

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL – IFRS
CAMPUS ERECHIM

MARINA ANDREA BACCIN

**ELABORAÇÃO DE CERVEJA SEM GLÚTEN COM UTILIZAÇÃO DE MALTE DE
ARROZ E QUINOA**

ERECHIM – RS

2023

MARINA ANDREA BACCIN

**ELABORAÇÃO DE CERVEJA SEM GLÚTEN COM UTILIZAÇÃO DE MALTE DE
ARROZ E QUINOA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *Campus* Erechim como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Dra. Marília Assunta Sfredo

ERECHIM – RS
2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter sido força e refúgio em momentos difíceis, e por me permitir cumprir seus planos, com esforço e sabedoria.

À minha família e amigos que estiveram ao meu lado nesses anos, acompanhando uma jornada desafiadora. Compreendendo os momentos de ausência, me incentivando e apoiando incondicionalmente. Sem vocês nada disso seria possível, por isso fazem parte dessa conquista também.

Aos professores que me acompanharam ao longo do curso, dividindo seu conhecimento, não só teórico, mas também nos incentivando a buscar nosso melhor seja na vida profissional ou pessoal.

À minha orientadora Marília, que desde o início abraçou a ideia proposta e não mediu esforços para que esse trabalho acontecesse. Foram dias incontáveis e muitas vezes duvidosos, mas que nos trouxeram até aqui.

Ao IFRS – Campus Erechim pela oportunidade de realizar a graduação e conquistar o tão sonhado diploma. Lugar que por muito tempo se tornou uma segunda casa, passando tardes e noites em pesquisas e aulas, construindo amizades, gerando aprendizado, crescimento.

À Gabriela, que esteve comigo nas atividades de laboratório, como colega, companheira e amiga.

À família de Clarinha Sfredo e Dirceu Domingos Sfredo por terem doado as sementes de arroz utilizadas para fazer a maltagem.

À equipe da Cervejaria Casa Cevada, especialmente a Maluare e ao Paulo, que foram *sommeliers* da cerveja de arroz, e me auxiliaram com sua experiência sempre que precisei.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa jornada, o meu muito obrigada.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê. ”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

A cerveja está entre as bebidas alcólicas mais consumidas no mundo, sendo o Brasil o terceiro maior consumidor no ranking mundial. Feita basicamente a partir de água, malte, lúpulo e levedura; contém proteínas de glúten, provenientes do malte de cevada, que são prejudiciais para pessoas portadoras de doença celíaca. Atualmente, algumas empresas já estão fabricando cervejas sem glúten utilizando enzimas exógenas, porém uma alternativa bastante estudada é a produção de cerveja sem glúten com produtos naturalmente sem glúten, como arroz, milho, sorgo e trigo sarraceno. Desse modo, o objetivo deste estudo foi produzir uma cerveja sem glúten a partir da maltagem de arroz e quinoa, com flocos de milho, e adição de enzimas exógenas em diferentes etapas, adaptando o processo de produção às matérias-primas utilizadas. Para tanto, sementes de arroz e quinoa passaram por processo de maltagem e torra, e foram utilizadas com flocos de milho, malte de arroz adquirido comercialmente, açúcar mascavo e lúpulo, na produção de uma cerveja sem glúten. Adicionou-se ainda as enzimas amiloglicosidase e alfa-amilase para auxiliar no processo de sacarificação. As amostras foram divididas em 1 e 2, sendo que somente a 1 recebeu enzima amiloglicosidase também na fermentação. A produção foi avaliada quanto aos teores de pH, °Brix, viscosidade e teor alcoólico. A amostra 1 apresentou teor alcoólico de $6,48 \pm 1,96$ % v/v e viscosidade de $4,76 \pm 0,31$ cP, enquanto a amostra 2 teve teor alcoólico de $3,69 \pm 1,24$ % v/v e viscosidade de $4,97 \pm 0,42$ cP. Ambas tiveram decréscimo de pH como esperado ao fim da fermentação e atingiram uma coloração âmbar a cobre, com odor que remete a grãos tostados, pão torrado, café, herbal, chá de boldo. A partir das produções foi possível obter um resultado satisfatório, alcançando o objetivo proposto, porém sugere-se testar outras variedades de arroz para produção do malte de arroz, que confirmem características que facilitem a sacarificação do amido.

Palavras-chave: bebida alcóolica; maltagem; enzimas.

