consumidos no país. Para complementar a pesquisa, foi utilizada a plataforma “Google acadêmico”, utilizando as mesmas palavras chaves e filtros utilizados no *Web of Science*.

#### **4. Revisão Bibliográfica**

#### 4.1. Cerveja

A palavra "cerveja" tem origem no latim *cervesia*, derivada do gaulês, que significa "bebida fermentada". O termo também é associado a Ceres, deusa romana da colheita e da agricultura. De acordo com registros sumérios, a cerveja foi descoberta de forma acidental há aproximadamente 6 mil anos pelas primeiras civilizações do Oriente Próximo, na região conhecida como Crescente Fértil. Essa área, considerada o berço da agricultura e da civilização, está localizada entre os rios Tigre, Eufrates, Nilo e Jordão, cujas condições climáticas e geográficas favoreceram o desenvolvimento da fermentação natural dos cereais armazenados, visto que apresenta muita umidade e temperaturas altas. (FABER, 2011; SILVA, 2017).

Acredita-se que a produção das primeiras cervejas se deu pelo armazenamento de cereais produzidos e que devido a algum fator extrínseco, os grãos acabaram se umedecendo. Com os grãos umedecidos, a ação de microrganismos presentes na atmosfera sobre os açúcares dos grãos, ocasionou a fermentação alcoólica dos mesmos, dando origem ao que hoje conhecemos como cerveja (MORADO, 2009; MOROSIVI, 2018).

Nas civilizações antigas, a produção de cerveja era uma atividade tipicamente feminina, enquanto os homens se dedicavam à caça e às outras tarefas. A bebida era consumida diariamente pelas famílias, muitas vezes sem desjejum, e passava a ser utilizada como moeda de troca em transações comerciais. Povos como os sumérios e egípcios usavam a cerveja tanto para pagamento de trabalhadores quanto em rituais religiosos (BELTRAMELLI, 2012; PIRES, 2015).

Em meados de 1700 a.C, na antiga Babilônia, foi elaborada a primeira lei de produção e comercialização da cerveja, que se encontra no Código de Hamurabi. Foi criada devido a necessidade de regulamentar sua produção e distribuição e determinava que aqueles que descumprissem a lei e produzissem cerveja de má qualidade, seriam condenados a morrerem afogados em sua própria bebida. Além disso, era estabelecida a quantidade de cerveja destinada a cada pessoa por dia, segundo sua posição social: 5 litros aos sacerdotes e administradores, 3 litros aos funcionários públicos e 2 litros aos trabalhadores (DORATIOTTO, 2014; PIRES, 2015).

Na Europa, a tradição cervejeira é antiga e continua a evoluir até os dias de hoje. Na Alemanha, em 1040, o Mosteiro Weihe Stephan obteve licença para produzir cerveja comercial a qual, até os dias atuais, ainda é produzida e comercializada (FLOSS, 2020). Em 1487, na Europa, foi decretada a primeira regulamentação sobre a fabricação de cerveja pelo Duque Albrecht IV da Baviera. A partir dela, se teve a inspiração para a tão famosa Lei de Pureza, a

*Reinheitsgebot*, de 1516, que é a mais famosa referência sobre a padronização do processo de fabricação de alimentos da história. Muito difundida ainda hoje na Alemanha, essa lei estipula que as cervejas só devem conter água, cevada e lúpulo como matérias-primas (MORADO, 2009; BARBOSA, 2019)

No Brasil, a cerveja chegou junto com os colonizadores europeus, que trouxeram comerciantes da bebida. Apesar de não se ter conhecimento da data exata do início da produção no Brasil, o primeiro documento conhecido sobre ela é um anúncio de venda de cerveja brasileira no Jornal do Comércio do Rio de Janeiro, de 27 de outubro de 1836, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Primeiro anúncio de cerveja no Brasil.



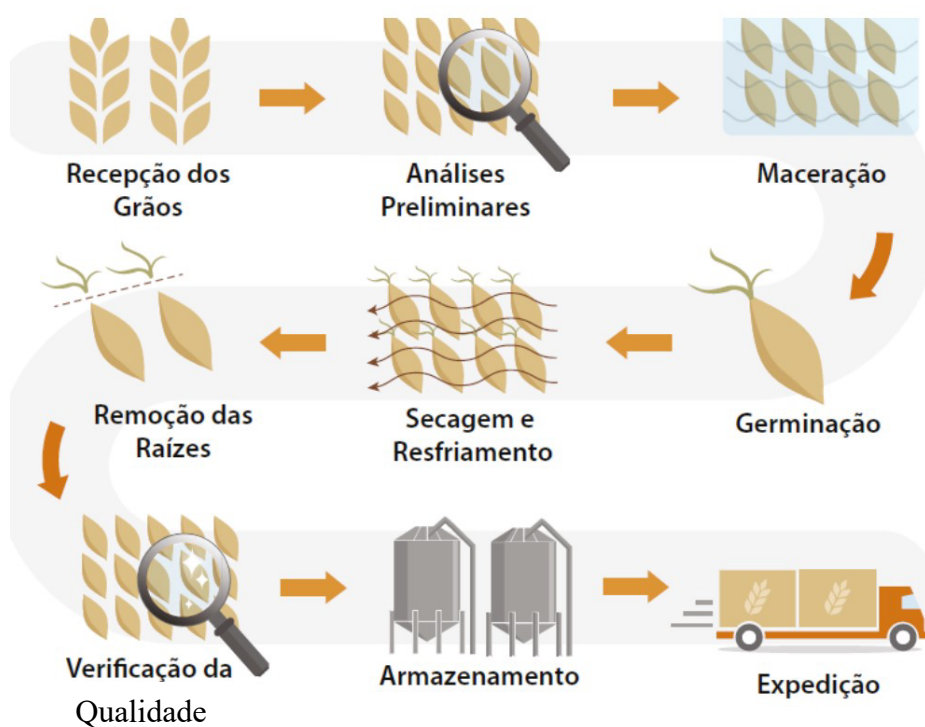
Fonte: Google imagens.

Atualmente a produção de cerveja no país segue a legislação brasileira, Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, regulamentadas pelo Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009 (BRASIL, 2009) que define cerveja como uma “*bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro proveniente do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo*”. Além disso, segundo a Instrução Normativa de N°65, de 10 de dezembro de 2019 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) regulamenta que até 45% do malte de cevada pode ser substituído por adjuntos cervejeiros, como cereais aptos ao consumo humano, maltados ou não, bem como amidos e açúcares de origem vegetal. Esse mercado representa quase 2% do PIB brasileiro e gerando aproximadamente R\$ 50 bilhões anuais em arrecadação de impostos.

#### 4.1.1. Produção da cerveja

Para a produção da principal base para fabricação da cerveja, os grãos como cevada, milho, arroz, dentre outros, passam pelo processo de malteação, que é a conversão do amido presente no grão em açúcares fermentáveis ou fermentescíveis. O processo consiste no fornecimento de água ao grão até que ele germine, conhecido como maceração. Em seguida, é feita a germinação controlada do grão com controle rigoroso de temperatura, oxigênio e CO<sub>2</sub>. E por fim, é feita a secagem, que torna o malte estável e armazenável. Nesta última etapa, encerra-se o processo fisiológico e define-se a cor, sabores e colorações desejados para a cerveja (KUNZE, 2010; SILVA, 2008). Na Figura 2, é mostrado o fluxograma simplificado do processo de malteação.

Figura 2 - Fluxograma do processo de malteação.



Fonte: Google Imagens.

O principal cereal usado para produção do malte para produção de cerveja é a cevada. O teor de umidade da cevada varia entre 12% e 20%, dependendo das condições climáticas, sendo que, em média, encontra-se entre 14% e 15%. Para garantir um armazenamento seguro a longo prazo, a umidade deve estar abaixo de 15%, pois níveis elevados podem comprometer a capacidade de germinação. A matéria seca da cevada possui uma composição química média composta por 70,0% a 85,0% de carboidratos totais, 10,5% a 11,5% de proteínas, 2,0% a 4,0% de gorduras, 1,5% a 2,0% de matéria inorgânica e 1,0% a 2,0% de outras substâncias. Além disso, o malte de cevada é essencial para a produção de cerveja, pois influencia diretamente

características como cor, sabor e teor alcoólico, sendo fundamental para a definição do tipo de cerveja a ser produzido, uma vez que determina a quantidade de extrato fermentado (KUNZE, 2013; PINHEIROS, 2019). A Figura 3 mostra o grão de cevada.

Figura 3 - Grãos de cevada.



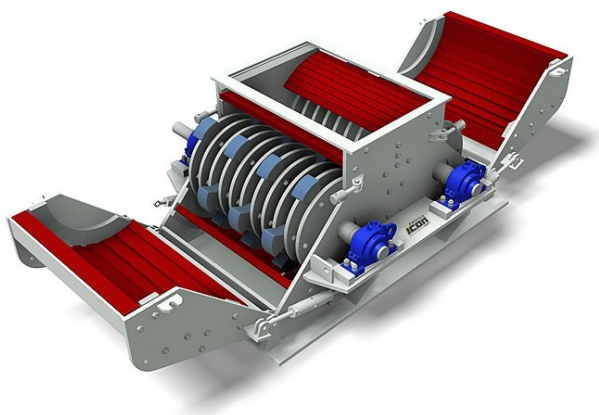
Fonte: Google Imagens.

O malte para ser utilizado deve então passar por um processo de moagem, que não pode ser muito fina, pois causa entupimento na etapa de filtração e nem muito grossa, pois dificulta a hidrólise do amido. Segundo a literatura, a moagem boa do malte deve apresentar quantidade mínima de grãos inteiros, a casca não deve ser totalmente quebrada para servir como filtro e o endosperma deve ser quebrado em partículas menores de tamanho uniforme garantindo a exposição do amido para a mosturação. Ele pode ser moído em moinhos de martelos ou rolos, a depender do tipo de filtração que o mosto irá passar (MARTINS, 1991; VENTURINI, 2008).

A moagem no moinho de martelos (Figura 4) resulta numa maior fragmentação da casca do malte, ou seja, uma moagem mais fina, com maior rendimento e maior teor de beta-glucanos e substâncias indesejáveis. Nesse caso, o mosto irá passar pela filtragem do tipo filtro-prensa (Figura 5), visto que apresenta partículas pequenas em sua composição. O bagaço produzido apresenta partículas menores e as cascas mais fragmentadas (KUNZE, 2010; VENTURINI, 2008).



Figura 4 - Moinho de martelos.



Fonte: Google Imagens.

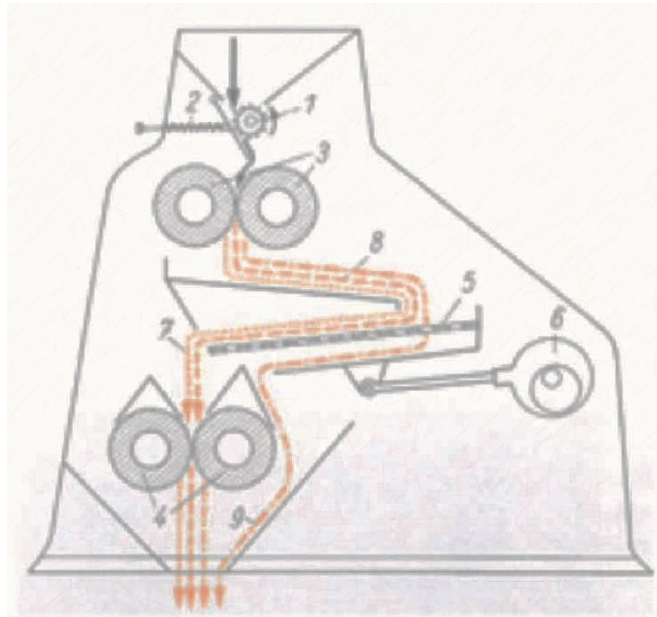
Figura 5 - Filtro-prensa.



Fonte: Google Imagens.

A outra forma de moagem do malte é utilizando-se o moinho de rolos (Figura 6), que resulta numa moagem mais grosseira, onde as cascas são apenas rompidas para deixar em exposição o endosperma dos grãos. Nesse caso, é utilizada a filtragem por leito em um equipamento denominado tina-filtro (Figura 7), visto que a moagem é mais grosseira, formando um leito composto pelas próprias cascas dos grãos (KUNZE, 2010; VENTURINI, 2008).

Figura 6 - Moinho de rolos.



Fonte: Google Imagens.

Figura 7 - Tina-filtro.



Fonte: Google Imagens.

Na figura 8, está ilustrado como o malte comumente deve ficar após o processo de moagem.



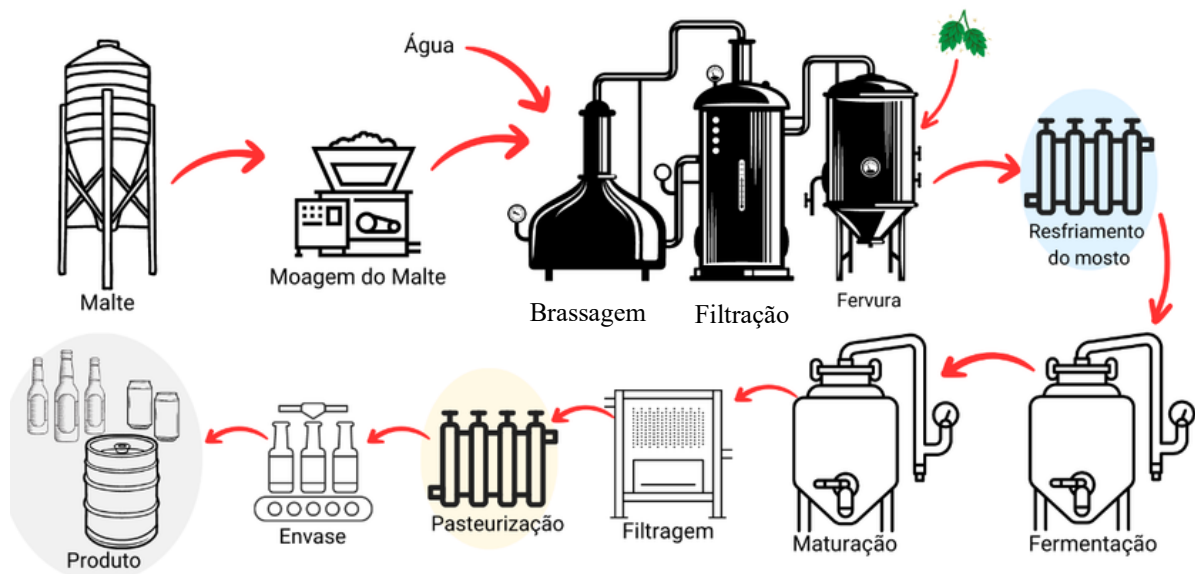
Figura 8 - Malte após o processo de moagem.



Fonte: Google imagens.

Com o malte moído, dá-se início então ao processo de produção de cerveja. A Figura 9, mostra um fluxograma desse processo, com a ilustração de alguns de seus equipamentos.

Figura 9 - Fluxograma de produção de cerveja.



Fonte: Google Imagens.

Na etapa de brassagem (Figura 10), o malte moído é misturado com água em temperaturas por volta de 50°C. Na faixa de 35 a 45°C se obtém a enzima Beta-glucanase, de 45 a 55°C se tem a protease, de 55 a 60°C a dextrinase, de 60 a 65°C a beta-amilase e de 68 a 72°C a alfa-amilase. Durante esse processo cerca de 75 a 80% do peso do grão é dissolvido, formando um extrato, conhecido como mosto. Finalizada esta etapa, o mosto, então, estará rico em açúcares fermentáveis que serão usados durante a fermentação. O mosto então é filtrado, momento em que é separada sua parte líquida que continua no processo e a parte sólida, denominada bagaço de malte, o qual é retirado (DRAGONE et al., 2007; KUNZE, 2010; SILVA, 2008).

Figura 10 - Etapa de brassagem do malte.



Fonte: Google imagens.

O mosto então segue para um processo de fervura a temperaturas por volta de 100°C, onde são adicionados compostos importantes como o lúpulo. Após a adição do lúpulo (Figura 11) ao mosto, ele é fervido por um período de uma hora, para que ocorra a sua dissolução. No geral, é feita a adição do lúpulo em dois momentos diferentes da fervura, no início e no final. A primeira adição tem como função incorporar amargor à cerveja. E a última adição tem como função incorporar aroma, visto que os óleos essenciais são solubilizados e incorporados ao mosto, e se forem adicionados no início pode ocorrer a volatilização desses compostos. Após esse processo, ocorre a separação dos resíduos restantes, uma massa conhecida comumente como *trub*, que é decantada no fundo do tanque de fervura em tanques específicos (DRAGONE et al., 2007; KUNZE, 2010; SILVA, 2008).

Figura 11 - Lúpulo fresco e lúpulo peletizado.



Fonte: Google imagens.

Posteriormente à fervura, o mosto é então resfriado e realiza-se a adição da levedura para que ocorra a fermentação e maturação da bebida, passando o mesmo, agora, a receber a denominação de cerveja. As leveduras mais utilizadas em cervejaria são do gênero *Saccharomyces*: *Saccharomyces cerevisiae* (alta fermentação) e *Saccharomyces pastorianus* (baixa fermentação). Nessa etapa é necessário também fazer a aeração do mosto antes do início da fermentação, visto que o oxigênio é usado pelas leveduras no processo de respiração celular e síntese de ácidos graxos insaturados e esteróis (DRAGONE et al., 2007; KUNZE, 2010; SILVA, 2008; VENTURINI FILHO, 2010).

Após a inoculação da levedura (comumente chamada de “fermento”), ocorre a fermentação que tem a liberação de CO<sub>2</sub>, calor e a metabolização dos açúcares fermentescíveis em álcool e outros compostos. A fermentação ocorre em tanques (Figura 12), em temperatura controlada, de acordo com o tipo de levedura adicionada e com o tipo de cerveja que se deseja obter. Após a fermentação, a levedura é retirada dos tanques e o líquido passa por um processo de repouso denominado maturação, onde ocorrem reações físico-químicas de transformação do aspecto visual da bebida e geração de aromas e sabores característicos (DRAGONE et al., 2007; KUNZE, 2010).

Figura 12 - Tanque de fermentação cervejeira.



Fonte: Google imagens.

Após a maturação, é realizada uma última filtragem da cerveja para remover partículas em suspensões, como o fermento que foi adicionado por exemplo, garantindo aspecto e apresentação visual adequados do produto na hora do consumo (CURI, 2006). Por fim, é feita a pasteurização na temperatura de 61°C, para eliminar microrganismos que podem diminuir a durabilidade dessa cerveja, seguido pelo envase, o qual pode ser feito em barris de aço inoxidável, garrafas e/ou latas (DRAGONE et al., 2007; KUNZE, 2010; SILVA, 2008).

#### **4.1.2. Resíduos cervejeiros**

A produção de cerveja no Brasil atingiu cerca de 15,36 bilhões de litros em 2023 (MAPA, 2023), o que reflete o impacto significativo da indústria cervejeira na economia e no meio ambiente. Embora seja considerada menos poluente em comparação com outras indústrias, os subprodutos e resíduos gerados ainda apresentam potencial de contaminação ambiental se não forem devidamente tratados (CORDEIRO, 2011).

O principal resíduo gerado na indústria cervejeira é o bagaço de malte, resultante da filtração do mosto antes da fervura. Estima-se que sejam produzidos cerca de 20 kg de bagaço de malte para cada 100 L de cerveja, o que representa aproximadamente 85% do total de subprodutos de uma cervejaria. O bagaço é constituído predominantemente de restos de casca e polpa de malte, podendo também conter grãos de adjuntos como arroz, trigo e milho (CORDEIRO, 2011; KUNZE, 2010; LIMA et al., 2014; LYNCH et al., 2016; MUSSATTO et al., 2006). Embora o bagaço seja rico em nutrientes e possa ser incorporado à alimentação animal, grande parte desse resíduo é descartada em solos e aterros sanitários devido ao alto volume produzido (FACCENDA, 2015; STEFANELLO et al., 2014).

Além do bagaço de malte, outros resíduos também são gerados durante o processo cervejeiro, como o excesso de levedura, os resíduos do envase (incluindo pasta celulósica dos rótulos removidos nas lavagens de garrafas retornáveis e garrafas quebradas), o *trub* grosso (removido após o cozimento do mosto) e o *trub* fino (retirado na filtração final da cerveja) (CORDEIRO, 2011; MATHIAS, 2015). O *trub* grosso e fino representam a segunda maior quantidade de resíduos sólidos gerados no processo cervejeiro. O *trub* se forma a partir da coagulação de proteínas, principalmente aquelas de alta massa molecular, que, sob ação do calor, perdem água de solvatação, resultando em sua desnaturação (BARCHET, 1993; PRIEST; STEWART, 2006).

Por outro lado, a levedura cervejeira atua como o principal agente biológico na conversão do mosto em cerveja. Durante a fermentação, sua biomassa pode aumentar de três a cinco vezes dentro do reator (BRIGGS et al., 2004). Após o término dessa etapa, segue-se um período de segurança em baixas temperaturas, no qual ocorre a fermentação. Na indústria cervejeira, é comum reutilizar essa biomassa celular para inocular novos tanques de fermentação. No entanto, há um limite para essa reutilização a fim de preservar a qualidade da bebida. Quando a possibilidade de reciclagem se esgota, as células excedentes são descartadas, gerando um desperdício sólido significativo. Esse excedente totaliza entre 1,5 e 3 kg (com umidade de 85 a 90%) para cada 100 litros de cerveja fabricadas (OLAJIRE, 2012; FERREIRA et al., 2010; FILLAUDEAU, et al., 2006).

Existem diversos estudos voltados para o aproveitamento desses resíduos em diferentes áreas. As leveduras, por exemplo, podem ser reaproveitadas na produção de suplementos nutricionais, biocombustíveis e em processos de fermentação em outras indústrias (MARTINS, 2009; RODRIGUES, 2023). O lúpulo, presente no *trub*, além de seu papel na fabricação de cerveja, pode ser utilizado na produção de cosméticos e produtos medicinais (COSTA, 2017). No geral, a coleta desses resíduos para aproveitamento é feita, em seguida é feito o

congelamento e a secagem para o aproveitamento. Os resíduos do envase podem ser reciclados para a produção de papel ou reaproveitados como material de construção, enquanto o *trub* grosso e fino podem ser utilizados como adubo orgânico ou em processos de compostagem, contribuindo para a sustentabilidade ambiental da indústria cervejeira (BARCHET, 1993; PRIEST; STEWART, 2006).

#### **4.2. Propriedades do bagaço de malte**

O bagaço de malte é produzido em grande escala e acaba sendo disponível à baixo ou nenhum custo o ano todo, muitas vezes acaba sendo descartado no meio ambiente causando impactos ambientais. É um subproduto rico em fibras e proteínas, vem sendo incorporado em alimentação de animais, como substituto parcial ou integral de farinhas em pães e outros alimentos (CORDEIRO, 2013; FERRO et al., 2017; SARAIVA, 2019), como bioenergia e biogás (KAFLE; KIM, 2013), bioprocessos (GENCHEVA et al., 2012), suporte para imobilização celular (HASHEMI et al., 2011), dentre outros.

O uso do bagaço de malte tem sido cada vez mais estudado, visto que boa parte desse material é destinado à alimentação animal, como bovinos, suínos, aves e caprinos. Existem pesquisas que avaliam o efeito do consumo desse subproduto nos animais (ALIYU, 2011; GONÇALVES et al., 2009; MUSSATTO et al., 2006; PARPINELLI, 2016).

Com o aumento da população, se tem uma busca cada vez maior por novas alternativas de alimentos e a utilização de subprodutos de indústrias que muitas vezes acabam sendo descartados (PANDOLFI, 2020). Devido esse fato, estudos têm sido desenvolvidos para a utilização do bagaço de malte em formulações de alimentos como: pães (KUIAVSKI, 2020; MATTOS, 2010), bolos (MONTEIRO, 2019), linguiças (HERRMANN, 2021), entre outros.

A composição do bagaço de malte é variada, visto que existem variedades de tipos comerciais e processos de fabricação de cerveja existentes, que modificam as características do resíduo. Na Tabela 1 é apresentada caracterização do bagaço de malte realizada por Barbosa (2022), onde pode-se observar que esse material possui um elevado teor de proteínas e fibras e quantidades consideráveis de minerais.

Tabela 1 - Tipo e quantidade de macro e micronutrientes presentes no resíduo de bagaço de malte.

Nutrientes	Composição
Proteínas*	18,50±0,12
Lipídeos*	6,41±0,02
Fibra alimentar*	43,69±0,00
Cálcio**	81,60±0,07
Ferro**	21,00±0,08
Fósforo**	488,27±0,32
Manganês**	3,43±0,01
Potássio**	157,09±0,26
Zinco**	6,72±0,12

\*Expresso em g/100g;

\*\*Expresso em mg/100g.

Fonte: Adaptado de Barbosa (2022).

As principais fibras alimentares presentes no bagaço de malte são: celulose (16,8% - 20,6%), hemiceluloses (18,4% - 28,4%) e lignina (9,9% - 27,8%). Além disso, o mesmo apresenta também proteínas (15,3% - 26,6%), extrativos (5,2% - 5,8%) e cinzas (2,7% - 4,6%) (MUSSATTO; ROBERTO, 2006; QIN et al., 2018; WILKINSON et al., 2014). Entre as hemiceluloses mais encontradas no bagaço de malte tem-se a xilana e arabinana, formadas pelos açúcares xilose e arabinose, respectivamente (MUSSATTO; ROBERTO, 2006; PINHEIRO et al., 2019; QIN et al., 2018). Entre as proteínas, destacam-se as hordeínas, compondo até 60% das proteínas do grão (LINSKENS et al., 1988; MOLINA-CANO et al., 2001). Estas são proteínas de reserva que não são extraídas na mosturação, devido a sua solubilidade apenas em soluções alcoólicas de concentração 70% a 80% v/v (MOLINA-CANO et al., 2001; SGARBIERI, 1996).

Além disso, observa-se nesse subproduto a presença de compostos fenólicos, como: flavonoides, taninos, proantocianidinas e cistois amino-fenólicos (MENESES et al., 2013). São encontrados também minerais como cálcio, magnésio, silício e fósforo também estão presentes no bagaço, assim como vitaminas do tipo E e do complexo B. A presença de aminoácidos como leucina, valina, alanina, serina, glicina, ácido glutâmico e aspártico também foi verificada nesse material. Além disso, apresenta ácidos graxos como ácidos linoleico, oleico e palmítico (MUSSATTO et al., 2006).

Compostos bioativos são substâncias presentes em alimentos que auxiliam em funções específicas do corpo. Esses compostos são formados por um conjunto de substâncias composto por vitaminas, minerais, pigmentos e enzimas. Nos últimos anos, tem surgido um grande interesse no uso e estudo desses compostos bioativos (CROWE et al., 2013; HASLER, 1998). O bagaço de malte é rico em compostos bioativos, como citado anteriormente. Abaixo, de forma mais detalhada, são apresentados os principais compostos bioativos encontrados no bagaço de malte.

#### 4.2.1. Fibras

Fibras são uma classe dos carboidratos, que são constituídas de substâncias intrínsecas e intactas de origem vegetal que, quando ingeridas, não sofrem ação das enzimas humanas, não sendo digeridas ou absorvidas. Apesar de não serem digeridas pelo corpo humano, elas trazem benefícios à saúde, sendo conhecidas como fibras funcionais, que podem ser acrescentadas em alimentos ou utilizadas como suplementos. Entre os benefícios estão: auxiliam na saúde intestinal, na sensação de saciedade, favorecendo a diminuição da ingestão de alimentos, e no controle da glicemia e do colesterol (BRAUCHLA et al., 2013; CHAO et al., 2008; MORAIS; MAFFEI, 2000; TABBERS et al., 2011b).

As fibras possuem características como solubilidade, viscosidade, capacidade de retenção de água, suscetibilidade à fermentação, aumento do volume fecal e função como substrato para a microbiota, que influenciam diretamente suas funções no trato gastrointestinal. Elas podem ser classificadas em solúveis e insolúveis. As fibras solúveis em água são metabolizadas no cólon, promovendo maior volume do bolo fecal, intensificação da fermentação, produção de ácidos graxos de cadeia curta, aceleração do trânsito intestinal e redução da absorção de carboidratos, além de diminuir o pH intestinal. Exemplos de fibras solúveis incluem *psyllium*, goma guar e pectina. Enquanto as fibras insolúveis apresentam menor capacidade de retenção de água no cólon, preservam o volume do bolo fecal e aceleram o trânsito intestinal. Elas são pouco fermentáveis, mas desempenham um papel importante na prevenção da constipação, sendo exemplos a celulose, lignina e algumas hemiceluloses (TABBERS, 2011b; MORAIS; MAFFEI, 2000; ESWARAN et al., 2013).

O bagaço de malte destaca-se como uma rica fonte de fibras alimentares, como hemiceluloses, celulose e lignina. Essas fibras não são digeridas pelos seres humanos, mas desempenham funções importantes no trato gastrointestinal, contribuindo para o aumento do volume fecal e o trânsito intestinal. Dessa forma, a incorporação do bagaço de malte em

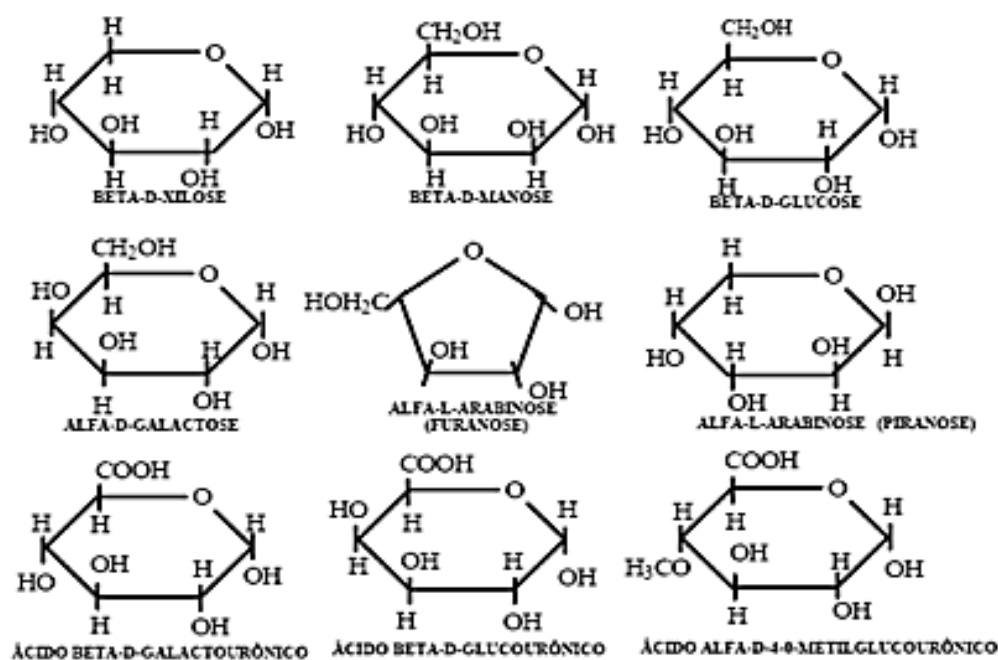


alimentos ou suplementos pode ser uma estratégia eficiente para aproveitar suas fibras funcionais, proporcionando benefícios à saúde intestinal e metabólica (BRAUCHLA et al., 2013; CHAO et al., 2008; MORAIS; MAFFEI, 2000).

#### 4.2.1.1. Hemiceluloses

A Hemiceluloses, conhecidas também como polioeses, são estruturas amorfas constituídas de polissacarídeos heterogêneos. Elas têm uma combinação aleatória de monossacarídeos incluindo principalmente pentoses ( $\beta$ -D-xilose,  $\beta$ -L-arabinose), hexoses ( $\beta$ -D-glicose,  $\beta$ -D-manose,  $\beta$ -D-galactose) e ácidos urônicos (DE MORAES et al., 2005) (Figura 13). Essa estrutura apresenta maior susceptibilidade à hidrólise ácida, visto que se tem maior acessibilidade aos ácidos que são mais usados como catalisadores. Isso se dá devido ao caráter amorfo desses polissacarídeos (OGATA, 2013).

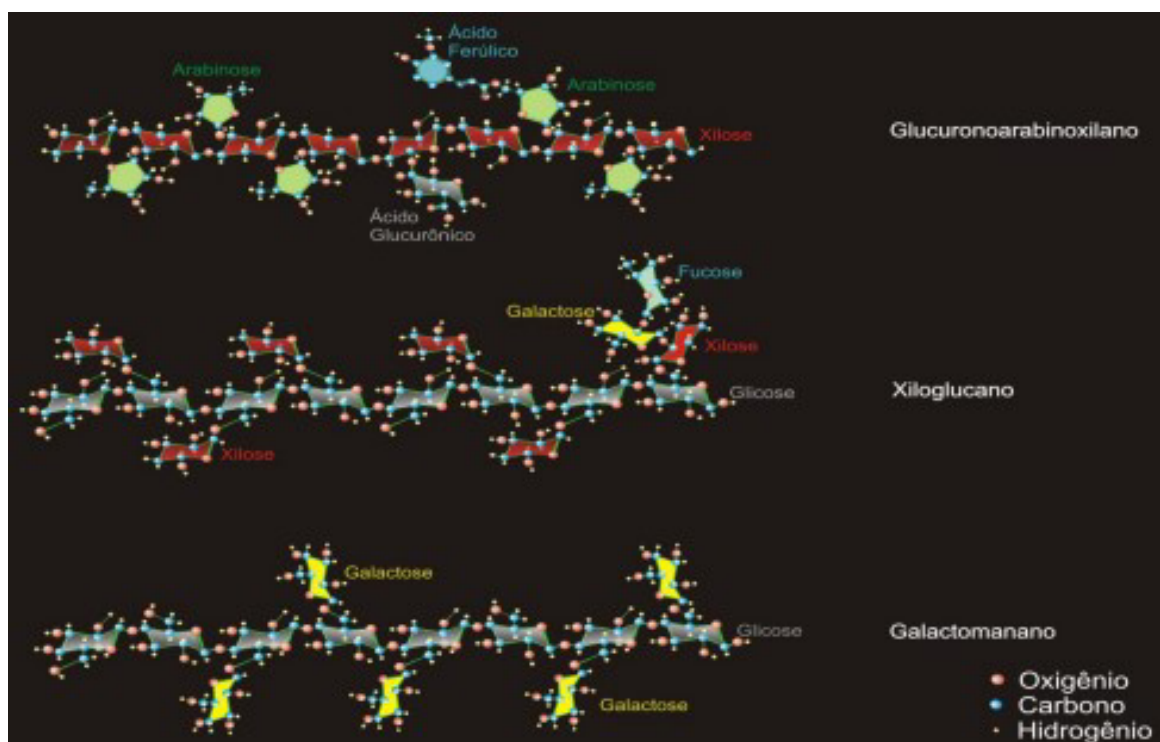
Figura 13 - Estrutura parcial da molécula de hemicelulose.



Fonte: DE MORAIS et al., 2005.

São encontradas diversas subclasses de hemiceluloses, que variam de acordo com o tipo de vegetal, estágio de desenvolvimento e tipo de tecido vegetal. São exemplos de hemiceluloses: glucuronoxilanas, arabinoxilanas, mananas lineares, glicomananas, galactomananas, galactoglicomananas,  $\beta$ -glucanas e xiloglucanas (DE MORAES et al., 2005, OGATA, 2013). Na Figura 14, pode ser visualizado algumas estruturas de hemiceluloses.

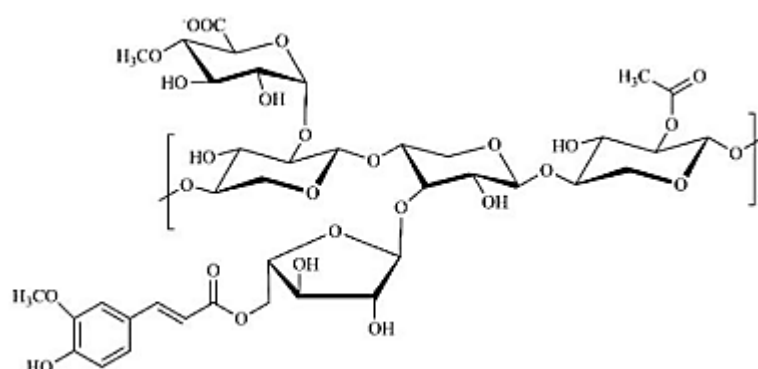
Figura 14 - Estrutura química das principais hemiceluloses.



Fonte: BUCKERIDGE, SANTOS E SOUZA, 2011.

A hemicelulose mais abundante na natureza é a xilana. Ela apresenta estrutura variada de acordo com sua fonte e método de extração. As xilanas de plantas apresentam uma estrutura comum de D-xilopirranose, na qual ocorrem ligações  $\beta$ - (1  $\rightarrow$  4) glicosídicas (OLIVEIRA et al., 2010; KISHANI et al., 2019). Outros grupos que podem se ramificar da estrutura principal são arabinose, ácidos glicurônico e ácido acético (PATRICIO, 2022). Na Figura 15, ilustra-se a estrutura química da xilana.

Figura 15 - Estrutura química da xilana.



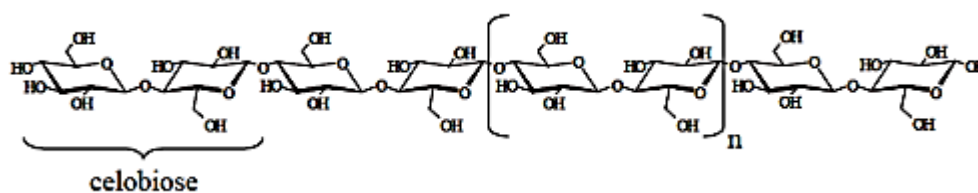
Fonte: SILVA et al, 2012.

Nas cascas de cevada, utilizada para produção de cerveja, as hemiceluloses representam 30% em peso seco de material sólido. No bagaço de malte estão presentes em concentrações de 18,4% - 28,4% em peso de material sólido. Sendo assim, o bagaço de malte pode ser uma fonte de hemicelulose que tem benefícios a saúde, aplicações na indústria para produção de biocombustível e em embalagens biodegradáveis (KRAWCZYK et al., 2008; MUSSATO; ROBERTO, 2006).

#### 4.2.1.2. Celulose

A celulose corresponde a 40% da reserva de carbono disponível nos vegetais. É o constituinte mais abundante da parede celular vegetal e é definido como um homopolissacarídeo composto por unidades de D-glicose unidas entre si por ligações glicosídicas  $\beta$ 1-4, como mostra a Figura 16 (OGATA, 2013; RABELO, 2007).

Figura 16 - Representação da cadeia linear da celulose.



Fonte: TÍMAR-BALÁZSY e EASTOP, 1998.

As paredes celulares dos vegetais apresentam uma rigidez, que se dá devido às ligações de hidrogênio que ocorrem entre as unidades de glicose de moléculas adjacentes, enquanto as ligações intramoleculares são as que ocorrem entre unidades de glicose que são responsáveis pela formação das fibrilas, que são as estruturas altamente ordenadas que se associam formando as fibras de celulose (OGATA, 2013; SILVA, 2010).

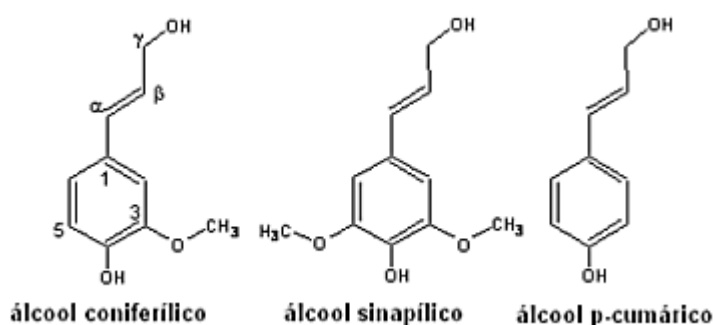
A celulose apresenta cadeia de comprimento que pode variar de 10 a 15 mil unidades. O tamanho varia de acordo com fatores, como: sua origem, grau de maturação da parede celular, tempo de envelhecimento e o processamento a que as fibras foram submetidas (FENGEL; WEGENER, 1989). A celulose pode ser classificada com base no seu grau de polimerização e o índice de cristalinidade. O primeiro é a frequência de ligações glicosídicas disponível para a ação das celulasas e pode ser definido baseando-se no número médio de monômeros e no peso molecular do polímero, enquanto o índice de cristalinidade é a reatividade do substrato (D'ALMEIDA, 1988; ESTEVES, 2011).

O malte apresenta de 5 a 6% de celulose exclusivamente na casca que atua como substância estrutural. O bagaço de malte apresenta uma grande quantidade de celulose que varia de 16,8% - 20,6%. Devido a celulose ser insolúvel e não poder ser quebrada por enzimas durante o processo produtivo da cerveja, ela atua como filtro do mosto e não interfere na qualidade (KUNZE, 2010; MUSSATO; ROBERTO, 2006).

#### 4.2.1.3. Lignina

A lignina é uma macromolécula hidrofóbica, que apresenta estrutura tridimensional e amorfa, que é altamente ramificada (SILVA, 2011). Ela corresponde a 20 a 30% da composição da parede celular vegetal. A síntese dessa substância se dá a partir de três precursores monoméricos: o álcool coniferílico, o álcool sinapílico e o álcool p-cumarílico (Figura 17) (NASCIMENTO, 2007).

Figura 17 - Estrutura dos álcoois precursores da lignina.