ABSTRACT

Beer is among the most consumed alcoholic beverages in the world, and Brazil is the third largest consumer in the world ranking. It is produced from water, malt, hops and yeast. Also, it contains gluten proteins from barley malt, which are harmful for people with celiac disease. Currently, some companies are making gluten-free beers using exogenous enzymes. However, the production of gluten-free beer using naturally gluten-free foods, such as rice, corn, sorghum and buckwheat has been investigated. Thus, the objective of this study was to produce a gluten-free beer from rice and quinoa malting, with corn flakes, and the addition of exogenous enzymes in different stages, adapting the production process to the raw materials used. For this purpose, rice and quinoa seeds underwent a malting and roasting process, and were used with corn flakes, commercially purchased rice malt, brown sugar and hops, in the production of a gluten-free beer. Amyloglucosidase and alpha-amylase enzymes were also added to aid in the saccharification process. Samples were divided into 1 and 2, with only sample 1 also receiving amyloglucosidase enzyme in fermentation. The production was evaluated for pH, °Brix, viscosity and alcohol content. Sample 1 had an alcohol content of 6.48 ± 1.96 % v/v and a viscosity of 4.76 ± 0.31 cP, while sample 2 had an alcohol content of 3.69 ± 1.24 % v/v and a viscosity of 4.97 ± 0.42 cP. The two samples evaluated showed a decrease in pH, as expected at the end of fermentation. In addition, presented color amber to copper color, and odor reminiscent of toasted grains, toasted bread, coffee, herbal, boldo tea. In general, it was possible to observe a satisfactory result, however it is suggested to test other rice varieties for the production of rice malt, which properties that facilitate the starch saccharification.

Key words: alcoholic beverage; malting; enzymes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferentes vistas da planta de lúpulo.....	20
Figura 2 - Cone de lúpulo expondo glândulas de lupulina.....	21
Figura 3 - Representação das etapas de fabricação da cerveja.....	22
Figura 4 - Mecanismo da reação de Maillard resultando na formação de melanoidinas, furaneol e maltol.....	24
Figura 5 - Mecanismo de conversão da glicose em etanol e dióxido de carbono pela ação das leveduras.....	26
Figura 6 - Amostra bruta.....	29
Figura 7 - Amostra após quarteamento.....	29
Figura 8 - Processo de quarteamento de amostras.....	30
Figura 9 - Sementes prontas para germinação.....	30
Figura 10 - Sementes após germinação.....	31
Figura 11 - Sementes germinadas de quinoa.....	31
Figura 12 - Processo de maltagem do arroz.....	32
Figura 13 - Processo de molha do arroz.....	33
Figura 14 - Processo de germinação do arroz.....	33
Figura 15 - Malte de arroz pronto.....	34
Figura 16 - Processo de maltagem da quinoa.....	35
Figura 17 - Processo de molha da quinoa.....	35
Figura 18 - Processo de germinação da quinoa.....	36
Figura 19 - Malte de quinoa pronto.....	36
Figura 20 - Fluxograma de produção da cerveja sem glúten.....	39
Figura 21 - Moinho de discos (a) e maltes moídos (b).....	40
Figura 22 - Mostura em banho-maria.....	41
Figura 23 - Fervura do mosto (a) e resfriamento do mosto (b).....	42
Figura 24 – Fermentação.....	43
Figura 25 – Maturação.....	43
Figura 26 - Conjunto de destilação.....	45
Figura 27 - Teste de iodo realizado na segunda triplicata da amostra 2.....	47
Figura 28 - Cerveja fermentada e maturada (terceira triplicata da amostra 2).....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 A CERVEJA	10
3.2 DOENÇA CELÍACA E ALIMENTOS SEM GLÚTEN	12
3.3 ARROZ	13
3.4 MILHO	15
3.5 QUINOA	16
3.6 PROCESSO CERVEJEIRO	17
3.6.1 Ingredientes	17
3.6.2 Etapas de Produção.....	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 PREPARO DOS MALTES DE ARROZ E QUINOA	28
4.1.1 Teste de Germinação dos Grãos de Arroz.....	28
4.1.2 Teste de Germinação das Sementes de Quinoa	31
4.1.3 Maltagem do Arroz	32
4.1.4 Maltagem da Quinoa	34
4.1.5 Análise de Umidade	36
4.2 FABRICAÇÃO DA CERVEJA	37
4.2.1 Moagem	39
4.2.2 Pré-gelatinização.....	40
4.2.3 Mostura	40

4.2.4 Clarificação	41
4.2.3 Fervura.....	42
4.2.4 Fermentação e Maturação	42
4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	44
4.3.1 Análise de pH.....	44
4.3.2 Análise de °Brix	44
4.3.3 Análise de Viscosidade	44
4.3.4 Teor Alcoólico	45
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A cerveja está entre as bebidas alcóolicas mais consumidas no mundo, e a terceira mais popular no geral, atrás da água e chá. Em 2019 a produção mundial alcançou cerca de 1,91 bi de hectolitros. O Brasil encontra-se em terceiro lugar no ranking mundial, totalizando 7% do consumo, atrás da China com 27% e Estados Unidos com 13%. É uma bebida popular há milhares de anos e teve um papel importante no desenvolvimento da sociedade, sendo consumida em festas e cerimônias, feita basicamente a partir de água, malte, lúpulo e levedura (CONWAY, 2021).

O malte, por ser proveniente principalmente da cevada, contém proteínas de glúten, que são prejudiciais para pessoas portadoras de doença celíaca, pois os peptídeos ricos em prolina não são facilmente digeridos no trato gastrointestinal, podendo desencadear uma reação imune em pessoas com predisposição genética (RUBIO-FLORES; SERNA-SALDIVAR, 2016). Desse modo, até pouco tempo atrás esse grupo de consumidores não tinha alternativas de cerveja no mercado que lhes atendesse.

Atualmente, algumas empresas já estão fabricando cervejas sem glúten utilizando enzimas exógenas, prolil endopeptidases, que hidrolisam resíduos de prolina até níveis considerados aceitáveis de 20 mg de glúten/kg (KNORR; WIESER; KOEHLER, 2016). Contudo, em um trabalho de Fernández-Gil *et al.*, (2021) foram encontrados valores maiores do que o estipulado em cervejas rotuladas como *gluten free*.

Desse modo, uma alternativa bastante estudada atualmente é a produção de cerveja sem glúten com produtos naturalmente sem glúten, como arroz, milho, sorgo e trigo sarraceno, possibilitando também a produção da bebida em locais onde a cevada não é cultivada (MAYER *et al.*, 2016). No Brasil, o arroz é o terceiro grão mais produzido segundo IBGE (2021) e apresenta grande potencial como matéria-prima para maltagem.

O estilo de cerveja buscado neste trabalho é *Belgian Pale Ale*, que possui uma coloração âmbar a cobre, aroma tostado, biscoito ou nozes, toque de caramelo ou mel, moderadamente frutado, com teor alcoólico entre 4,8 e 5,5%, produzida com malte *Pale ale* e lúpulo *Saaz* (STRONG; ENGLAND, 2015). O principal objetivo deste

estudo foi produzir uma cerveja sem glúten a partir da maltagem de arroz e quinoa, junto a flocos de milho, com adição de enzimas exógenas em diferentes etapas, adaptando o processo de produção às matérias-primas utilizadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Produzir uma cerveja sem glúten adequada para o público com doença celíaca, a partir de malte de arroz, malte de quinoa e milho.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a maltagem de sementes de arroz e quinoa para produção de cerveja sem glúten;
- Avaliar a utilização de enzimas exógenas nas diferentes etapas de produção da cerveja sem glúten;
- Avaliar a qualidade da cerveja obtida por meio de análises físico-químicas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A CERVEJA

O consumo de bebidas fermentadas no mundo tem registros milenares, e é uma das práticas mais ancestrais do homem. Indícios da produção de cerveja foram encontrados na região da antiga Mesopotâmia, e apesar de não se saber ao certo, estima-se que era elaborada a partir de uvas selvagens, arroz, mel ou tâmaras, e cevada (VENTURINI FILHO, 2016).

Posteriormente, entre 5000 e 3000 a.C., sua produção e consumo se expandiu para o Egito antigo, onde pão e cerveja eram considerados indispensáveis, sendo a bebida consumida até em rituais sagrados. Já na Europa medieval, os gregos influenciaram os romanos, e ambos consideravam a cerveja como a bebida do povo comum (celtas e tribos germânicas). Após a queda do Império Romano, os celtas se

espalharam pela Europa e difundiram a cultura da cerveja. A produção em escala comercial se deu quase que exclusivamente nos mosteiros, que foram responsáveis pela introdução do lúpulo na receita (HORNSEY, 2016).