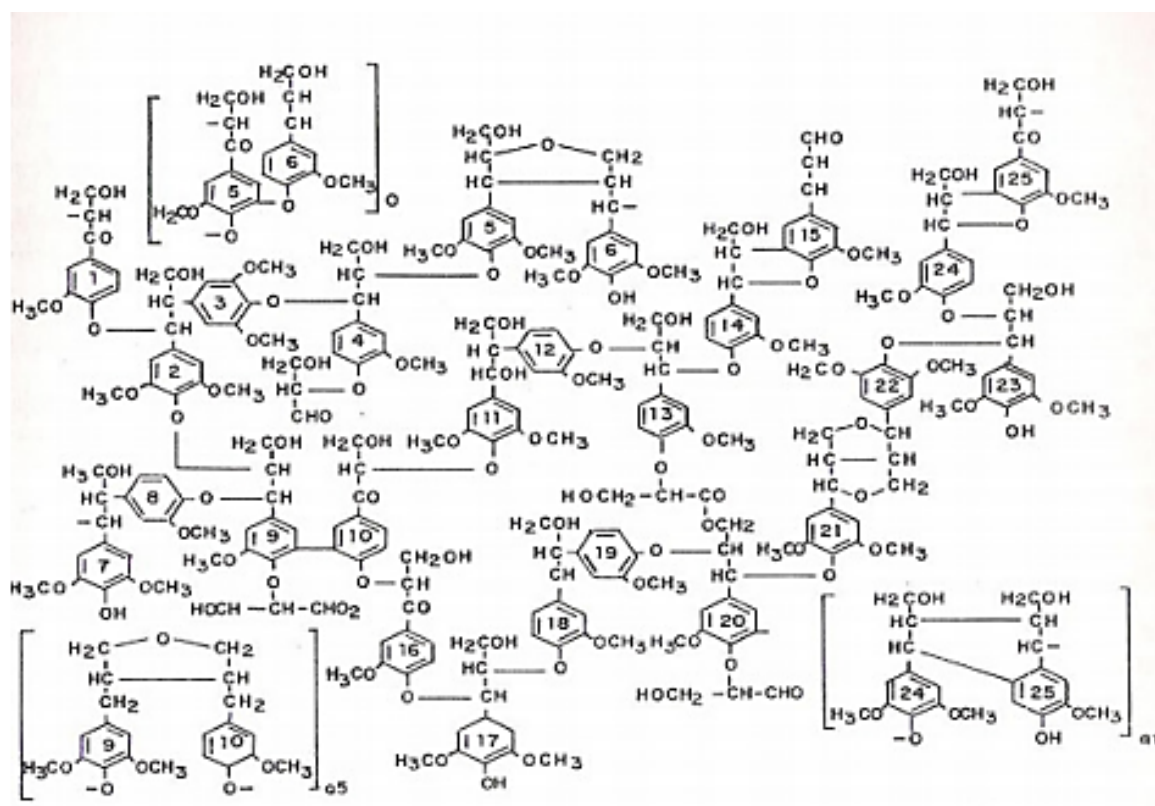


Fonte: OGATA, 2013.

Sua estrutura é mais complexa comparada com a da celulose e da hemicelulose, por causa da presença de diversas unidades precursoras e a diversidade de combinações entre elas. Nas plantas, a lignina tem como principais funções o transporte de água, nutrientes e metabólitos, além de dar resistência mecânica e proteção dos tecidos contra ataques de pragas (MARABEZI, 2009; SILVA, 2011).

Sua estrutura tridimensional explica a resistência mecânica da lignina. Tecidos lignificados resistem ao ataque por microrganismos, impedindo a penetração de enzimas destruidoras da parede celular. Existem três tipos de estruturas para ligninas: lignina de coníferas, folhosas e plantas de ciclo anual (PHILIPP, 1988). A Figura 18 mostra um modelo da estrutura química para lignina de folhosas.

Figura 18 - Modelo de um dos tipos de estrutura química para lignina de folhosas.



Fonte: BROWNING, 1963.

O bagaço de malte apresenta cerca de 9,9% - 27,8% de lignina. A lignina torna o bagaço de malte resistente à degradação biológica e química, que na natureza oferece vantagem por aumentar a resistência de toda matéria lignocelulósica à decomposição (BALAT, 2011). A lignina limita o acesso à celulose e hemicelulose formando uma barreira física durante os processos de hidrólise enzimática, além de adsorver improdutivamente as enzimas, limitando a ação dessas (KO et al., 2014).

#### 4.2.2. Compostos antioxidantes

As substâncias antioxidantes apresentam destaque, visto que ajudam a proteger o organismo humano contra o estresse oxidativo, eliminando o excesso de radicais livres que podem causar alterações no DNA, doenças cardiovasculares, degenerativas e neurológicas. Esse estresse oxidativo ocorre nos organismos que são expostos a um ambiente oxigenado, desta maneira, os sistemas biológicos desenvolvem métodos de defesa para se proteger contra o processo de oxidação (KOIKE, 2015; YOUNG, 1999).

Esses compostos podem ser classificados de acordo com seus mecanismos associados, que são: preventivos, captadores, reparadores e de adaptação. Os preventivos são aqueles que constituem a primeira defesa do organismo, enquanto os captadores atuam na segunda linha de defesa, removendo espécies reativas e impedindo o ataque as moléculas. Os reparadores são a terceira linha de defesa, atuando na reparação de lesões, eliminando resíduos ou reconstituindo funções perdidas. E os adaptadores são a quarta linha de defesa, em que o antioxidante é produzido e transferido na quantidade necessária para posições adequadas (KOIKE, 2015; NIKI, 2010).

Os compostos fenólicos são amplamente encontrados na natureza, estando presentes em vegetais, frutas e até em alguns produtos industrializados. Eles desempenham um papel importante como antioxidantes, atuando na doação de elétrons e hidrogênios, além de formarem radicais intermediários que ajudam a prevenir a oxidação de diversos componentes dos alimentos. Esses compostos são classificados em dois grupos principais: os flavonoides, que pertencem à classe dos polifenóis, e os não-flavonoides, que incluem fenóis simples (KO et al., 2014; SILVA et al, 2010).

O malte apresenta grandes quantidades de compostos antioxidantes que ajudam na estabilidade e conservação de alimentos e bebidas. Na cerveja, esses compostos auxiliam na preservação do sabor e na qualidade do produto. O bagaço de malte é uma fonte rica de compostos bioativos, incluindo fibras, proteínas e compostos fenólicos com propriedades antioxidantes. Esses compostos antioxidantes presentes no bagaço de malte, como flavonoides e taninos são capazes de neutralizar radicais livres, contribuindo para a redução do estresse oxidativo em sistemas biológicos (CROWE et al., 2013; HASLER, 1998).

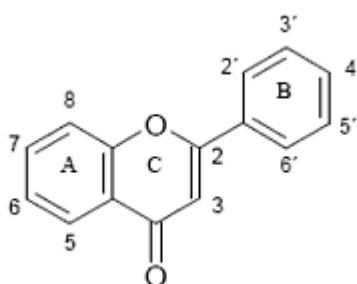
#### 4.2.2.1.Flavonoides

Os flavonoides são a classe mais importante e diversa dentro do grupo de compostos fenólicos, que apresenta mais de 5000 subclasses e estão amplamente distribuídos entre os alimentos (KATAN, 1992). A principal forma de ocorrência desse composto é como flavonoides glicosilados e pode ser agrupado em diversas subclasses, como: antocianinas, flavona, flavanonas, isoflavonas e flavonóis. No geral, são encontrados em alimentos como O-glicosídeos, com açúcar normalmente ligado na posição C3 ou, no caso das isoflavonas, C7 (KING; YOUNG, 1999).

Os representantes dessa classe possuem 15 átomos de carbono no seu núcleo fundamental, apresentando duas fenilas, ligadas por uma cadeia de três átomos de carbono entre

elas. Na Figura 19, é possível ver estrutura dos flavonoides, que é composta por um esqueleto de difenil-propano (C6–C3–C6) com dois anéis benzênicos (A e B) ligado a um anel pirano (C). A alta atividade antioxidante desse composto se dá devido às duplas ligações dos anéis benzênicos e à dupla ligação da função oxo ( $-C=O$ ) (HRAZDINA et al., 1970; KING; YOUNG, 1999).

Figura 19 - Estrutura química básica dos compostos flavonoides.



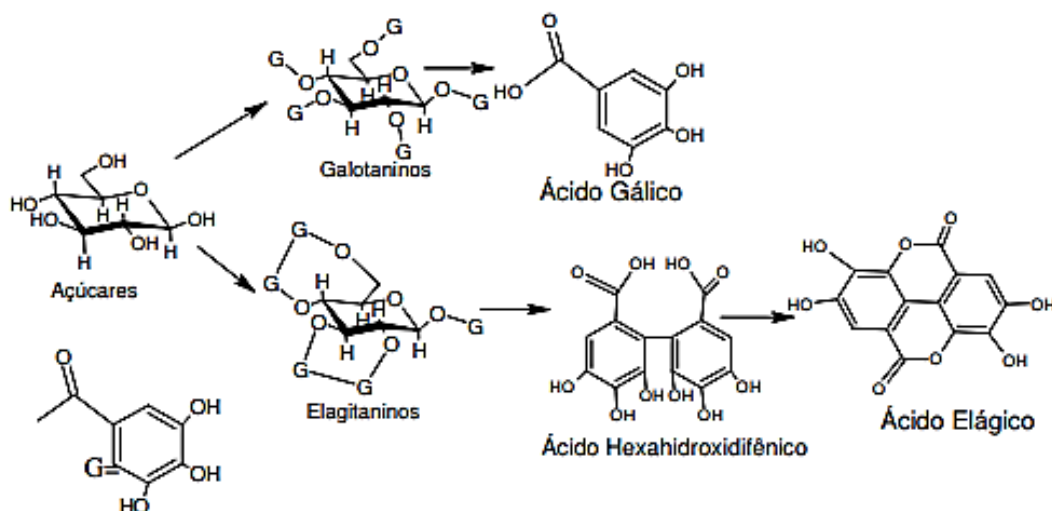
Fonte: SILVA, 2015.

Os flavonoides apresentam capacidade de proteger o ascorbato da oxidação devido as suas propriedades complexantes de metais, através do grupo orto di-hidroxila. As antocianinas também são capazes de prevenir a oxidação *in vitro* do ácido ascórbico por íons metálicos, não apenas através da quelação de metais, mas também através da formação de um complexo ácido ascórbico (co-pigmento) – metal – antocianina. Os principais flavonoides presentes no bagaço de malte são: catequinas, epicatequinas e quercetina (KOIKE, 2015; SARMA et al., 1997).

#### 4.2.2.2. Taninos

Taninos são metabólitos secundários de natureza polifenólica extraídos de plantas, , que foram classificados em dois grupos: as proantocianidinas, que são os taninos condensados, responsáveis pelas características normalmente atribuídas a estas substâncias, como adstringência, precipitação de proteínas, e outras; e os taninos hidrolisáveis, que são ésteres do ácido gálico e seus dímeros (ácido digálico ou hexaidroxifênico e elágico) com monossacarídeos, principalmente a glucose (DE CAMARGO, 2009; HASLAM, 1989). Normalmente, os taninos hidrolisáveis (Figura 20) são divididos em galotaninos, que produzem ácido gálico após hidrólise, e em elagitaninos, que produzem ácido elágico após hidrólise (NASCIMENTO, 1996).

Figura 20 - Taninos Hidrolisáveis: galotaninos e elagitaninos.



Fonte: DE CAMARGO, 2009.

Os taninos condensados, também conhecidos como proantocianidinas, são amplamente encontrados no reino vegetal. Esses compostos são polímeros de flavan-3-ol e/ou flavan-3,4-diol, derivados do metabolismo do fenilpropanol<sup>6,20-23</sup>. O nome "proantocianidinas" possivelmente se deve ao fato de originar pigmentos avermelhados da classe das antocianidinas, como cianidina e delphinidina. Essas publicações apresentam uma rica diversidade estrutural, que surge das variações nos padrões de substituição entre unidades flavânicas, nas posições de suas ligações e na estereoquímica de seus compostos. Esses compostos são particularmente comuns em angiospermas e gimnospermas, com destaque para plantas lenhos (MELLO, 2001; MONTEIRO, 2005).

Os taninos presentes no bagaço de malte têm influências tanto tecnológica quanto nutricional. As influências tecnológicas são adstringência, interação com proteínas e estabilidade oxidativa. No parâmetro nutricional, apresenta atividade antioxidante, propriedades antimicrobianas e redução de biodisponibilidade de nutrientes como ferro e zinco.

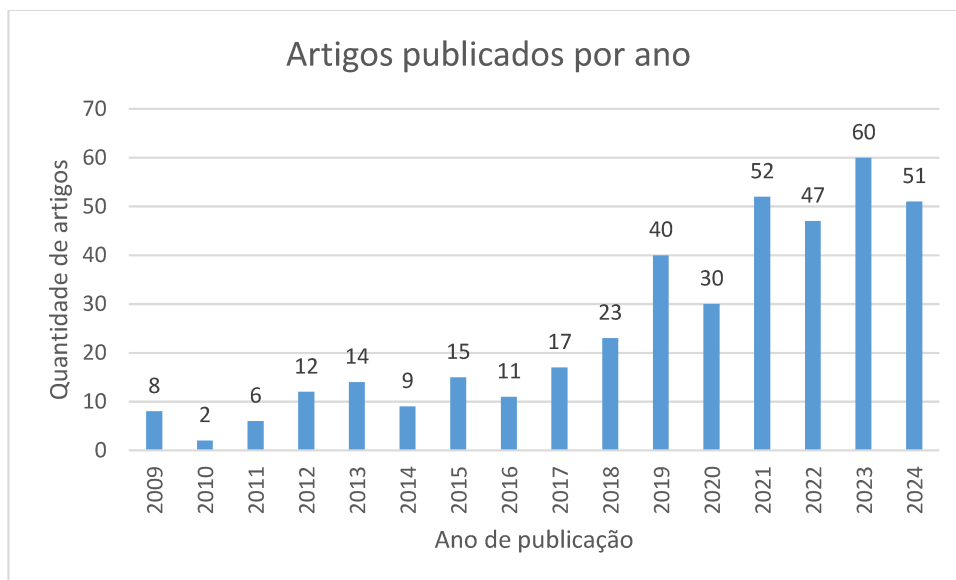
#### 4.3. Aplicações do bagaço de malte

Com base nas pesquisas realizadas, foram encontrados 397 artigos relacionados com o bagaço de malte, suas aplicações e estudos relacionados. Com esses resultados e os filtros utilizados na pesquisa, foi possível elaborar gráficos que mostram a quantidade de artigos publicados por ano (Figura 21). É possível observar que os números de artigos publicados



relacionados ao tema têm sido crescente nos últimos anos, mostrando a importância que está sendo a questão de aproveitamento desse resíduo cervejeiro.

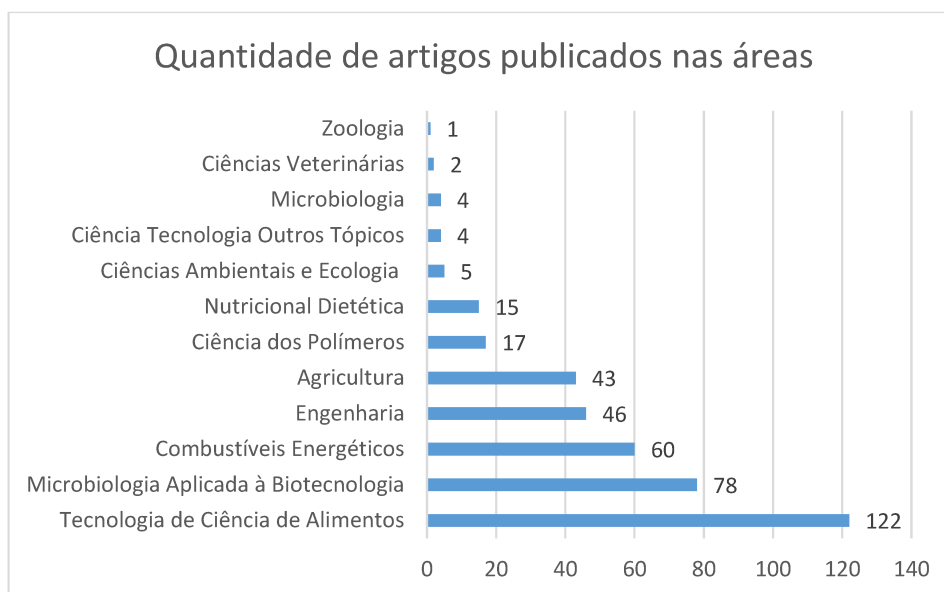
Figura 21 - Relação entre artigos publicados por ano, relacionados com bagaço de malte.



Fonte: a autora.

Em paralelo elaborou-se a Figura 22, que mostra a quantidade de artigos publicados por áreas do conhecimento. Foram selecionadas 12 áreas, das quais foi possível analisar que a área de “tecnologia de ciências de alimentos” apresentou maior número de publicações, com 30,73% do total, mostrando a tendência em se realizar estudos para o aproveitamento desse resíduo cervejeiro com aplicação na produção de alimentos.

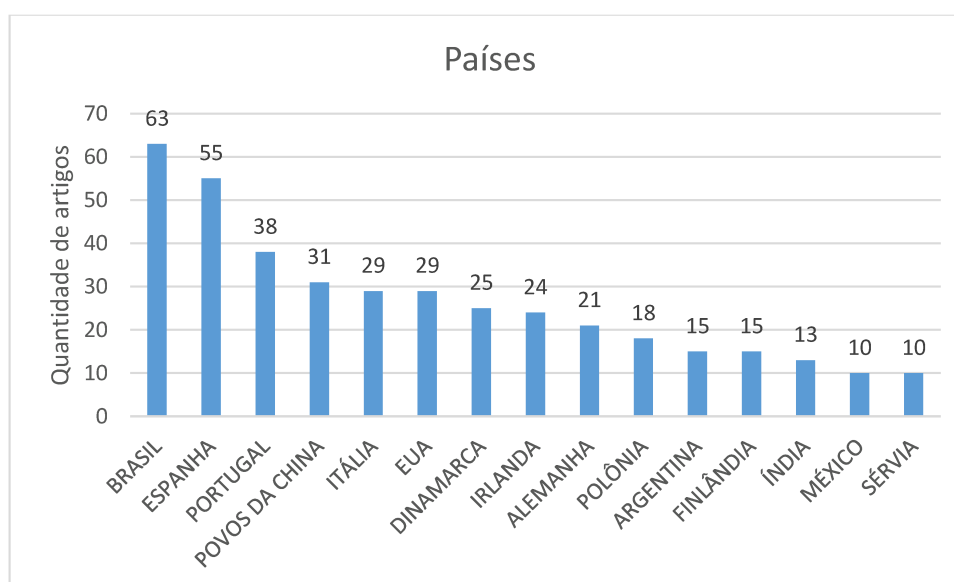
Figura 22 - Relação de artigos publicados por áreas de estudo.



Fonte: A autora.

Com base nos filtros aplicados, foi possível obter também a relação dos países de origem dos artigos que publicaram pesquisas sobre o bagaço de malte, como apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Relação dos principais países de origem das publicações relacionados com o bagaço de malte.



Fonte: A autora.

O Brasil é o principal país que gera publicações sobre o aproveitamento do bagaço de malte, respondendo por 15,90 %, seguido pela Espanha com 13,88 % e Portugal com 9,59%. De forma geral, os gráficos evidenciam que o bagaço de malte é um tema de interesse global, com destaque para países com forte tradição cervejeira e que desenvolvem pesquisas para o

aproveitamento desse subproduto. Entretanto países como China e EUA, que são os maiores produtores de cerveja, não estão liderando estudos para o aproveitamento do bagaço de malte.

Assim, com base nas pesquisas realizadas e os gráficos apresentados, foram escolhidos os subtemas mais relevantes para estudo voltados às aplicações do bagaço de malte, os quais serão apresentados nos tópicos a seguir:

#### 4.3.1. Alimentação animal

A alta competitividade dos cereais tradicionais, como milho e soja, devido à sua ampla utilização, torna necessária a busca por novas fontes de alimentos para os animais. Nesse contexto, destacam-se as oportunidades de utilizar e aproveitar os resíduos industriais, também conhecidos como subprodutos ou coprodutos, na alimentação de ruminantes (SALMAN, 2012). Neste cenário, o bagaço de malte acaba sendo uma opção mais econômica para os produtores, visto que o mesmo é comumente descartado. Sua reutilização não apenas reduz custos, mas também contribui para a preservação ambiental, minimizando o descarte inadequado de resíduos e promovendo a maximização dos recursos naturais (CAVALCANTE, 2018). O bagaço de malte é uma excelente fonte de proteínas para rações de animais como: bovinos, caprinos, suínos e peixes (HUIGE, 2006; KAUR; SAXENA, 2004).

Brochier et al. (2009) analisaram os aspectos ambientais produtivos e econômicos do aproveitamento do resíduo cervejeiro na alimentação de cordeiros em sistema de confinamento. Foram formuladas dietas usando feno, milho desintegrado, farelo de soja e o bagaço de malte, variando as proporções de cada ingrediente, como mostra a Tabela 2. Os cordeiros receberam a dieta por 77 dias sendo que, após esse período, foi analisado o aumento de peso e as carcaças dos animais após o abate. Os resultados apresentados não mostraram diferença estatisticamente entre os tratamentos, ou seja, não ocorreu diferença significativa no peso e preço das carcaças, visto que esse preço é pago proporcionalmente a qualidade delas. Além disso, a recomendação dos autores foi que substituição máxima com resíduo não ultrapasse 31,1%, visto que acima desse valor causa o aumento da concentração de fibras em detergente neutro nas dietas, que leva à redução do ganho de peso dos animais.

Tabela 2 - Proporção usada para formulação das rações para cordeiros na pesquisa de Brochier et al. (2009).

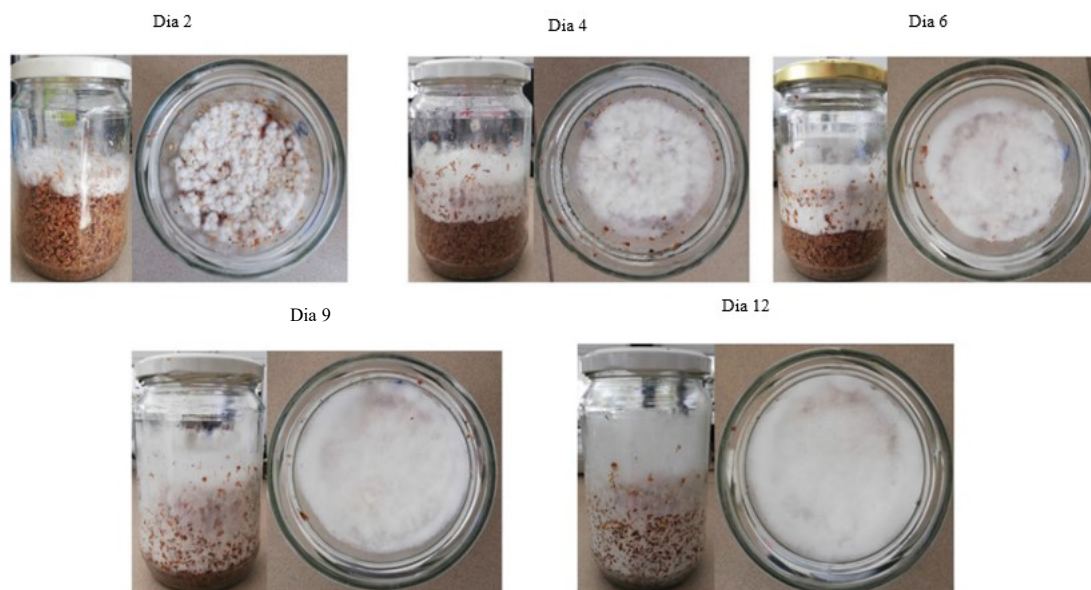
	Nível de resíduo				
	0	25	50	75	100
Ingredientes	Proporção dos ingredientes (% massa seca)				
Feno	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Milho	30,42	22,71	15,01	7,31	-
Farelo de soja	28,62	21,39	14,16	6,93	-
Bagaço de malte	-	15,00	30,00	45,00	59,33
Calcário calcítico	0,96	0,90	0,83	0,76	0,67

Fonte: Adaptado de BROCHIER (2009).

Resultados similares foram obtidos por Stefanello et al. (2019) em análise da substituição por bagaço de malte (BSG) na alimentação de novilhos em fase de terminação. Os animais receberam o bagaço de malte em substituição à silagem de milho (CS), nas proporções de: 50% concentrado + 50% CS; + 35% CS + 15% BSG; + 25% CS + 25% BSG; e 15% CS + 35% BSG por 90 dias. Após o abate foi analisada a influência da alimentação dos animais na estabilidade de lipídios, proteínas, cor e conteúdo microbiológico da carne embalada a vácuo sob armazenamento refrigerado por 75 dias. Em concordância com Brochier et al. (2009), os pesquisadores concluíram que até 35% da fonte de forragem pode ser substituída por bagaço de malte, sem influenciar na qualidade da carne bovina durante o armazenamento.

Eliopoulos et al. (2022) realizaram experimentos da fermentação do bagaço de malte com o fungo *Pleurotus ostreatus*. O estudo foi focado em aumentar a quantidade de proteínas para posterior uso como ração animal. A fermentação ocorreu em uma temperatura de 25°C, 60% de umidade, por 12 dias, usando uma proporção de 5% p/p, sendo que na Figura 24, tem-se o acompanhamento dos dias de fermentação. Os resultados foram significativos, aumentando em 49,49% a quantidade de proteínas, 10 vezes o nível de 1,3-1,6  $\beta$ -glucanos e uma redução respectiva de celulose em 11,42%. Portanto a fermentação do bagaço de malte gerou um produto com mais proteínas e consequentemente com maior valor agregado, podendo ser viável em grande escala.

Figura 24 - Imagens representativas dos estágios da fermentação durante os dias 2 a 12.



Fonte: Adaptado de ELIOPOULOS (2022).

Fernandes et al. (2022) realizaram pesquisa para aplicação desse resíduo cervejeiro em robalos europeus da espécie *Dicentrarchus labrax* em período de engorda. O bagaço de malte passou por uma fermentação utilizando *Aspergillus ibericus* para aumentar quantidade de açúcares redutores e atividade antioxidante. A fermentação foi realizada com 400 g de BSG seco a 25 °C por 7 dias em bandejas (43 × 33 × 7 cm), com 75% (p / p) de umidade ajustada antes da esterilização (121 °C, 15 min) e inoculada com  $2 \times 10^6$  esporos g<sup>-1</sup> de BSG seco. Foi comparado o crescimento dos robalos com dieta comum, ração feita a partir do resíduo cervejeiro e a ração feita com o resíduo fermentado. As dietas baseadas na ração com bagaço de malte demonstraram um potencial suplemento alimentar com alta atividade de carboidrases. Não se obteve um desempenho no crescimento e a composição corporal, entretanto observou-se o aumento da eficiência alimentar, que é uma das características economicamente importantes para criação de animais dado que afeta o lucro (custos da alimentação) e o meio ambiente. O estudo mostrou ainda que o extrato obtido pela fermentação do bagaço apresentou uma alta atividade de carboidrases, que tem propriedades intrínsecas, como especificidade de pH e inibidores, resistência à degradação proteolítica e estabilidade térmica, que condicionam a eficácia das enzimas exógenas, produzindo assim um produto com maior teor de proteínas.

Stahn et al. (2023) realizaram pesquisas de resíduos cervejeiros e agrícolas como ração de engorda para suínos. O bagaço de malte recebeu um aditivo nutricional que ajudou na fermentação e silagem e foi armazenado por 14 dias. Foram realizadas duas formulações: 30%

de silagem de resíduo de malte, 55% de trigo moído e 15% de torta de prensa de colza (BSG 1) ou 15% de torta de prensa de semente de abóbora (BSG 2). Segundo o autor, essa mistura foi feita devido a estudos anteriores mostrarem que o bagaço de malte não é aceito puro por suínos. Essas formulações foram fornecidas por 189 dias para grupos diferentes. Além disso, um grupo controle recebia ração padrão para fazer a comparação do desenvolvimento. Os resultados do desenvolvimento dos animais se mostraram semelhantes ao controle, entretanto o alto valor de fibras nas rações feitas a partir do bagaço de malte causaram uma saturação mais rápida nos animais podendo afetar no ganho de peso, visto que se tem um menor consumo de alimentos devido à saciedade que as fibras causam. Os resultados foram significativos, visto que os resíduos estão sendo reduzidos e está tendo resultados na engorda dos animais, substituindo em proporções adequadas.

Com base nos artigos apresentados, observa-se que o uso do bagaço de malte na alimentação animal é uma alternativa interessante para aproveitamento, entretanto, ainda existem poucos estudos nessa área. Por se tratar de um subproduto úmido e com grande quantidade de açúcares, se não houve um manejo adequado com o transporte e armazenamento, podem ocorrer fermentações e crescimento microbiológico indesejados, levando à sua deterioração. Se fazem, assim, necessários mais estudos para a manipulação do bagaço de malte para a alimentação de animais, visando evitar que ocorra essa contaminação. O bagaço de malte ainda pode passar por um processo fermentativo antes do aproveitamento visando aumentar quantidade de açúcares redutores e atividade antioxidante. O uso desse tipo de resíduo para alimentação de animais, desde que transportado e armazenado da forma correta, evita também a contaminação do meio ambiente e gera uma economia no gasto com ração na pecuária.

#### 4.3.2. Alimentação humana

Como já apresentado, o bagaço de malte apresenta poder nutricional interessante, sendo rico em compostos orgânicos, os quais são importantes para saúde humana. Dessa forma, tanto o próprio bagaço quanto os compostos presentes nesse resíduo podem ser incorporados em alimentos e suplementos alimentares, aumentando o seu valor nutricional (POJIĆ et al., 2018; WU, 2009). Geralmente, o bagaço de malte é usado na alimentação humana na forma de farinha, a qual é obtida pela secagem e moagem do resíduo. Observa-se na literatura muitos estudos na substituição parcial e/ou integral das farinhas convencionais por farinhas desse resíduo em alimentos. A seguir são apresentados alguns exemplos de estudos de alimentos onde houve a incorporação da farinha de bagaço de malte.

#### 4.3.2.1. Derivados cárneos

No geral, a utilização do bagaço de malte em produtos cárneos é usada para diminuir os teores de gorduras e aumentar os valores de fibra alimentar. Dessa forma, estudos buscando a substituição parcial ou integral da gordura pelo bagaço de malte, têm sido desenvolvidos em todo o mundo. A gordura nos derivados cárneos desempenha papel importante, visto que interage com outros ingredientes e afeta a estabilização das emulsões de carne, influenciando o rendimento do cozimento, o sabor e a textura do produto, além de aumentar a capacidade de retenção de água, fornecendo suculência a esses produtos. Assim as fibras presentes no bagaço de malte podem auxiliar a fornecer características similares a esses produtos, além de aumentar a quantidade de nutrientes dos mesmos (CHOI et al., 2010; YOUSSEF; BARBUT, 2009).

Özvural et al. (2013) realizaram análise sensorial dos efeitos da adição de farinha do bagaço de malte em salsichas do tipo *Frankfurter* como fonte de fibras. A farinha foi preparada variando o tamanho das partículas em finas ( $< 212 \mu\text{m}$ ), médias ( $212\text{--}425 \mu\text{m}$ ), grossas ( $425\text{--}850 \mu\text{m}$ ) e nas proporções de 0%, 1%, 3% e 5%, para cada tamanho de partícula. Os resultados obtidos mostraram que se obteve um aumento proporcional na quantidade de fibras na salsicha e que o tamanho da partícula não teve uma influência significativa nesse parâmetro. Enquanto a aceitabilidade desse novo produto variou de 7,57 (sem adição nenhuma do resíduo) e 5,47 (partículas grandes e maior quantidade de resíduo) numa escala de 9 pontos, mostrando que mesmo com adição da farinha do bagaço de malte, o produto teve uma boa aceitabilidade. O estudo mostrou que o uso do bagaço de malte como fonte de fibras para salsichas tem resultados positivos e, sensorialmente, não afetou negativamente os resultados.

Choi et al. (2014) analisaram a utilização do bagaço de malte com objetivo de reduzir o uso de gordura de porcos em salsichas de frango. Foi utilizado o extrato da fibra alimentar presente no bagaço de malte (BSG), adicionado na pré-emulsão e utilizado na formulação. Foi produzida uma salsicha controle que possuía 15% de gordura de porco e outras formulações onde a mesma foi substituída por 20, 25 e 30% de gordura de porco por pré-emulsão BSG. As análises mostraram que a substituição da gordura por fibra alimentar obtida do resíduo é eficaz, reduzindo o teor de gordura e aumentando a quantidade de fibras. A aceitabilidade dos produtos variou de 8,10 a 7,10, não apresentando diferença significativa na aceitabilidade da adição da pré-emulsão do BSG. Portanto, a porcentagem de substituição sugerida pelos autores foi de 20 a 25% de pré-emulsionado.

Kim et al. (2023) analisaram a substituição parcial da fibra alimentar extraída do bagaço de malte em hambúrgueres de frango. Foi feita a extração das fibras alimentares usando o

método enzimático-gravimétrico (AOAC, 2007). Os preparos dos hambúrgueres foram realizados seguindo as proporções de: 60% peito de frango, 20% de gordura suína, 20% de gelo e 1,5% de NaCl. Cada lote de amostra consistia em cinco hambúrgueres de frango com composição diferente à substituição parcial do peito de frango pelos extratos de fibra alimentar obtidos do bagaço de malte em diferentes proporções (0, 1, 2, 3 e 4%). As análises mostraram que a adição de 3% de fibras melhorou as características do hambúrguer, como perda de água no cozimento, textura e propriedades sensoriais. Além disso, apresentavam uma quantidade maior de fibras alimentares.

Dentre a aplicação do bagaço de malte em derivados cárneos, os estudos apresentados mostraram que a substituição da gordura por fibras alimentares obtidas desse resíduo é potencialmente eficiente, dado que apresentou valores nutricionais superiores às formulações controle, o que é bastante desejado pela indústria e consumidores. Porém tal substituição necessita de uma maior quantidade de estudos para se determinar qual o limite máximo que pode ser utilizado desse resíduo para que não se tenha influência negativa na análise sensorial dos produtos obtidos.

#### 4.3.2.2. Pães

A maioria dos produtos de panificação é composta por ingredientes que desempenham funções específicas na formação da massa. Embora a relevância de cada componente possa variar ao longo do processo de fabricação, todos exercem um papel essencial. Assim, a importância desses ingredientes está diretamente relacionada à qualidade final da massa e ao tipo de produto desejado (BORGES et. al., 2006). A incorporação do bagaço de malte na panificação tem se mostrado uma alternativa promissora para aprimorar o valor nutricional dos pães, elevando os teores de fibra dietética, proteínas e compostos fenólicos. Além dos benefícios nutricionais, sua adição influencia características tecnológicas e sensoriais do produto, incluindo a redução do volume do pão, o aumento da absorção de água, bem como a alteração do tempo de desenvolvimento e estabilidade da massa (STOJCESKA, 2019).

Waters et al. (2012) analisaram se a incorporação do bagaço de malte em pães feitos à base de farinha de trigo poderia comprometer os aspectos tecnológicos ou sensoriais do pão. O bagaço de malte foi fermentado, usando a bactéria do ácido láctico, *Lactobacillus plantarum*, em seguida seco e moído para obtenção da farinha. O caldo contendo o fermento foi incorporado ao bagaço de malte, que foi fermentado a temperatura de 30°C por 48 horas. A substituição da farinha de trigo por farinha do bagaço de malte fermentado foi feita nas proporções de 5, 10,



15 e 20%. A farinha do BSG utilizada continha 22,13% de proteína (incluindo níveis excepcionalmente altos de aminoácidos essenciais), 1,13% de minerais, 131,0 mg/L de polifenóis, 28,22% de fibra total e 3,6% de ácidos graxos essenciais. Os resultados obtidos mostraram que a substituição até 10% com farinha de bagaço de malte aumentou a absorção de água e manteve as propriedades tecnológicas semelhantes ao pão integral.

Teixeira et al. (2018) avaliaram a incorporação do bagaço de malte em pães como fonte de fibras. Foram desenvolvidas três formulações com diferentes proporções de BSG e farinha de trigo (10:90; 20:80; 30:70, m/m), utilizando-se, como padrão, uma amostra sem a presença de BSG. As formulações de pães com 10, 20 e 30 % de BSG apresentaram teores de fibras de 3,48, 4,21 e 5,38 %, respectivamente, enquanto a formulação padrão continha 1,27 % de fibras. Nos testes de aceitação sensorial, as formulações padrão e com 10% de BSG não apresentaram diferença significativa de aceitação com relação aos atributos de textura, sabor, aroma e aceitação global, e foram bem aceitos com médias entre 7 e 8 no teste de escala hedônica de escala 9. Os resultados indicaram a viabilidade de produção de pães com 10% de BSG em substituição parcial à farinha de trigo, mantendo a qualidade sensorial e nutricional.

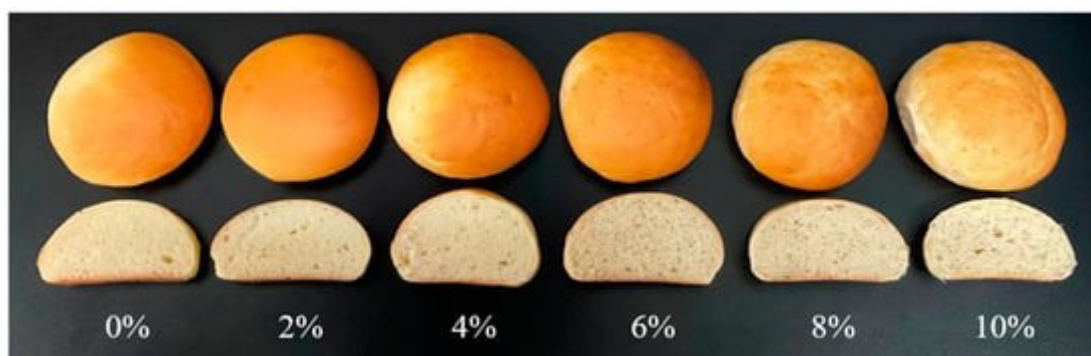
Kuiavski et al. (2020) elaboraram pães com adição de farinha de bagaço de malte. Os pães tiveram as seguintes formulações: pão padrão com 0% de bagaço de malte; F1, F2 e F3 que são, respectivamente, 20%, 40%, 60% de bagaço de malte na formulação. Foi feita análise sensorial que mostrou que a F3 foi a menos aceita com 5,89 pontos e a formulação F1 foi a mais aceita com 7,81 pontos, enquanto a formulação padrão teve aceitação de 6,70 pontos, o que mostrou que a substituição afetou positivamente a aceitação dos pães. Assim, em suas conclusões, os autores sugerem que a adição da farinha de bagaço de malte não ultrapasse 20%.

Czubaszek et al. (2021) analisaram as propriedades de panificação e valor nutricional de pães feitos de farinha de centeio com adição de farinha do bagaço de malte. Os pães foram feitos substituindo 0, 10 e 20% da farinha de centeio por farinha do bagaço de malte. Os resultados obtidos mostraram que os pães feitos com a adição da farinha do bagaço de malte (10 e 20%) apresentaram maior teor de fibras alimentares, proteínas, lipídios, cinzas e menor teor de amido do que aqueles feitos integralmente com farinha de centeio, além de contribuir positivamente para as propriedades reológicas dos pães. Entretanto, os valores de substituição mais altos (20%), afetaram significativamente e negativamente o volume final. Assim, a proporção de substituição por farinha do bagaço de malte recomendada pelos autores é de 10% para que não se tenham características indesejadas nos pães.

Cheng et al. (2024) analisaram a qualidade, as características e sabor dos pães feitos utilizando o bagaço de malte. O bagaço de malte passou pelo tratamento com micro-ondas, que

ao penetrarem na parede celular dos grãos, tornam sua estrutura alterada, o que subsequentemente afeta a composição e a concentração de fibras alimentares, apresentando perda nutricional e outros ingredientes ativos, causando um cozimento rápido e conveniente. Os pães foram formulados fazendo a substituição parcial da farinha de trigo pela farinha obtida após o tratamento, nas proporções de 0, 2, 4, 6, 8 e 10%. Os pães obtidos são mostrados na Figura 25. Os resultados mostraram que o tratamento com micro-ondas melhorou efetivamente o conteúdo de fibras alimentares solúveis e proteínas solúveis em água do bagaço de malte. Além disso, ajudou a neutralizar os efeitos negativos na qualidade dos pães, citados por outros autores. As análises sensoriais levaram a conclusão de que até 6% de substituição pelo resíduo foi aceitável.

Figura 25 - Fotos de pães com diferentes adições de farinha de bagaço de malte nas proporções de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, respectivamente.



Fonte: CHENG (2024).