O cultivo de cereais e o seu processamento em atividades como a fermentação, transformou a civilização em uma sociedade agrária. Em 1516, o Duque da Baviera Guilherme IV, promulgou a lei da pureza alemã (*Reinheitsgebot*) que limitava a produção da cerveja à malte de cevada, água e lúpulo (MASTANJEVIĆ *et. al*, 2019).

Segundo Gasiński *et al.* (2023), a cerveja é tipicamente produzida a partir do mosto adquirido no processo de maceração, durante a qual ocorre uma hidrólise enzimática das proteínas e do amido. O procedimento de mosturação é necessário, pois a levedura utilizada para o processo (*Saccharomyces cerevisiae*) não é capaz de utilizar amido, apenas subprodutos da hidrólise do amido, como maltose e glicose. A cerveja é produzida principalmente a partir da cevada, que é maltada para aumentar sua atividade enzimática.

Vários outros cereais também podem ser maltados para produzir vários tipos de cerveja, como cerveja de trigo ou cerveja de centeio, populares em algumas regiões do mundo. No entanto, a cevada e outros cereais maltados não são muito adequados para produzir bebidas para pessoas que sofrem de doença celíaca, (sensibilidade ao glúten), dermatite herpetiforme, ataxia de glúten e outras desordens, que ultimamente são diagnosticados em uma porcentagem muito maior da população mundial do que em anos anteriores. É por isso que muitos produtores de alimentos usam atualmente cereais sem glúten ou pseudocereais, como arroz, milho, trigo mourisco ou sorgo para produzir pão, massas e outros produtos tipicamente ricos em glúten. Desta forma, estes produtos poderiam ser consumidos pela população que sofre dos distúrbios acima mencionados (SOUZA; SIQUEIRA; DALA-PAULA, 2023).

Com o passar dos anos, novas tecnologias foram introduzidas e o processo cervejeiro foi aperfeiçoado até chegar ao que conhecemos atualmente, utilizando-se leveduras comerciais, novos ingredientes e tipos de fermentação e o futuro é justamente pensar nos consumidores que possuem restrições em sua dieta.

A Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019, art. 2º, que estabelece os padrões de identidade e qualidade para produtos de cervejaria, define cerveja como:

[...] a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a

um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro (BRASIL, 2019).

A IN nº 65 de 2019, art. 10, inciso I, ainda estabelece que, para ser denominada como “cerveja”, deve ter no mínimo 55% em peso de cevada maltada, ou seja, sempre incluirá cereais que contêm glúten, tornando-se inadequada para pessoas que sofrem com a doença celíaca ou alguma intolerância às proteínas do glúten.

3.2 DOENÇA CELÍACA E ALIMENTOS SEM GLÚTEN

Segundo Mickowska et al. (2023), o termo “glúten” refere-se as proteínas de armazenamento dos cereais, consistem em prolaminas e glutelinas. O glúten normalmente está presente em cereais como trigo, centeio, cevada e suas variedades híbridas. As prolaminas são a fração responsável pelo processo inflamatório nos celíacos, sendo que em cada cereal recebem diferentes denominações: trigo (gliadina), centeio (secalina) e cevada (hordeína) (OLIVEIRA *et al.*, 2018). A questão da aveia ainda está em discussão, embora a aveia possa ser tolerada pela maioria dos celíacos.

A doença celíaca é uma doença autoimune que atinge principalmente o intestino delgado em pessoas com predisposição genética, causando inflamação da mucosa intestinal e má absorção de nutrientes (BAI; CIACCI, 2017). Sequências específicas de aminoácidos nas prolaminas iniciam processos fisiopatológicos, resultando em lesão inflamatória na mucosa intestinal e atrofia das vilosidades. Outras consequências para os pacientes incluem distúrbios gastrointestinais (diarreia), distúrbios de absorção (levando a anemia, osteoporose, sintomas neurológicos), fadiga crônica, bem como maior risco de desenvolvimento de tumor no intestino delgado (MICKOWSKA et al., 2023). As proteínas do glúten representam 70 a 80% do conteúdo total de proteína do grão e possui um peptídeo exclusivo com altos teores de glutamina e prolina compreendidos em longas sequências repetitivas (WATSON et al., 2021). No entanto, a supressão total do glúten durante toda a vida pode impactar negativamente o paciente, principalmente se o diagnóstico foi feito na fase adulta. Problemas psicológicos, deficiências nutricionais e insatisfação alimentar podem ser consequência de uma mudança repentina na dieta (CAIO et al., 2019). Desse modo, é de extrema importância o acompanhamento nutricional com profissional

especializado e que as indústrias e estabelecimentos comerciais disponibilizem uma gama maior e mais acessível de produtos diferenciados ao público celíaco.