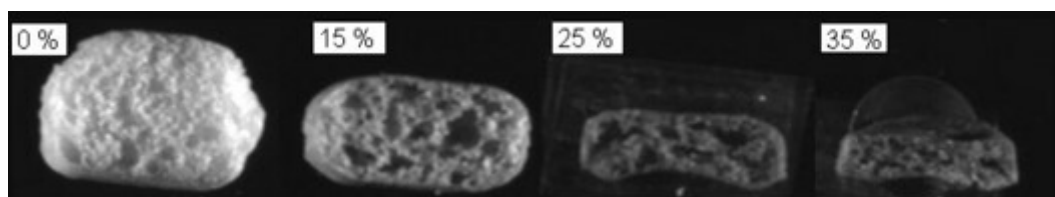
Com base nos estudos apresentados, observou-se que a incorporação do bagaço de malte na panificação se mostra uma alternativa viável para o enriquecimento nutricional dos pães, promovendo um aumento nos teores de fibras, proteínas e compostos bioativos. No entanto, seu uso impacta diretamente as propriedades tecnológicas e sensoriais dos produtos, influenciando fatores como absorção de água, volume do pão e tempo de desenvolvimento da massa. Os estudos demonstram que a substituição moderada da farinha de trigo ou centeio por farinha de bagaço de malte, geralmente até 10%, mantém um equilíbrio entre os benefícios nutricionais e a aceitação sensorial, evitando impactos negativos na textura e no sabor. Além disso, tratamentos como fermentação e uso de micro-ondas podem minimizar efeitos adversos e potencializar suas qualidades funcionais. Dessa forma, o bagaço de malte mostra-se um ingrediente promissor para formulações mais saudáveis e sustentáveis na panificação, desde que sua aplicação seja pesquisada para preservar a qualidade tecnológica e sensorial do produto.

#### 4.3.2.3. Petiscos

Os petiscos industrializados para alimentação humana são, em sua maioria, produzidos por meio da tecnologia de extrusão e cozimento, um processo que permite a fabricação em larga escala com controle preciso de forma, textura e crocância. A composição tradicional desses produtos é baseada em uma combinação de amido, sódio e gordura, ingredientes que, quando consumidos em excesso, podem contribuir para problemas de saúde, como obesidade, hipertensão e doenças cardiovasculares (KIRJORANTA, 2016). Diante da demanda crescente por alimentos mais saudáveis e funcionais, diversos estudos têm explorado a adição de ingredientes alternativos, como a farinha de bagaço de malte, na formulação desses lanches. O bagaço de malte, rico em fibras alimentares, proteínas e compostos bioativos, não só melhora o perfil nutricional dos petiscos, mas também pode influenciar diretamente a textura e o sabor, proporcionando uma alternativa mais equilibrada para o consumidor (FACCENDA, 2015; STEFANELLO et al., 2014).

Ktenioudaki et al. (2012) fizeram a substituição parcial da farinha de trigo por farinha do bagaço de malte para produção de *breadsticks*, que apresentam uma massa similar à de um pão, com formato de palito e aspecto crocante. Foram produzidos a partir de misturas de farinha contendo 0 (controle, 100% farinha de trigo), 15%, 25% e 35% de bagaço de malte. Os resultados obtidos (Figura 26) mostraram que houve uma perda no volume significativa, proporcional a adição do bagaço de malte. As amostras tiveram um aumento significativo dos valores de fibras alimentares variando de 14,3% (controle) para 18,4% (adição de 35% do BSG). Entretanto as propriedades de panificação foram afetadas: os petiscos apresentaram menor crocância, menor volume e uma coloração diferenciada, fatores esses que estão diretamente atribuídos a adição do bagaço de malte. A durabilidade dos *breadsticks* não foi alterada, ou seja, a adição do bagaço de malte não afeta o tempo de prateleira do produto.

Figura 26 - Imagens de *breadsticks* contendo diferentes níveis de resíduos de cervejeiro.



Fonte: KTENIOUDAKI (2012).

Ktenioudaki et al. (2013) analisaram as propriedades sensoriais e composição aromática de salgadinhos contendo bagaço de malte. Foram formulados produtos fazendo a substituição parcial da farinha de trigo nas proporções de 10, 15 e 25% por bagaço de malte. Os resultados obtidos mostraram que os petiscos onde houve adição de 10% de bagaço de malte apresentaram altos índices de crocância. Entretanto substituições em quantidades maiores afetaram a textura e a estrutura do miolo dos salgadinhos, com os resultados sendo significativamente diferentes do controle utilizando 100% de farinha de trigo. Porém, os salgadinhos contendo bagaço de malte em um nível de 10% foram altamente aceitáveis e os autores destacaram a possibilidade de usar esse resíduo como ingrediente nas formulações.

Kirjoranta et al. (2016) analisaram a produção de *snacks* contendo farinha de cevada enriquecidas com bagaço de malte. O resíduo cervejeiro foi liofilizado e moído para ser usado como farinha. Foram feitas quatro formulações: somente da cevada com bagaço de malte (1); cevada com bagaço de malte e proteína isolada do leite (2); cevada, amido de milho, bagaço de malte e proteína isolada do leite (3); e cevada, amido de milho e proteína do leite (4). Os resultados obtidos estão na Figura 27. Os *snacks* de cevada com bagaço de malte apresentaram baixa expansão e alta dureza, o que não é desejado nesse tipo de produto. Porém quando foi feita a adição de amido de milho e proteína isolada do leite, as características obtidas foram bem similares às formulações obtidas sem a adição do bagaço de malte. O bagaço de malte influenciou muito na coloração dos *snacks*. A proporção recomendada pelos autores para uso foi de, no máximo, 10% de farinha de bagaço de malte, para não influenciar nas características de reologia do *snack*, além da utilização do amido de milho e da proteína isolada do leite para ajudar nas características finais do produto.

Figura 27 - Imagens dos extrudados.

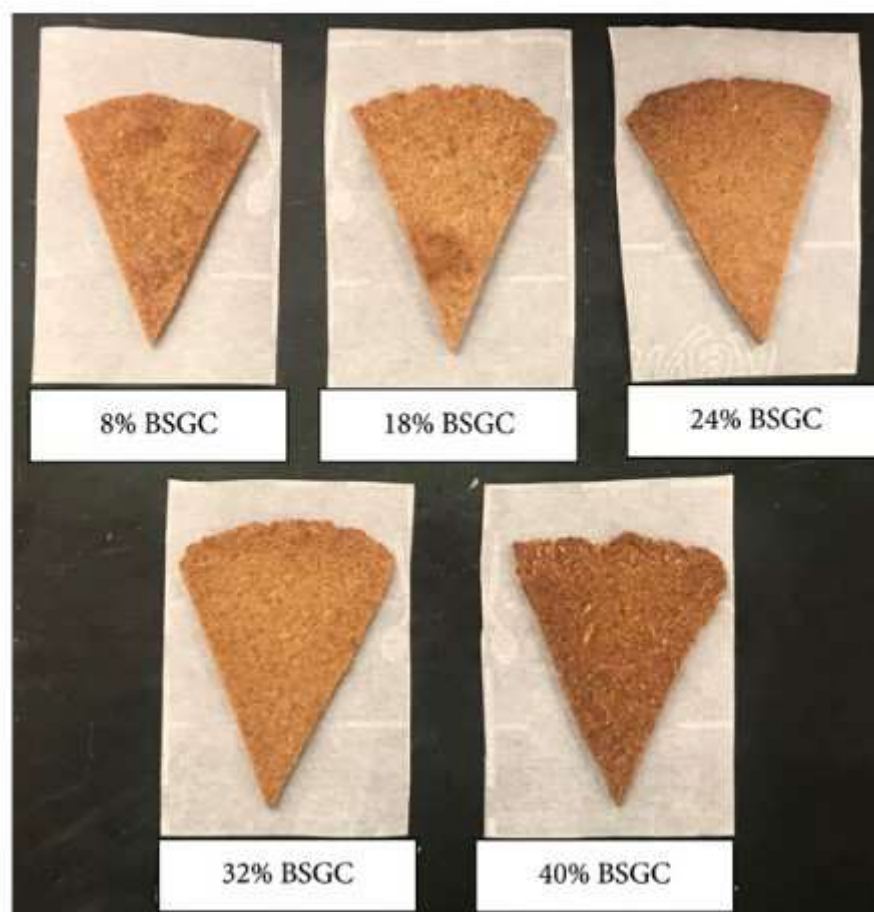


Da esquerda para direita: somente da cevada com bagaço de malte (1); cevada com bagaço de malte e proteína isolada do leite (2); cevada, amido de milho, bagaço de malte e proteína isolada do leite (3) e cevada, amido de milho e proteína do leite (4).

Fonte: KIRJORANTA (2016).

Garrett et al. (2021) desenvolveram *chips* utilizando o máximo possível de bagaço de malte que fosse aceito palatavelmente. Foram produzidos *chips* que continham níveis de bagaço de malte variando entre 8% a 40%, como mostra a Figura 28. Foram realizadas análises sensoriais para conhecer a aceitabilidade do novo produto e de cor. Os resultados da avaliação sensorial mostraram que os consumidores preferiram a textura dos *chips* com 40% de bagaço de malte em vez dos chips com 8% de bagaço de malte. A análise de cor mostrou algumas diferenças significativas nos valores  $b^*$  de coloração entre *chips* com níveis variados de bagaço de malte, mas os valores dos parâmetros  $L^*$  e  $a^*$  não foram significativamente diferentes.

Figura 28 - Amostra de chips feitos com diferentes adições de bagaço de malte.



Fonte: GARRETT (2021).

Gutiérrez-Barrutia et al. (2022) analisaram o efeito do processo de extrusão no perfil nutricional e nos compostos bioativos de petiscos produzidos utilizando bagaço de cerveja. O BSG foi seco em um forno de convecção a  $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  até que seu teor de umidade fosse

menor que 10 g/100 g. Em seguida, o mesmo foi moído em um moinho de laboratório para atingir um tamanho de partícula de 0,5 mm. Os experimentos foram realizados de acordo com um projeto rotativo composto central com três variáveis independentes (umidade, velocidade do parafuso e temperatura do cilindro da extrusora) testadas em 5 níveis diferentes e 5 pontos centrais. Além disso, foram feitas análises de proteínas, fibras, compostos antioxidantes, entre outros para verificar os nutrientes do produto. Baseado nos experimentos, a melhor condição de extrusão foi: 15,8% de teor de umidade, 164,3 rpm e 122,5 °C de temperatura, obtendo um produto sem perder as qualidades nutricionais. Os resultados obtidos foram satisfatórios, visto que apresentou um aumento no teor de fibra alimentar solúvel de 61%, baixos níveis de açúcar, menor teor de amido digestível e proteína, comparado com produtos similares feitos de ingredientes convencionais. No parâmetro de valor funcional, após a extrusão, os compostos bioativos tiveram um aumento, devido ao efeito que a extrusão tem nas fibras, liberando compostos fenólicos que estão presos nas mesmas.

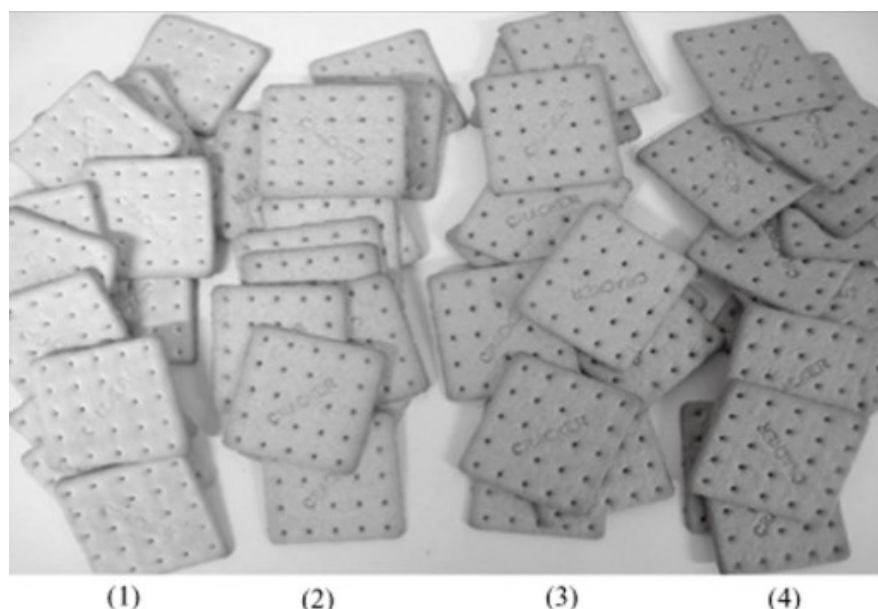
De forma geral, observou-se nos trabalhos apresentados que os petiscos feitos utilizando bagaço de malte foram bem aceitos, desde que usadas proporções por volta de 10% de substituição, proporção baixa pensando na quantidade que é produzida, entretanto é um produto que incorpora sabor forte e escurecimento nos produtos que o utilizam. Devido à sua coloração característica, todos os petiscos tiveram sua cor alterada conforme a proporção de bagaço de malte que foi utilizado, mas tal alteração não influenciou negativamente. Como é esperado que petiscos apresentem uma boa crocância, a utilização do bagaço de malte colaborou para essa característica, visto que é um ingrediente que apresenta grande quantidade de fibras.

#### 4.3.2.4. Biscoitos, bolos, barras de cereais e macarrão

Bolos, biscoitos e barras de cereais são produtos amplamente consumidos e caracterizados por sua diversidade de formulações, que podem ser ajustadas para atender à diferentes opções sensoriais e nutricionais. Nos últimos anos, a busca por ingredientes alternativos e sustentáveis tem impulsionado a incorporação de subprodutos agroindustriais nesses alimentos, destacando-se o bagaço de malte. Esse resíduo acaba se tornando um ingrediente funcional na formulação desses produtos, promovendo melhorias no valor nutricional, como aumento de fibras, proteínas e compostos bioativos e influenciando propriedades tecnológicas e sensoriais. Desta forma, a utilização do bagaço de malte não apenas contribui para o aproveitamento de resíduos industriais, mas também oferece alternativas mais saudáveis e sustentáveis (DOS SANTOS, 2019; ZAPAROLI, 2013).

Guo et al. (2014) desenvolveram biscoitos enriquecidos com bagaço de malte. O bagaço de malte utilizado foi desidratado usando filtro prensa, seco a 60°C por 24 horas e moído. A formulação dos biscoitos teve variação nas proporções de 0, 5, 10 e 20% de incorporação da farinha do bagaço de malte em relação à farinha de trigo. Os resultados obtidos estão na Figura 29. Os resultados mostraram que se obteve um aumento positivo e proporcional no teor de proteínas e fibras nos biscoitos em todas as amostras que receberam o bagaço de malte. Os autores também informaram que a incorporação adequada da farinha de bagaço de malte trouxe aos biscoitos um cheiro de trigo perfumado e uma aparência de chocolate. A proporção mais recomendada de substituição foi de 10%.

Figura 29 - Observações de biscoitos incorporados com (1) BSG 0; (2) BSG 5%; (3) BSG 10%; (4) BSG 20%.



Fonte: GUO (2014).

Cappa et al. (2017) inovaram desenvolvendo massa fresca de macarrão com o uso do bagaço de malte juntamente com ovo. As massas foram formuladas com diferentes proporções de incorporação de farinha de BSG de 3 a 25 g/100 g nas receitas padrão com farinha de trigo. Além disso, foi incluído o ovo inteiro integral em diferentes proporções, variando de 0 a 12 g/100 g. Os resultados obtidos mostraram um aumento no teor de fibras alimentares da massa, mesmo fazendo uma substituição de apenas 6,2%. Entretanto, os autores afirmam que mais estudos seriam necessários para se conhecer a aceitação desse novo produto pelo público.

Shih et al. (2020) investigaram as qualidades físico-químicas, nutricionais e sensoriais de *muffins* incorporados com farinhas do bagaço de malte como fonte de fibra alimentar e



proteína. Seguindo o observado por outros autores, os *muffins* tiveram também a adição de leite na formulação com o objetivo de compensar características indesejadas que a farinha do bagaço de malte pode ocasionar, como a umidade absorvida da massa, devido a presença de gordura no leite. As formulações foram: CTRL-L, *muffin* de controle contendo 29,04% de leite; CTRL-H, *muffin* de controle contendo 30,17% de leite; BSG10, BSG15 e BSG20: substituição de 10, 15 e 20% de farinha de trigo branca por farinha de bagaço de malte (BSG); BSG15R, substituição de 15% de farinha de trigo branca por farinha BSG reidratada, respectivamente como mostra a Figura 30. A adição da farinha do bagaço de malte teve impacto positivo nos parâmetros nutricionais, como quantidade de proteínas e fibras, proporcionalmente à adição. As características físicas não foram tão impactadas, sendo que apenas a cor que apresentou uma variação pequena. Sensorialmente, o *muffin* fortificado com 15% de bagaço de malte foi aceito pelos consumidores com 5,0 pontos, enquanto o convencional obteve 5,4 na escala JAR de 9, além de ter uma aparência mais atraente do que o controle com leite.

Figura 30 - A aparência dos muffins nas seções superior e longitudinal.

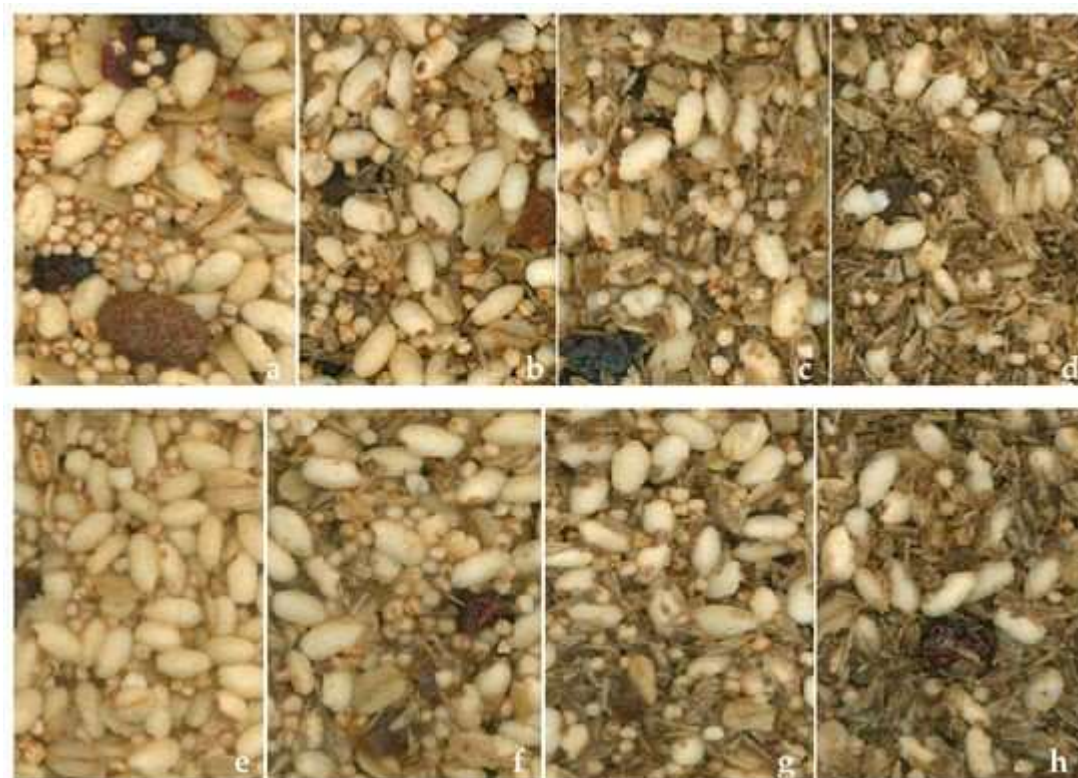


Fonte: SHIH (2020).



Paciulli et al. (2024) formularam barras de cereais utilizando bagaço de malte e analisaram a aceitação dos consumidores. As barras de cereais foram formuladas com níveis de incorporação do bagaço de malte: 0,0%, 8,5%, 12,7%, 21,2% peso/peso total em barras de mel e 0,0%, 3,9%, 7,7%, 15,5% peso/peso total em barras de chocolate. A Figura 31 mostra as barras de cereais obtidas. Os resultados obtidos foram positivos nutricionalmente, devido ao aumento das fibras. A barra de cereal de mel teve um aumento de 0,95 para 4,21g de fibras por 100g de produto e a de chocolate teve aumento de 0,58 para 3,21g de fibras por 100g. O aumento da proporção de incorporação afetou na coloração das barras de cereais e afetou negativamente a textura e cheiro. As barras de cereais contendo 12,7% de BSG foram mais frequentemente descritas como 'naturais' e 'saudáveis' em comparação com uma amostra de controle comercial sem BSG.

Figura 31 - Barras de cereais mel e chocolate armazenados um dia após o processo de produção.



Nota: ( a ) barra de cereal padrão com sistema de ligação H(mel) e sem BSG; ( b ) H1 = barra de cereal com sistema de ligação H e 8,46% BSG; ( c ) H2 = barra de cereal com sistema de ligação H e 12,69% BSG; ( d ) H3 = barra de cereal com sistema de ligação H e 21,15% BSG; ( e ) CSTD = barra de cereal padrão com sistema de ligação C e sem BSG; ( f ) C1 = barra de cereal de chocolate com sistema de ligação C e 3,87% BSG; ( g ) C2 = barra de cereal com sistema de ligação C e 7,74% BSG; ( h ) C3 = barra de cereal com sistema de ligação C e 15,50% BSG.