Vários países seguem o *Codex Alimentarius* que estipula que o teor de glúten no alimento não deve ultrapassar 20 mg / kg para que seja considerado *gluten-free*. No Brasil, a partir de 2015 com a criação da RDC nº26/2015, alimentos sem glúten passaram a ser considerados aqueles que tenham quantidades indetermináveis de glúten após análise (BRASIL, 2015), já que a legislação brasileira ainda não tem nenhuma lei específica que descreva o teor permitido. Segundo Selladurai et al. (2022), cereais sem glúten são aqueles que compreendem menos de 20 partes por milhão (ppm) de glúten. Podemos citar como exemplos destes cereais o arroz (*Oryza sativa*), sorgo (*Sorghum bicolor*), *teff* (*Eragrostis tef*), milheto (*Pennisetum glaucum*), painço dedo (*Eleusine coracana*) e outros painços. Os produtos obtidos através destes cereais podem ser consumidos por indivíduos com problemas de intolerância a glúten e distúrbios relacionados.

Dentre os alimentos detentores de glúten também se incluem as bebidas, como a cerveja, que é muito popular no mundo todo e é produzida basicamente a partir de malte de cevada ou trigo (MAYER et al., 2016). Uma cerveja sem glúten pode ser feita utilizando enzimas exógenas e mecanismos de remoção ou redução das proteínas consideradas “tóxicas” do glúten, porém são processos mais complexos e caros que os produtores nem sempre estão dispostos a pagar. Por isso o meio mais fácil e acessível é utilizar maltes especiais provenientes de cereais sem glúten, como milho, arroz e sorgo ou pseudocereais como trigo sarraceno, quinoa e amaranto (GUMIENNA; GÓRNA, 2020). Segundo Fajardo et al. (2020), o mercado global de consumo de produtos sem glúten deverá expandir a uma taxa de 7,6% ao ano de 2020 a 2027. Selladurai et al. (2022) explicam que tendências recentes sugerem que, além da população sensível ao glúten, produtos sem glúten também são amplamente preferidos pela população sem quaisquer distúrbios relacionados ao glúten.

3.3 ARROZ

O arroz (*O. sativa* L.) é um dos principais grãos de alimentação produzidos no mundo, principalmente na Ásia. Segundo o relatório de oferta e demanda publicado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2023), a safra de arroz

mundial 2022/23 chegou à casa de 512 milhões de toneladas, sendo o terceiro grão mais cultivado no mundo, perdendo apenas para milho e trigo.

No Brasil, o arroz está entre os três principais cereais cultivados, com uma estimativa de colheita na casa de 10 milhões de toneladas (CONAB, 2023). É um dos alimentos básicos da alimentação mundial, e por não conter glúten é adequado também para pessoas que sofrem com a doença celíaca. A composição centesimal do arroz integral descrita pela tabela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011) consiste em 7,3% de proteína, 1,9% de lipídeos e 77,5% de carboidratos.

Segundo Ceccaroni et al. (2019b), atualmente as cervejas artesanais são um atrativo no mercado da indústria cervejeira, assim como as cervejas destinadas a consumidores com requisitos de saúde específicos, como por exemplo a doença celíaca. As cervejas de arroz já estão fazendo parte do mercado de cervejas artesanais sem glúten. Nesse sentido, o arroz apresenta-se como uma alternativa viável para maltagem devido ao seu conteúdo de amido, porém apresenta uma quantidade menor de proteína se comparado à cevada, o que pode ser prejudicial para a atividade da levedura (MARCONI et al., 2017). Tradicionalmente, o arroz já é utilizado no processo cervejeiro como adjunto, assim como outros grãos, para diminuir os custos de fabricação e suprir a baixa produção de cevada (GUIMARÃES, 2017).