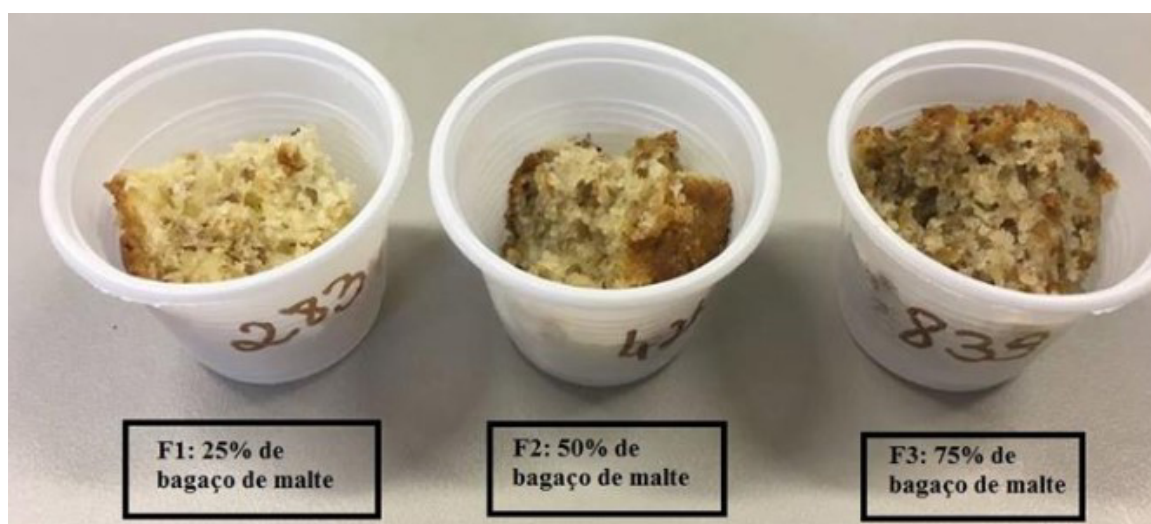
Fonte: PACIULLI (2024).

Rigo et al. (2017) avaliaram a adição da farinha de bagaço de malte como fonte de fibra em biscoitos tipo *cookie*. Foram elaborados biscoitos: padrão (0%) e adicionados de 10, 20 e 30% de farinha de bagaço de malte. Os resultados obtidos mostraram um aumento significativo no teor de fibras nas formulações de 20 e 30%. Os biscoitos com 10 e 20% de farinha de bagaço de malte foram mais aceitos que o padrão. Todos os tratamentos estudados apresentaram uma intenção de compra média positiva (nota 4) pelos julgadores com escala de 5. Além disso, os provadores citaram que nos biscoitos com 30% de farinha de bagaço de malte apresentavam gosto residual.

Dos Santos Giuliani et al. (2019) analisaram a aceitação de bolos enriquecidos com fibras vindas do bagaço de malte. As formulações foram feitas fazendo a substituição de 25, 50 e 75% da quantidade de farinha de trigo por bagaço de malte. Os bolos obtidos pelos autores

podem ser observados na Figura 32. Foi realizada análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os resultados obtidos mostraram uma boa aceitação de todas as formulações variando de (5,73 a 6,10), apresentando diferença na cor, na qual a formulação com 50% (6,10) foi diferente da de 75% (5,63), sabor, em que a formulação com 25% (6,10) foi diferente da de 75% (5,43) e textura, em que a formulação com 25% (5,86) foi diferente da de 75% (5,10). Baseados nos resultados obtidos, observou-se uma preferência maior pela formulação que apresentava 50% de substituição da farinha de trigo por bagaço de malte.

Figura 32 - Formulações dos bolos com adição de bagaço de malte.



Fonte: DOS SANTOS GIULIANI (2019).

A incorporação do bagaço de malte em produtos de panificação, como bolos, biscoitos e barras de cereais tem se mostrado uma alternativa promissora tanto do ponto de vista nutricional quanto tecnológico. Os estudos analisados evidenciaram que a adição desse subproduto agroindustrial pôde contribuir para o aumento do teor de fibras e proteínas, além de influenciar especificamente atributos sensoriais, como sabor e cor, e texturas em determinadas proporções. Além disso, a utilização do bagaço de malte está alinhada com as tendências de sustentabilidade e aproveitamento de resíduos na indústria de alimentos, diminuindo o impacto ambiental e agregando valor a um material descartado da produção cervejeira.

#### 4.3.3. Extração de compostos

O bagaço de malte, como citado anteriormente, apresenta elevado teor de fibras, é fonte de proteínas e compostos bioativos (LYNCH; STEFFEN; ARENDT, 2016), sendo que esses

compostos presentes são essenciais para o organismo humano (YADA, 2004). Com isso, o estudo e realização da extração de compostos bioativos do bagaço de malte pode se tornar uma forma interessante de aproveitamento do resíduo, gerando produtos com valor agregado.

Niemi et al. (2013) analisaram a pré-hidrólise com carboidrase para facilitar a liberação de proteínas desse resíduo cervejeiro, sendo realizado um tratamento inicial em parte do bagaço de malte com carboidrase. Foram realizados tratamentos com protease alcalina e proteases ácidas. Os resultados mostraram que em condições alcalinas, uma quantidade significativa de proteínas de baixo peso molecular foi solubilizada, mesmo sem qualquer adição de protease. O grau de solubilização da proteína foi influenciado pelo tempo de exposição do bagaço de malte tratado ao ambiente alcalino. Além disso, verificou-se que o pré-tratamento para digestão dos carboidratos aumentou significativamente a solubilização da proteína do resíduo. A temperatura e o pH influenciaram na solubilidade da proteína.

Aura et al. (2013) investigaram se a microbiota intestinal humana pode ajudar na liberação de lignina e compostos fenólicos do bagaço de malte. A extração foi feita em três amostras diferentes: BSG inteiro, uma fração insolúvel enriquecida com lignina do BSG e uma fração deferuloilada, que se refere a uma parte de um composto ou material vegetal que passou por um processo de remoção do grupo feruloilol, derivado do ácido ferúlico, em um modelo metabólico de cólon *in vitro*. Os resultados mostraram que pequenas moléculas derivadas de lignina, como dilignóis e catecóis, foram liberadas. Além disso, a autora cita que a liberação dessas pequenas moléculas deve ser avaliada pela quantificação dos metabólitos formados durante a manipulação da lignina e analisando os componentes excretados na urina após uma dieta rica em lignina, caso a avaliação seja realizada em seres humanos.

Paz et al. (2019) fizeram a hidrólise enzimática do resíduo cervejeiro para obter açúcares fermentáveis. O bagaço de malte foi hidrolisado bruto, com pré-tratamento de hidrólise alcalina não pressurizada e com pré-tratamento de glicinato de colínio. A hidrólise do bagaço de malte foi realizada utilizando a cultura fúngica *Aspergillus niger* CECT 2700. Os resultados mostraram que ambos os pré-tratamentos aumentaram a liberação de xilose:  $10,55 \pm 0,07$  g/L e  $8,14 \pm 0,13$  g/L respectivamente. Enquanto isso, a hidrólise do bagaço de malte bruto com o coquetel enzimático produziu soluções contendo altos níveis de glicose ( $18,45 \pm 1,66$  g/L) e xilose ( $6,38 \pm 0,26$  g/L).

Bonifácio-Lopes et al. (2020) caracterizaram os extratos de compostos obtidos do bagaço de malte. O método de extração utilizado foi o de solução sólido-líquido usando misturas de etanol e água. Esse método se demonstrou eficiente na recuperação de compostos fenólicos, especialmente catequina, vanilina e ácido vanílico. Os extratos hidroetanólicos e

aquosos também exibiram atividades multifuncionais, como propriedades antibacterianas, anti-hipertensivas e baixa genotoxicidade, sendo o extrato etanólico a 80% o mais seguro até 10 mg/mL. Além disso, o resíduo sólido das extrações, rico em fibras e proteínas, apresenta potencial como ingrediente bioativo. Esses resultados evidenciam que o bagaço de malte pode ser uma alternativa promissora aos antioxidantes sintéticos para diversos tipos de indústrias.

López-Linares et al. (2021) fizeram a extração de compostos fenólicos do bagaço de malte com solvente eutético profundo assistido por micro-ondas. Foi realizada a extração com quatro solventes diferentes: cloreto de colina:etilenoglicol, cloreto de colina:ácido láctico, cloreto de colina:glicerol e cloreto de colina:1,2-propanodiol, e comparados com o solvente orgânico mais usado (80% metanol). Em seguida, o solvente que teve melhores resultados foi selecionado para uma segunda etapa, onde foi realizado um estudo do efeito dos fatores temperatura, tempo e percentual de água. Os resultados mostraram que o cloreto de colina glicerol (ChCl:Glyc) foi o solvente mais eficiente para se realizar a extração de compostos fenólicos. Os melhores parâmetros para esse solvente são 100 °C por 13,30 min e 37,46% (v/v) de água de solvente.

Verificou-se assim que o bagaço de malte, anteriormente considerado um rejeito da indústria cervejeira, tem demonstrado grande potencial como fonte de compostos bioativos, fibras e proteínas, com diversas aplicações na indústria alimentícia e farmacêutica embora o custo da extração desses compostos seja elevado. Assim, a valorização do bagaço de malte não apenas contribui para a redução do impacto ambiental, mas também promove o desenvolvimento de produtos com maior valor agregado, fortalecendo a economia circular e oferecendo alternativas naturais aos aditivos.

#### 4.3.4. Geração de energia

O bagaço de malte também pode ser utilizado na produção de energia por combustão direta, produção de biogás, pirólise para produção de carvão e adsorventes, e até mesmo na fabricação de tijolos e papel. Há ainda relatos de uso em processos biotecnológicos, aproveitando o bagaço como substrato para o cultivo de microrganismos e produção de enzimas (MUSSATTO et al., 2006; SILVA, 2019; SANTOS et al., 2003).

Malakhova et al. (2015) utilizaram o bagaço de malte como substrato para produção de biogás. O estudo buscava selecionar culturas microbianas anaeróbicas termofílicas, ativas e estáveis para produzir biometano. Foi realizada a biotransformação do bagaço de malte (BSG) em codigestão com fitomassa de alcachofra de Jerusalém (*Helianthus tuberosus L.*) por

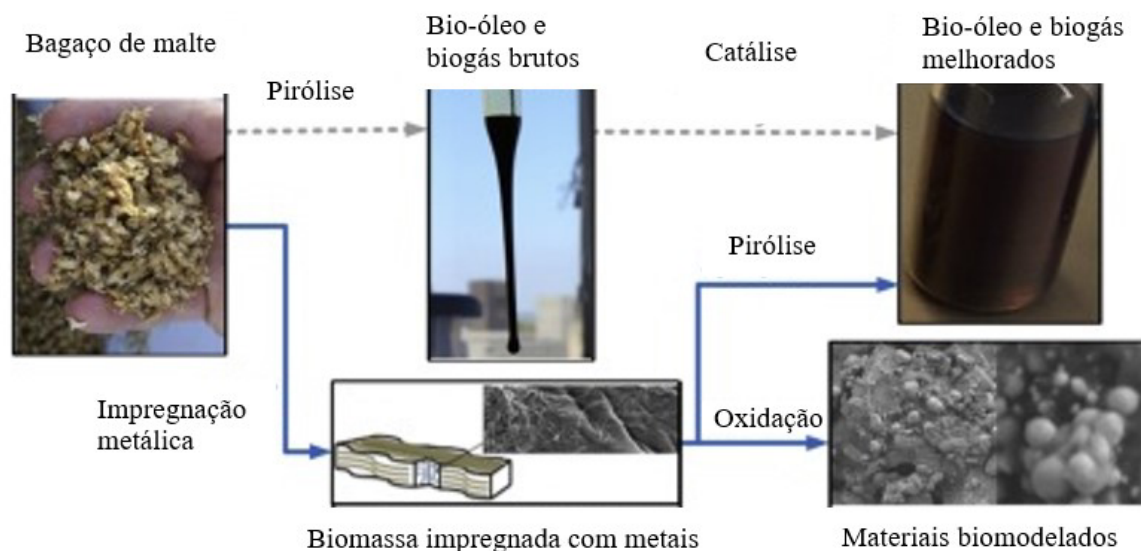
comunidades metanogênicas anaeróbicas termofilias (+55 A graus C) e mesofílicas (+30 A graus C). A concentração ótima de bagaço de malte na produção de biogás foi de 50 e 100 g L<sup>-1</sup>. Em condições termofílicas, a produção máxima total de metano atingiu 64% e compreendeu cerca de 6-8 e 9-11 L de CH<sub>4</sub> por 100 g de bagaço de malte fermentado sem e com alcachofra digerida, respectivamente, quando o inóculo fresco foi adicionado.

Balogun et al. (2017) submeteram o bagaço de malte à pirólise a 500°C para produção de biocarvão. Antes da pirólise, o resíduo passou por análise de cromatografia gasosa/espectrometria de massa. A análise revelou a presença de ácidos linoleico, oleico e palmítico em uma quantidade apreciável no resíduo. Os resultados da pirólise mostraram que o bagaço de malte possui propriedades físicas e químicas que o tornam adequado como matéria-prima lignocelulósica para decomposição térmica e processos bioquímicos. O biocarvão produzido apresentou potencial para sequestro de carbono e aplicações de correção do solo.

Rojas-Chamorro et al. (2020) analisaram a viabilidade do bagaço de malte para uso como fonte de combustível renovável por meio de fermentação com pré-tratamento otimizado com ácido diluído. Cepa etanologênica de *Escherichia coli* e uma levedura fermentadora de pentoses, *Scheffersomyces stipitis*, foram usadas para fermentar glicose amilácea e açúcares hemicelulósicos do resíduo, enquanto *Saccharomyces cerevisiae* foi utilizada para fermentar a glicose derivada da celulose. O pré-tratamento ácido em condições otimizadas (130 °C, 1% de ácido sulfúrico, 26 min) fracionou eficientemente o grão usado da cervejaria, com recuperação total de amido e 94% de açúcares hemicelulósicos no licor de pré-tratamento, bem como 90% de celulose no sólido pré-tratado. Além disso, os resultados mostraram que 100 kg de bagaço de malte seco renderam 18,1 kg de etanol, podendo ser usados como base para o desenvolvimento de um esquema de biorrefinaria baseado em BSG.

Ashman et al. (2020) analisaram uma biorrefinaria integrada para gerenciar resíduos de bagaço de malte com a atualização catalítica *in situ* do combustível de pirólise. Foi feita a incorporação do nitrato de prata pelo método de impregnação úmida no bagaço antes da pirólise, como mostra a Figura 33. Os resultados apresentados mostraram que o tratamento com nitrato de prata não impactou estatisticamente a energia de ativação média da pirólise. Apesar que a barreira geral de energia de ativação não ter diminuído com a impregnação de prata, os efeitos no gás de pirólise e nos produtos de biocombustível sugerem fortemente uma atividade quimicamente catalítica.

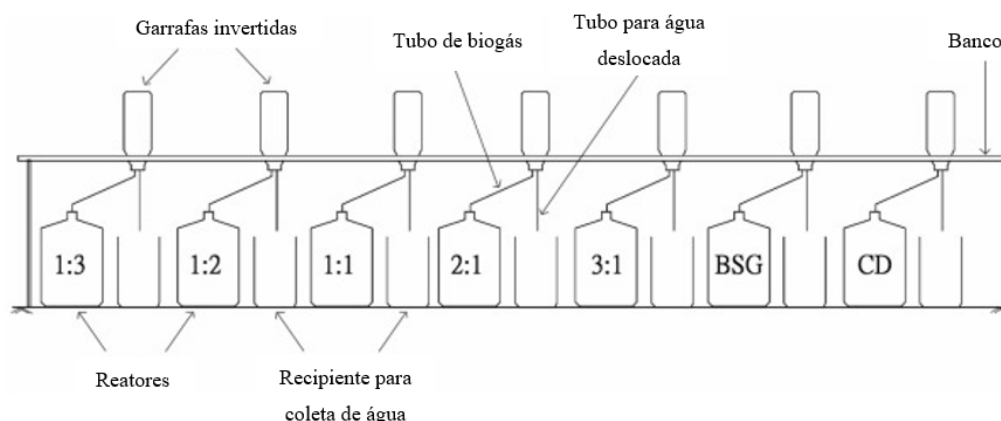
Figura 33 - Esquema da produção de bio-óleo e biogás melhorados *in situ* por impregnação com nitrato de prata.



Fonte: Adaptado de ASHMAN (2020).

Nganyira et al. (2023) analisaram a qualidade do biogás gerado pela codigestão de resíduos de bagaço de malte e esterco bovino. A digestão dos dois substratos foi gerenciada em um tempo de retenção de 10 dias em proporções bagaço de malte/ esterco bovino de 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1 e experimentos de controle de cada um com combinação de substratos de 4,5 kg em cada configuração. A Figura 34 mostra o esquema dos digestores de 10 litros cada um, utilizados neste trabalho. Os resultados mostraram que as proporções de 1:3 e 1:2 em peso produziram o biogás bruto de qualidade mais alta, rico em metano. Além disso, ambas as proporções 1:3 e 1:2 produziram metano que exibiu um limite explosivo inferior LEL (*lower explosive limit*) de 100% em uma média de  $40,3 \pm 29,88\% \text{ LEL d}^{-1}$  e  $40,28 \pm 33,39 \text{ LEL d}^{-1}$  respectivamente; com um teor de metano respectivo de  $54,7 \pm 10,74\% \text{ CH}_4 \text{ d}^{-1}$  e  $51,9 \pm 8,67\% \text{ CH}_4 \text{ d}^{-1}$ .

Figura 34 - Diagrama esquemático de digestores de biogás em escala de bancada mostrando cinco tratamentos e reatores de controle.



Fonte: Adaptado de NGANYIRA (2023).

Essas pesquisas revelaram que o bagaço de malte, além de seu potencial na indústria alimentícia, demonstra uma ampla gama de aplicações sustentáveis na geração de energia e na biotecnologia. Esses resultados reforçam o valor do bagaço de malte como um recurso versátil, promovendo a economia circular e reduzindo o impacto ambiental, ao mesmo tempo em que contribui para o desenvolvimento de fontes de energia renováveis e biogás.

#### 4.3.5. Outras aplicações

Além das principais aplicações citadas, nas pesquisas realizadas foram encontradas outras aplicações relevantes que são citadas abaixo.

Kordialik-Bogacka (2014) investigou o potencial de aplicação de culturas de *Saccharomyces pastorianus* imobilizadas em bagaço de malte para remoção de íons de chumbo em modo contínuo. A parte experimental foi feita em quatro colunas cilíndricas de leito fixo em pequena escala, preenchidas com bagaço de malte, onde foi feita a inoculação da levedura e realizados ciclos para analisar a eficiência da remoção. Os resultados mostraram que o primeiro ciclo foi muito eficiente, com o bagaço de malte atuando como um bioissorvente de íons de chumbo de soluções contaminadas em um sistema contínuo. Entretanto o reciclo desse reator não se mostrou eficiente, não sendo recomendado para a remoção industrial de íons de metais pesados de águas residuais.

Klímek et al. (2017) utilizaram o bagaço de malte para fabricação de painéis de partículas de madeira. Foram analisadas propriedades químicas, físico-mecânicas e estruturais dos painéis aglomerados feitos a partir do resíduo cervejeiro. A Figura 35 mostra a comparação



das partículas de madeira e as obtidas utilizando bagaço de malte. As partículas menores de BSG tendem a cobrir superfícies de partículas de madeira, enquanto as partículas maiores preencheram vazios entre as partículas de madeira. Os resultados mostraram que a substituição de 10% de bagaço de malte junto com as partículas de madeira não alterou as propriedades dos painéis. Além disso, as análises mostraram que o aumento da porcentagem do bagaço de malte, aumentou a absorção de água e ocorreu um inchaço no painel, fazendo com que ele perca as propriedades físicas padrão, o que não é desejado para comercialização.

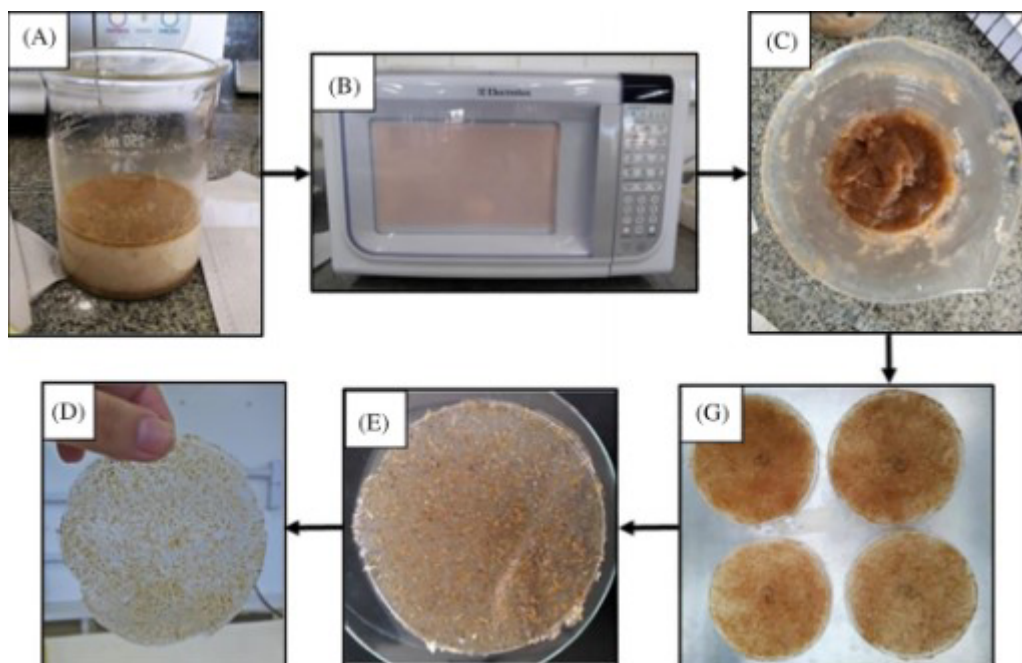
Figura 35 - Partículas de madeira (A) e partículas de BSG (B), conforme usadas em painéis de partículas.



Fonte: KLÍMEK (2017).

Castanha, De Souza e De Paiva (2022) desenvolveram um composto termoplástico de amido de milho preenchido com esse resíduo de cerveja para aplicações em filmes biodegradáveis. Foram utilizados diversos teores (1–5% em peso) de fibras de bagaço de malte de diferentes tamanhos (35, 60 e 100 *mesh*) que foram usados com o objetivo de identificar as composições de filme com melhores propriedades mecânicas e térmicas. A Figura 36 mostra como foram feitos os filmes biodegradáveis: (A) os componentes foram colocados em um béquer e misturados manualmente; (B) é a mistura que foi aquecida em um forno de micro-ondas; (C) após 7 min, a mistura apresentou aspecto de gel; (D) a mistura foi transferida para os moldes; (E) os filmes foram secos 5 dias em um forno a 30°C; (F) os filmes foram removidos do molde. Os filmes com as propriedades mecânicas mais promissoras continham 2,5% em peso de bagaço de malte com 35 *mesh* e 1% em peso de bagaço de malte com 100 *mesh*. Quantidades menores de fibras de bagaço de malte resultaram em propriedades mecânicas equilibradas devido à sua maior relação área de superfície/volume e maior relação de aspecto.

Figura 36 - Preparação dos filmes.



Fonte: CASTANHA; DE SOUZA; DE PAIVA (2022).

## 5. Conclusão

A utilização do bagaço de malte é necessária devido à necessidade de gestão sustentável dos resíduos gerados pela indústria cervejeira. Essa revisão apresentou um compilado de análises de trabalhos que mostraram que o bagaço de malte é um subproduto rico em fibras, proteínas, compostos fenólicos e açúcares solúveis, que na maioria dos casos não tem seu aproveitamento adequado. Além disso, foi apresentada uma vasta quantidade de opções de aproveitamento desse resíduo, como alimentação animal e humana, extração de compostos, aplicação em fabricação de materiais, remoção de compostos tóxicos e fermentações.

Entretanto, ainda existem barreiras para esse aproveitamento, visto que o bagaço de malte necessita de uma manipulação correta após a retirada do processo cervejeiro, para que não aconteça sua deterioração devido ao crescimento de microrganismos. A manipulação inadequada pode acabar sendo prejudicial a quem consome produtos feitos com esse subproduto, podendo ocorrer o crescimento de bactérias e fungos que podem ser prejudiciais a quem consumir os produtos derivados desse subproduto, visto que não se tem um controle adequado do crescimento microbiano. Entretanto existem poucos artigos que citam a metodologia correta de se fazer essa manipulação para que não aconteça nenhuma contaminação. Esse ponto deve ser mais explorado pelos pesquisadores, visto que apresenta uma carência na literatura.

Na alimentação animal, foram verificadas pesquisas com a incorporação desse subproduto na ração fornecida a diversas espécies. Os levantamentos das pesquisas mostraram que o fornecimento do BSG para os animais ajuda no aproveitamento e fornece nutrientes necessários para o desenvolvimento dos animais. Entretanto, esta não pode ser a única fonte de alimentação deles, pois os altos teores de fibras acabam interferindo na taxa de engorda. Isso foi um ponto negativo, visto que a maioria dos animais são destinados ao abate e necessitam de um ponto de engorda adequado.

Na alimentação humana se observou a dificuldade no uso desse resíduo devido a suas características, como a cor escura, sabor e aroma característicos. Os níveis de adição do BSG na formulação de alimentos variaram de 5 a 20% para serem aceitos sensorialmente. Mesmo assim, a incorporação do BSG na alimentação humana tem grandes benefícios, devido a presença de compostos bioativos, que são benéficos ao organismo.

Verificou-se também trabalhos onde foi possível a extração de compostos como: proteínas, lignina, compostos fenólicos e açúcares fermentáveis. Esses compostos podem ser usados tanto na indústria farmacêutica como na formulação de alimentos funcionais. Entretanto, as metodologias de extração desses compostos financeiramente podem não ser ainda viáveis devido ao seu alto custo.

Na geração de energia, observou-se a realização da inoculação de culturas ou a pirolise do bagaço para geração de biometano, biocarvão, etanol, bio-óleo, biogás, entre outros. O BSG se mostrou um potencial produto para a geração de energia, visto a grande quantidade com que o mesmo é produzido nas cervejarias. Entretanto esse aproveitamento ainda se encontra somente em escala de laboratório e precisa de mais pesquisas relacionadas.

Além das aplicações mais convencionais, verificou-se nessa revisão o uso desse resíduo cervejeiro na fabricação de painéis a base de madeira, remoção de chumbo de água e filmes biodegradáveis, aplicações essas que podem auxiliar na redução das quantidades desse resíduo, o qual muitas vezes é descartado no ambiente, além de gerar materiais e utilidades que podem colaborar para a sustentabilidade.

Por fim, entende-se que mais estudos e pesquisas para o aproveitamento desse material são necessários, contribuindo para sustentabilidade, reduzindo impactos ambientais, contribuindo para a economia, fazendo o aproveitamento integral das matérias primas e buscando formas de se reduzir a fome. Há ainda um grande potencial nesse material que ainda não foi aproveitado de forma adequada e logo, pode ainda ser muito interessante aos mais variados tipos de indústrias.

## 6. Referências

- ALIYU, S.; BALA, M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 3, p. 324–331, 2011.
- AOAC (2007) Métodos oficiais de análise de AOAC. 18ª ed., **Associação de Químicos Analíticos Oficiais**, Washington, DC.
- ASHMAN, C. H.; GAO, Lihui; GOLDFARB, Jillian L. Nitrato de prata in situ melhora biocombustíveis de pirólise de grãos usados por cervejeiros via biotemplating. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 146, p. 104729, 2020.
- AURA, A. M., NIEMI, P., MATTILA, I., NIEMELÄ, K., SMEDS, A., TAMMINEN, T., POUTANEN, K. Liberação de pequenos compostos fenólicos de grãos usados de cervejaria e suas frações de lignina pela microbiota intestinal humana in vitro. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 61, n. 40, p. 9744-9753, 2013.
- BALAT, M. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 2, p. 858–875, 2011.
- BALOGUN, A. O.; SOTOUDEHNIKARANI, F.; MCDONALD, A. G. Estudo termocinético e espectroscópico de grãos usados de cervejaria e caracterização de seus produtos de pirólise. **Journal of analytical and applied pyrolysis**, v. 127, p. 8-16, 2017.
- BARBOSA, K. B. **Elaboração de brownie de chocolate empregando resíduo da indústria cervejeira na formulação**. 2022. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022.
- BARBOSA, P. J. S. Cerveja artesanal com uso de frutas. 2019.
- BARCHET, R. Hot Trub: Formation and removal. *Brewing Techniques*, v.1, n.4. 1993.
- BELTRAMELLI, M. Cervejas, brejas e birras: um guia completo para desmistificar a bebida mais popular do mundo. Leya, 2012.
- BONIFÁCIO-LOPES, T., BOAS, A. A. V., COSCUETA, E. R., COSTA, E. M., SILVA, S., CAMPOS, D., ... & PINTADO, M., Teresa et al. Extratos bioativos de bagaço de cervejaria. **Food & function**, v. 11, n. 10, p. 8963-8977, 2020.
- BORGES, J.T.S. **Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração de bolos**. 2006.
- BRASIL. Com 1.847 cervejarias registradas no Brasil, setor cresce 6,8% em 2023. **Ministério da Agricultura e Pecuária**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-1-847-cervejarias-registradas-no-brasil-setor-cresce-6-8-em-2023/anuario-da-cerveja/@@download/file>. Acesso em: 21 jan. 2025.
- BRASIL. Decreto n. 6871, de 04 de junho de 2009. **Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994**, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em:

[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm). Acesso em: 21 jan. 2025.

BRAUCHLA, M., MCCABE, GP, MILLER, KB, & KRANZ, S. The effect high fiber snacks on digestive function and diet quality in a sample of school-age children. **Nutrition journal**, v. 12, p. 153, 2013.

BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. *Brewing Science and Practice*. Flórida: **CRC Press LLC and Woodhead Publishing Limited**, 2004. 863p.

BROCHIER, M. A.; CARVALHO, S. Aspectos ambientais, produtivos e econômicos do aproveitamento de resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cordeiros em sistema de confinamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1392-1399, 2009.

BROWNING, B. L. *The Chemistry of Wood*. **Interscience Publishers**. New York, 1963.

BUCKERIDGE, M.S.; SANTOS, W.D. dos; SOUZA, AP. de. **As rotas para o etanol celulósico no Brasil**. Disponível em: <[www.apta.sp.gov.br/cana/coletanea/Buckeridge%5B1%5D.doc](http://www.apta.sp.gov.br/cana/coletanea/Buckeridge%5B1%5D.doc)>. Acesso em: 21 jan. 2025.

CAPPA, C.; ALAMPRESE, C. Valorização do resíduo de cervejaria na produção de massa fresca de ovos enriquecida com fibras: Estudo de modelagem e otimização. **LWT-Food Science and Technology**, v. 82, p. 464-470, 2017.

CASTANHO, M. N.; DE SOUZA P. K.; DE PAIVA, J. M. F. Desenvolvimento de compósitos termoplásticos de amido de milho preenchidos com resíduo de cervejaria para aplicações em filmes biodegradáveis. **Polymer Composites**, v. 43, n. 2, p. 811-826, 2022.

CAVALCANTE, S. E. A. S. Potencial de utilização de subprodutos regionais da microrregião de Chapadinha na alimentação de ruminantes e produção de gases. **Nutritime Revista Eletrônica**, v. 15, n. 2, p. 8132-8141, 2018.

CHAO, HC, LAI, MW, KONG, MS, CHEN, SY, CHEN, CC, & CHIU, CH. Volume de corte de fibra dietética para melhorar constipação em crianças. **The Journal of pediatrics**, v. 153, n. 1, p. 45-49. e1, 2008.

CHENG, J., ZHENG, L., ZHAO, J., YU, M., CAO, R., WANG, D., & ZHOU, L. Study on the Effect of Microwaved Brewer's Spent Grains on the Quality and Flavor Characteristics of Bread. **Foods**, v. 13, n. 3, p. 461, 2024.

CHOI, M. S., CHOI, Y. S., KIM, H. W., HWANG, K. E., SONG, D. H., N LEE, S. Y., & KIM, C. J. Effects of replacing pork back fat with brewer's spent grain dietary fiber on quality characteristics of reduced-fat chicken sausages. **Korean journal for food science of animal resources**, v. 34, n. 2, p. 158, 2014.

CORDEIRO, L. G., EL-AOUAR, Â. A., & DE ARAÚJO, C. V. B. Energetic characterization of malt bagasse by calorimetry and thermal analysis. **Journal of thermal analysis and calorimetry**, v. 112, p. 713-717, 2013.

CORDEIRO, L.G. **Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, 2011.

COSTA, F. S. F. **Estudo do resíduo gerado pela indústria cervejeira artesanal, trub quente, caracterização fitoquímica e avaliação de atividades antimicrobiana e antioxidante.** 2017.

CROWE, K. M.; FRANCIS, C.; Position of the academy of nutrition and dietetics: functional foods. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, v. 113, n. 8, p. 1096-1103, 2013.

CZUBASZEK, A., WOJCIECHOWICZ-BUDZISZ, A., SPYCHAJ, R., & KAWA-RYGIELSKA, J. Baking properties of flour and nutritional value of rye bread with brewer's spent grain. **Lwt**, v. 150, p. 111955, 2021.

DE ASSIS, L. D. D., SILVA, V. R. O., SILVA, M. H. L., DA SILVA, R. R., DE OLIVEIRA MARTINS, A. D., & DA CUNHA, S. D. F. V. Elaboração e caracterização físico-química de sorvete sabor açaí com morango adicionado de farinha de bagaço de malte. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 7, p. 126-142, 2020.

DE CAMARGO, F. A. **Obtenção e caracterização das blendas de ligninas (sulfonadas, bagaço de cana de açúcar, eucalipto) e taninos com o poli (3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato)/PHBV.** 2009. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS.

DESROCHERS, J. L.; SEITZ, K. D.; WALKER, C. E. Cakes, chemistry of manufacture. **Encyclopedia of Grain Science**, p. 129-133, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B0-12-765490-9/00217-2>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DORATIOTTO, M. **A história da cerveja.** 2014. Disponível em: [https://www.homemcerveja.com.br/20/#google\\_vignette](https://www.homemcerveja.com.br/20/#google_vignette). Acesso em: 20 nov. 2024.

DOS SANTOS GIULIANI, C., ALVES, A. F., CIROLINI, A., & DA ROSA, V. P. Elaboração de bolo enriquecido com fibras a partir da utilização de resíduo de cervejaria. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 15396-15404, 2019.

DRAGONE, G.; Mussati, S.I.; Silva, J.B.A. Utilização de mostos concentrados na produção de cervejas pelo processo contínuo: novas tendências para o aumento da produtividade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 27, 37-40, 2007.

ELIOPOULOS, C., ARAPOGLOU, D., CHORIANOPOULOS, N., MARKOU, G., & HAROUTOUNIAN, S. A. Conversion of brewers' spent grain into proteinaceous animal feed using solid state fermentation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 20, p. 29562-29569, 2022.

ESTEVES, P.J. **Pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluído em reator piloto aquecido por vapor direto.** 2011. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011.

ESWARAN, S., MUIR, J., & CHEY, W. D. Fiber and functional gastrointestinal disorders. **Official journal of the American College of Gastroenterology** | **ACG**, v. 108, n. 5, p. 718-727, 2013.

FABER, Marcos. A importância dos rios para as primeiras civilizações. **História ilustrada**, v. 2, 2011.

FACCENDA, A. **Valor nutricional do resíduo seco de cervejaria e sua utilização na alimentação de ruminantes**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FERNANDES, H., CASTRO, C., SALGADO, J. M., FILIPE, D., MOYANO, F., FERREIRA, P., ... & PERES, H. Application of fermented brewer's spent grain extract in plant-based diets for European seabass juveniles. **Aquaculture**, v. 552, p. 738013, 2022.

FERREIRA, A. A. S. Rubra paraíba: uma revisão bibliográfica sobre a produção acadêmica acerca do aproveitamento dos resíduos do beneficiamento de “arroz da terra” (o. Sativa) para aplicação em cerveja artesanal. 2023.

FERREIRA, M.P.L.V.O.; PINHO, O.; VIEIRA, E.; TAVARELA, J.G. Brewr's Saccharomyces yeast biomass: characteristics and potential applications. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 21, p. 77-84, 2010.

FERRO, M. M., DE MOURA ZANINE, A., DE JESUS FERREIRA, D., GERON, L. J. V., DE SOUZA, A. L., PARENTE, H. N., ... & PORTELA, Y. N. Barley and its by-products in animal nutrition. REDVET. **Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 18, n. 12, p. 1-11, 2017.

FILLAUDEAU, L.; BLANPAIN-AVET, P.; DAUFIN, G. Water, wastewater and waste management in brewing industries. **Journal of cleaner production.**, v. 14, p. 463-471, 2006.

FLOSS, Sandra Barzotto. Village Beer: o espaço da cerveja. 2020.

GARRETT, R., BELLMER, D., MCGLYNN, W., & RAYAS-DUARTE, P. Development of new chip products from brewer's spent grain. **Journal of Food Quality**, v. 2021, n. 1, p. 5521746, 2021.

GENCHEVA, P.; DIMITROV, D.; DOBREV, G.; IVANOVA, V. Hydrolysates from malt spent grain with potential application in the bioethanol production. **Journal of BioScience and Biotechnology**, p. 135-141, 2012.

GHARAIE, Z., Azizi, M. H., Barzegar, M. and Gavligi, H. A. (2019). Gum tragacanth oil/gels as an alternative to shortening in cookies: Rheological, chemical and textural properties. **LWT**, 105, 265–271. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.025>

GHOTRA, B. S., DYAL, S. D. AND NARINE, S. S. Lipid shortenings: a review. **Food research international**, v. 35, n. 10, p. 1015-1048, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00163-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00163-1)

GODEFROIDT, T., OOMS, N., PAREYT, B., BRIJS, K., & DELCOUR, J. A. Ingredient Functionality During Foam-Type Cake Making: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 0, p. 1-13, 2019. DOI: 10.1111/1541-4337.12488.

GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; FERREIRA, P. D. S. Alimentação de Gado de Leite. 1. ed. **Belo Horizonte: FEPMVZ**, 2009.

GUO, M., Du, J., Zhang, Z. A., Zhang, K., & Jin, Y. Optimization of brewer's spent grain-enriched biscuits processing formula. **Journal of Food Process Engineering**, v. 37, n. 2, p. 122-130, 2014.

GUTIÉRREZ-BARRUTIA, M. B., DEL CASTILLO, M. D., ARCIA, P., & COZZANO, S. Feasibility of extruded brewer's spent grain as a food ingredient for a healthy, safe, and sustainable human diet. **Foods**, v. 11, n. 10, p. 1403, 2022.

GUTKOSKI, L. C. DURIGON, A., MAZZUTTI, S.; SILVA, A. C. T.; ELIAS, M. C. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 888-894, 2008.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000400019>

HASHEMI, M.; RAZAVI, SH.; SHOJAOSADATI, S A.; MOUSAVI, S. M. The potential of brewer's spent grain to improve the production of  $\alpha$ amylase by *Bacillus* sp. KR-8104 in submerged fermentation system. **New Biotechnology**, v. 28, n. 2, p. 165-172, Elsevier 2011.

HASLAM, E. "Plant polyphenols", **Cambridge: Cambridge University Press**, p.230 (1989).

HASLER, C. M. Function foods: Their role in disease prevention and health promotion. **Food Technology**, v. 52(11), 1998.

HEENAN, S. P., DUFOUR, J. P., HAMID, N., HARVEY, W., & DELAHUNTY, C. M. The influence of ingredients and time from baking on sensory quality and consumer freshness perceptions in a baked model cake system. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 43, n. 7, p. 1032–1041, 2010.

HERRMANN, G.; SOUZA, C. F. V. de. Use of barley malt pomace in the production of fresh sausage. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. e2020217, 2021.

HRAZDINA, G.; BORZEL, A. J.; ROBINSON, W. B. Studies on the stability of the anthocyanidin-3,5-diglucosides. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 21, p. 201-204, 1970.

HUIGE, N.J. Brewery By-Products and Effluents. **In: Handbook of Brewing**. 2 nd Edition. Taylor & Francis Group LLC, 2006.

KAFLE, G. K.; KIM, S. H. Effects of chemical compositions and ensiling on the biogas productivity and degradation rates of agricultural and food processing byproducts. **Bioresource Technology**, v. 142, p. 553-561, Elsevier 2013.

KAUR, V.I., SAXENA, P.K. Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps. **Bioresource Technology**: 91, 101-104, 2004.

KIM, H. W., HWANG, K. E., SONG, D. H., LEE, S. Y., CHOI, M. S., LIM, Y. B., ... & KIM, C. J. Effects of dietary fiber extracts from brewer's spent grain on quality characteristics of chicken patties cooked in convective oven. **Food Science of Animal Resources**, v. 33, n. 1, p. 45-52, 2013.

KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. **Journal of the American dietetic association**, Chicago, v. 99, n. 2, p. 213-218, 1999.



KIRJORANTA, S.; TENKANEN, M.; JOUPPILA, K. Effects of process parameters on the properties of barley containing snacks enriched with brewer's spent grain. **Journal of food science and technology**, v. 53, p. 775-783, 2016.

KISHANI, S., ESCALANTE, A., TORIZ, G., VILAPLANA, F., GATENHOLM, P., HANSSON, P., & WAGBERG, L. Experimental and theoretical evaluation of the solubility/insolubility of spruce xylan (Arabino glucuronoxylan). **Biomacromolecules**, v. 20, n. 3, p. 1263- 1270, 2019.

KLÍMEK, P., WIMMER, R., MISHRA, P. K., & KÚDELA, J. Utilizing brewer's-spent-grain in wood-based particleboard manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 812-817, 2017.

KO, J. K.; KIM, Y.; XIMENES, E.; LADISCH, M. R. Effect of liquid hot water pretreatment severity on properties of hardwood lignin and enzymatic hydrolysis of cellulose. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 112, n. 2, p. 252–262, 2014.

KOIKE, A. C. R. **Compostos bioativos em flores comestíveis processadas por radiação**. 2015. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2015. Disponível em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-17082015-102839/publico/AmandaCristinaRamosKoike.pdf>.

KORDIALIK-BOGACKA, E. Saccharomyces pastorianus imobilizado em grãos usados de cervejeiro em sistema contínuo para biossorção de íons de chumbo. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 96, p. 191-197, 2014.

KRAWCZYK, H.; PERSSON, T.; ANDERSSON, A.; JONSSON, A.-S. Isolation of hemicelluloses from barley husks. **Food and Bioproducts Processing**, v. 86, p.31- 36. 2008.

KTENIOUDAKI, A., CHAURIN, V., REIS, S. F., & GALLAGHER, E. Brewer's spent grain as a functional ingredient for breadsticks. **International journal of food science & technology**, v. 47, n. 8, p. 1765-1771, 2012.

KTENIOUDAKI, A., CROFTON, E., SCANNELL, A. G., HANNON, J. A., KILCAWLEY, K. N., & GALLAGHER, E. Sensory properties and aromatic composition of baked snacks containing brewer's spent grain. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 384-390, 2013.

KUIAVSKI, M. P., BEZERRA, J. R. M. V., TEIXEIRA, Â. M., & RIGO, M. Elaboração de pães com adição de farinha do bagaço de malte. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 53208-53221, 2020.

KUNZE, W. **Technology Brewing & Malting**, International Edition, 4a Edição, VLB Berlim, Alemanha, 1057 p., 2010.

LAGUNA, L., PRIMO-MARTÍN, C., VARELA, P., SALVADOR, A. AND SANZ, T. HPMC and inulin as fat replacers in biscuits: Sensory and instrumental evaluation. **LWT-Food science and technology**, v. 56, n. 2, p. 494-501, 2014.

LIMA, T. C., ARAÚJO, I. O., ANTUNES, J. G., MATOS, C. J., & PEREIRA, C. S. S. Estudo da produção de bioetanol a partir do bagaço de malte. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 595-600, 2014.

LINSKENS, H. F.; JACKSON, J. F. *Modern Methods of Plant Analysis: Beer Analysis*. 1. ed. **Berlin: Springer-Verlag**, 1988.

López-Linares, JC, Campillo, V., Coca, M., Lucas, S., & García-Cubero, MT. Extração de solvente eutético profundo assistida por micro-ondas de compostos fenólicos de grãos usados por cervejeiros. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 96, n. 2, p. 481-490, 2021.

LYNCH, K. M.; STEFFEN, E. J.; ARENDT, E. K. Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 122, p. 553-568, 2016. <https://doi.org/10.1002/jib.363>.

MAIA, S. M. P. C. **Aplicação de farinha de maracujá no processamento do bolo de milho e aveia para fins especiais**. 2007. Dissertação apresentada para o título de mestre; Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MALAKHOVA, D.V., EGOROVA, M.A., PROKUDINA, L.I., NETRUSOV, A.I., & TSAVKELOVA, E.A. The biotransformation of brewer's spent grain into biogas by anaerobic microbial communities. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 31, p. 2015-2023, 2015.

MAPA, Ministério da Agricultura e Pecuária. **COM 1.847 CERVEJARIAS REGISTRADAS NO BRASIL, SETOR CRESCE 6,8% EM 2023**. Disponível em: <https://agenciagov.etc.com.br/noticias/202405/com-1-847-cervejarias-registradas-no-brasil-setor-cresce-6-8-em-2023>. Acesso em: 20 de dez, 2024.

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.

MARTINS, M. dos S. **Leveduras de cerveja e Cana-de-Açúcar (*Saccharomyces cerevisiae*), autolisada e íntegra, na dieta de cães**. 2009.

MARTINS, S. M. *Como fabricar cerveja*. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1991.

MATHIAS, T. R. DOS S. **Aproveitamento biotecnológico de resíduos industriais cervejeiros**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de química. Tese de Doutorado, 2015.

MATTOS, C. **Desenvolvimento de um pão fonte de fibras a partir do bagaço de malte**. 2010.

Mello, J. P. C.; Santos, S. C. Simões, C. M. O.; Schenckel, E. P. **Em Farmacognosia: da planta ao medicamento**, orgs; Ed. UFSC: Porto Alegre; 3ª ed., 2001.

MENESES, N. G. T.; MARTINS, S.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer's spent grains. **Separation and Purification Technology**, v. 108, p. 152-158, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.02.015>.

- MILLER, R. Cakes: Types of Cakes. In: CABALLERO, B; FINGLAS, P. M; TOLDRÁ, F. (editors). **Encyclopedia of Food and Health**. 2016. p. 579-582. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00100-8>.
- MIZUKOSHI, M.; MAEDA, H.; AMANO, H. Model Studies of Cake Baking. II. Expansion and Heat Set of Cake Batter During Baking. **Cereal Chemistry**, v. 57, p. 352-360.
- MOLINA-CANO, J. L., POLO, J. P., ROMERA, E., ARAUS, J. L., ZARCO, J., & SWANSTON, J. S. Relationships between barley hordeins and malting quality in a mutant of cv. Triumph I. Genotype by environment interaction of hordein content. **Journal of Cereal Science**, v. 34, n. 3, p. 285– 294, 2001.
- MONTEIRO, G. L. Avaliação físico-química e sensorial de bolo de chocolate enriquecido com resíduos do malte da indústria cervejeira. 2019.
- MONTEIRO, J. M., ALBUQUERQUE, U. P. D., ARAÚJO, E. D. L., & AMORIM, E. L. C. D. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química nova**, v. 28, p. 892-896, 2005.
- MORADO, R. Larousse da cerveja. 1ªed. **São Paulo: Larousse do Brasil**, 2009.
- MORAIS, M. B.; MAFFEI, H. V. [Constipation]. *J Pediatr (Rio J)*, v. 76, Suppl 1, p. 147- 56, Jul. 2000.
- MORAIS, S. A. L. D., NASCIMENTO, E. A. D., & MELO, D. C. D. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v. 29, p. 461-470, 2005.
- MOROSINI, B. L., BORTOLUZZI, J. N., & MÜLLER, T. R. Influência da secagem do bagaço de malte sobre o conteúdo total de compostos fenólicos e atividade antioxidante. 2018.
- MUSSATTO, S. I., DRAGONE, G., & ROBERTO, I. C. (2006). Brewer's spent grain: generation, characteristics and potential applications. **Journal of Cereal Science**, 43(1), 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>.
- NA, S. W. Compreendendo o papel das interações hospedeiro-micróbio epitelial do rúmen na eficiência alimentar do gado. **Nutrição animal**, v. 10, p. 41-53, 2022.
- NASCIMENTO, E. A., MORAIS, S. A. L. “Polifenóis da madeira de *Eucalyptus Grandis*. Parte 1: análise por espectroscopia e cromatografia líquida”. **Ciência & Tecnologia**, v. 5, n.2, p. 13-18 (1996).
- NASCIMENTO, R.A.A. **Caracterização da lignina de bagaço de cana pré-tratado por explosão a vapor: identificação dos compostos de degradação e reações envolvidas**. 2007. 130 p. Tese (Doutorado em Conversão de Biomassa) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2007.
- NGANYIRA, P. D., MAHUSHI, D. J., BALENGAYABO, J. G., SHAO, G. N., & EMMANUEL, J. K. Quality of biogas generated through co-digestion of Brewer's spent grain and cattle dung. **Energy Reports**, v. 10, p. 2330-2336, 2023.

NIEMI, P., MARTINS, D., BUCHERT, J., & FAULDS, C. B. Pre-hydrolysis with carbohydrases facilitates the release of protein from brewer's spent grain. **Bioresource Technology**, v. 136, p. 529-534, 2013.

OGATA, B. H. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLAJIRE, A. A. The brewing industry and environmental challenges. **Journal of cleaner production**, v. 256, p. 102817, 2020.

OLIVEIRA, A. P. de. Resíduos da indústria de alimentos para elaboração de farinhas: uma estratégia para aproveitamento. 2018. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

OLIVEIRA, E. E., SILVA, A. E., JÚNIOR, T. N., GOMES, M. C. S., AGUIAR, L. M., MARCELINO, H. R., ... & EGITO, E. S. T. Xylan from corn cobs, a promising polymer for drug delivery: Production and characterization. **Bioresource technology**, v. 101, n. 14, p. 5402-5406, 2010.

ÖZVURAL, EB, VURAL, H., GÖKBULUT, İ., & ÖZBOY-ÖZBAŞ, Ö. (2009). Utilização de grãos usados de cervejaria na produção de salsichas tipo Frankfurt. **International Journal of Food Science and Technology**, 44 (6), 1093-1099.

PACIULLI, M., SOGARI, G., RODOLFI, M., PARENTI, O., ANDREANI, G., & CHIAVARO, E. Fostering Circular Economy: Brewing By-Products as Innovative Ingredients for Cereal Bar Formulation. **Foods**, v. 13, n. 15, p. 2355, 2024.

PALAV, T. S. Chemistry of Cake Manufacturing. In: WRIGLEY, C. et al. (editors). **Encyclopedia of Food Grains**. 2. ed. v. 3. 2016. p. 367-374. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00156-X>.

PANDOLFI, M. A evolução do mercado de cervejas artesanais no brasil: a evolução do mercado de cervejas artesanais no brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 21, n. 1, p. 620-630, 2020.

PARPINELLI, W. **Utilização de resíduo seco de cervejaria na alimentação de frangos de corte**. **Dois Vizinhos**: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

PATRICIO, F. D. C. Extração e caracterização de xilana do milho e da cana-de-açúcar para prospecção de xilanases em isolados bacterianos. 2022.

PAZ A., OUTEIRIÑO, D., GUERRA, N. P., & DOMÍNGUEZ, J. M. Enzymatic hydrolysis of brewer's spent grain to obtain fermentable sugars. **Bioresource Technology**, v. 275, p. 402-409, 2019.

PHILIPP, P; D'ALMEIDA, M.L. O. Celulose e Papel. Volume I. Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo** – Centro Técnico em celulose e papel. São Paulo, 1988, Segunda edição.

PINHEIRO, B. H. O. Processo cervejeiro e a comercialização da cerveja. 2019.

PIRES, S. **A mulher e a cerveja**. 2015. Disponível em: <http://www.ocaneco.com.br/a-mulher-e-a-cerveja/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

POJIĆ, M., Mišan, A. & Tiwari, B. 2018. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. **Trends in Food Science & Technology**, 75, 93-104.

POLICARPO, V. M. N.; BORGES, S. V.; ENDO, E.; CASTRO, F. T. de; DAMICO, A. A.; CAVALCANTI, N. B. Estabilidade da cor de doces em massa de polpa de umbu (*Spondias Tuberosa* Arr. Cam.) no estágio de maturação verde. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v. 31, n. 4, p. 1102-1107, 2007.

POSNER, E. S.; HIBBS, A. N. Wheat Flour Milling 2. ed. Minnesota: **American Association of Cereal Chemists**, 1999. 341 p.

PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. Handbook of Brewing. 2 ed. Flórida: **CRC Press and Taylor & Francis Group**, 2006. 829p.

QIN, F.; JOHANSEN, A. Z.; MUSSATTO, S. I. Evaluation of different pretreatment strategies for protein extraction from brewer's spent grains. **Industrial Crops and Products**, v. 125, n. June, p. 443–453, 2018.

RABELO, S.C. **Avaliação de desempenho do pré-tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino para a hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar**. 2007. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

RECH, K. P. M.; ZORZAN, V. Aproveitamento de Resíduos da Indústria Cervejeira na Elaboração de Cupcake. **Francisco Beltrão**, 2017.

RIDGAWAY, D. O guia gourmet: cozinhando com o chocolate. **São Paulo: Larousse do Brasil**, 2011.

RIGO, M., MAZILE VIDAL BEZERRA, J. R., DIAS RODRIGUES, D., & MORAES TEIXEIRA, Â. Avaliação físico-química e sensorial de biscoitos tipo cookie adicionados de farinha de bagaço de malte como fonte de fibra. **Ambiência**, v. 13, n. 1, 2017.

RODRIGUES, T. Q. J. **Uso da biomassa viva e morta de levedura cervejeiras *Saccharomyces cerevisiae* kveik na remoção de níquel e zinco de soluções aquosas**. 2023.

ROJAS-CHAMORRO, J. A., ROMERO, I., LÓPEZ-LINARES, J. C., & CASTRO, E. Brewer's spent grain as a source of renewable fuel through optimized dilute acid pretreatment. **Renewable Energy**, v. 148, p. 81-90, 2020.

ROSENDO, Denise Kauanny de Araújo. Aproveitamento do resíduo agroindustrial na elaboração de barras de cereais. 2021.

SALMAN, A. K. D. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na alimentação de bovinos leiteiros em Porto Velho, **Embrapa Rondônia**, 2012.

SANTIAGO, P. P. Aproveitamento do bagaço de malte como fonte de bioativos utilizando solvente eutético profundo integrado a ultrassom. 2023.

SANTOS, L. F. D. M. Revisão bibliográfica do controle de qualidade aplicado à farinha de trigo. 2022.

SANTOS, M.; JIMÉNEZ, J. J.; BARTOLOMÉ, B.; GÓMEZ-CORDOVÉZ, C.; DEL NOZAL, M. J. Variability of brewers' spent grain within a brewery. **Food Chemistry**, v. 80, p. 17-21, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00229-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00229-7).

SARAIVA, B. R.; AGUSTINHO, B. C.; VITAL, A. C. P.; STAUB, L.; PINTRO, P. T. M. Effect of brewing waste (malt bagasse) addition on the physicochemical properties of hamburgers. **Journal Of Food Processing And Preservation**, [S.L.], v. 43, n. 10, p. 1-10, 31 jul. 2019. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14135>.

SARMA, A.D.; SREELAKSHMI, Y.; SHARMA, R. Antioxidant ability of anthocyanins against ascorbic acid oxidation. **Phytochem.** Oxford, v. 45, p. 671-674, 1997.

SCHEIK, Letícia Klein et al. Diferentes Métodos De Crescimento Na Elaboração De Bolos, 2013.

SEGNIT, N. Dicionário de sabores. Rio de Janeiro: **Casa da Palavra**, 2014.

SGARBIERI, V. C. Proteínas em Alimentos Protéicos: Propriedades, Degradações, Modificações. 1. ed. **São Paulo: Livraria Varela**, 1996.

SHIH, Y. T., WANG, W., HASENBECK, A., STONE, D., & ZHAO, Y. Investigation of physicochemical, nutritional, and sensory qualities of muffins incorporated with dried brewer's spent grain flours as a source of dietary fiber and protein. **Journal of Food Science**. v. 85, n. 11, p. 3943-3953, 2020.

SILVA, A. E., MARCELINO, H. R., GOMES, M. C. S., OLIVEIRA, E. E., NAGASHIMA JR, T., & EGITO, E. S. T. Xylan, a promising hemicellulose for pharmaceutical use. **Products and Applications of Biopolymers**, p. 61-84, 2012.

SILVA, G. de A. da. Elaboração de bolo de beterraba com substituição do açúcar comum. 2021.

SILVA, G.M. da. **Pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com amônia aquosa para a produção de etanol**. 2011. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SILVA, M. L. C., COSTA, R. S., DOS SANTOS SANTANA, A., & KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 669-681, 2010.

SILVA, M.I. da; SILVA, G.R. da; ALVES, J.E. de A.; MARTINS, J.N. Caracterização físico-química da polpa de umbu in natura. In: REUNIÃO REGIONAL DA SBPC NO CARIRI, 2017, Crato. Território, biodiversidade, cultura, ciência e desenvolvimento: resumos. **Crato: SBPC**, 2017.

SILVA, N. C. da. **Uso de metodologias alternativas na secagem de diferentes materiais visando a preservação de compostos bioativos**. 2019.

SILVA, N.L.C. **Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose**. 2010. 109 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, P.H.A.; Faria, F.C. Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 28, 902-906, 2008.

SOARES, L. P.; TOMÉ, P. H. F.; FRAGIORGE, E. J.; RODRIGUES, A. P. Elaboração de Barras de Cereais a Partir De Frutos do Cerrado. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, ano MMXV, Nº. 000069, 2015.

STAHN, T., STORANDT, R., GREBENTEUCH, S., ROHN, S., MAY, D., DOLSDORF, C., & PLEISSNER, D. Utilization of Brewer's Spent Grains and Agricultural Residues in Pig Feed Formation. **Sustainability**, v. 15, n. 18, p. 13774, 2023.

STEFANELLO, F. S., FRUET, A. P. B., TROMBETTA, F., DA FONSECA, P. A. F., DA SILVA, M. D. S., STEFANELLO, S., & NÖRNBERG, J. L. Stability of vacuum-packed meat from finishing steers fed different inclusion levels of brewer's spent grain. **Meat science**, v. 147, p. 155-161, 2019.

STEFANELLO, F. S.; FRUET, A. P. B.; SIMEONI, C. P.; CHAVES, B. W.; OLIVEIRA, L. C.; NÖRNBERG, J. L. Resíduo de cervejaria: Bioatividades dos compostos fenólicos; Aplicabilidade na nutrição animal e em alimentos funcionais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2014. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/ec62/719f0d5faa8f178563147f7e0f93191a6275.pdf>.

STOJCESKA, V. Chapter 15 -Brewer's Spent Grain From By-Product to Health: A Rich Source of Functional Ingredients. *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention (Second Edition)*, Editor(s): Victor R. Preedy, Ronald Ross Watson, Academic Press, Pages 189-198, 2019.

TABBERS, M. M., BOLUYT, N., BERGER, M. Y., & BENNINGA, M. A. Clinical practice: diagnosis and treatment of functional constipation. **European journal of pediatrics**, v. 170, n. 8, p. 955-63, Aug 2011a.

TEIXEIRA, Â. M., SÉKULA, N., MULLER, B., BEZERRA, J. R. M. V., & RIGO, M. Avaliação físico-química e sensorial de pães com diferentes proporções de farinha de bagaço de malte de cevada como fonte de fibra. **Ambiência**, v. 14, n. 3, p. 439-448, 2018.

TEIXEIRA, J. A. Chocolate: um ingrediente atemporal. *Revista de gastronomia*, v. 1, n. 1, 2019.

TEMUSSI, P. The history of sweet taste: not exactly a piece of cake. **Journal of Molecular Recognition: An Interdisciplinary Journal**, v. 19, n. 3, p. 188-199, 2006.

TÍMÁR-BALÁZSY, A.; EASTOP, D. Chemical principles of textile conservation. **Oxford: Butterworth-Heinemann**, 1998. 444 p.

UCHÔA, A.M.A. Adição de pós alimentícios obtidos de resíduos de frutas tropicais na formulação de biscoitos. Dissertação (Mestrado). **Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, CE. 2007. 89f.

VENTURINI FILHO, W. G. Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia. v.1. **São Paulo: Blucher**, p. 15-20, 2010.

VENTURINI, W. G. F.; CEREDA, M. P. W. Cerveja. In: *Biotecnologia Industrial Biotecnologia na produção de alimentos*. V. 4, **São Paulo: Edgard Blucher**, 2008. Cap. 4, p. 91-144.

VERDE, A. A.; CUCOLO, M. C.; OLIVEIRA, M. L. C. DE; CAVALIER, F. L. B.; ANDREAZZI, M. A.; EMANUELLI, I. P. Destino sustentável de resíduos de cervejaria artesanal: um estudo de caso em uma granja de suínos. **Revista Valore, Volta Redonda**, 4 (Edição Especial): 84-93. 2019.

WATERS, DM, JACOB, F., TITZE, J., ARENDT, EK, & ZANNINI, E. Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment. , v. 235, **European Food Research and Technology** p. 767-778, 2012.

WILKINSON, S.; SMART, K. A.; COOK, D. J. A comparison of dilute acid- and alkali-catalyzed hydrothermal pretreatments for bioethanol production from brewers' spent grains. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 72, n. 2, p. 143–153, 2014.

WU, G. Amino acids: Metabolism, functions, and nutrition. **Amino Acids**, 37. 2009.

YADA, R Y. Proteins in Food processing. **Washington: Cambridge England**, 2004.

ZAPAROLI, J. C. Avaliação da incorporação de resíduo seco do processo de malteação em bolo de chocolate. 2013.