O amido de arroz é relatado como único com sabor suave, cremoso, espalhável e textura suave. Essas características incluem hipoalergenicidade, digestibilidade, aceitação do consumidor, sabor suave, grânulos pequenos, cor branca, aumento da estabilidade no congelamento-descongelamento de pastas, maior resistência a ácidos e uma ampla gama de relações amilose:amilopectina. Essas propriedades únicas aumentaram a demanda por amido de arroz nas indústrias alimentícia e farmacêutica (WANI et al., 2012).

Como outros amidos, o amido de arroz é um copolímero de cadeia linear (amilose) e ramificada (amilopectina) (OLIVEIRA et al., 2022; WANI et al., 2012). A amilose, um polímero linear, é composta quase inteiramente por unidades de D-glucopiranosil em ligações α -1,4. Muitas moléculas de amilose têm algumas ramificações (0,3% a 0,5% apenas) com D-glucopiranosil em ligações α -1,6. Já, a amilopectina, consistindo em cadeias de D-glucopiranosil em ligações α -1,4, é altamente ramificada (5% a 6%) com ligações α -1,6 (WANI et al., 2012).

A amilose é o principal fator que influencia as propriedades físico-químicas do amido de arroz. Ao ser aquecido em soluções aquosas, o amido incha irreversivelmente e sua estrutura cristalina colapsa, fenômeno conhecido como gelatinização. A dilatação do amido é uma propriedade da amilopectina, enquanto a amilose é conhecida por restringi-la. A gelatinização converte o amido em uma forma física desejável em muitos sistemas alimentares. Após o resfriamento, as moléculas de amido se reassociam em um complexo processo de recristalização conhecido como retrogradação, que geralmente está associado à separação da água do gel (sinerese) (WANI et al., 2012).

Segundo Prestes et al. (2019), a utilização do arroz como fonte de amido no processo de produção da cerveja *Pilsen* é bem conhecido e comum globalmente. No entanto, as cervejas feitas com 100% de malte de arroz são ainda incomuns (CECCARONI et al., 2019b). Prestes et al. (2019) citam um estudo feito por pesquisadores italianos que buscou melhorar o genótipo de arroz e a maltagem. Os pesquisadores obtiveram uma cerveja de arroz com aroma e sabor semelhantes à cerveja feita com malte de cevada tradicional, mas a cor e principalmente a estabilidade da espuma foram apontadas como fatores que requerem melhorias.

Em um estudo de Ceccaroni et al. (2019a), a análise sensorial em cervejas de arroz demonstrou que se originou uma cor amarela pálida, espuma que colapsa rapidamente e um perfil sensorial semelhante à cerveja de cevada, porém com características mais brandas. Os estudos são promissores, porém há necessidade de otimizar a conversão do amido de arroz no processo de maltagem.

Prestes et al. (2019) expõem que os seguintes desafios ainda precisam ser enfrentados: (1) uma melhor qualidade do malte de arroz, aumentando a biossíntese e a atividade de α e β -amilase durante a etapa de maltagem; (2) uma melhora na clarificação; (3) um aumento no teor de nitrogênio da cerveja de arroz; e (4) uma maior aceitabilidade sensorial, especialmente em relação à capacidade de formação de espuma e estabilidade.

3.4 MILHO

A origem do milho (*Zea mays* L.) data de 7000 a 10000 anos atrás nas terras do México. Sítios arqueológicos, como o “Nac Neish” no México, mostram que o milho já era domesticado a 6000 anos AC. Atualmente, o milho é o grão de maior cultivo no

mundo, com 1,2 bilhão de toneladas (ESTADÃO, 2022), visto que é utilizado para alimentação animal e humana, produção de bebidas alcólicas e biocombustíveis (GARCÍA-LARA; SERNA-SALDIVAR, 2018). Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023), a colheita de milho no Brasil em 22/23 ultrapassou 125 mil toneladas, ficando na segunda posição no ranking nacional de produção, somente atrás da soja.

Assim como o arroz, o milho também é muito utilizado como adjunto cervejeiro, adicionando amido ao mosto e conferindo um aspecto mais límpido e suave à cerveja. A composição do milho é de aproximadamente 73 a 80% de carboidratos, 8 a 12% de proteínas. O conteúdo de carboidrato é maior do que na cevada, porém a temperatura de gelatinização do amido é mais elevada (60-70°C), portanto deve-se atentar a esta etapa no processo de produção de cerveja. Geralmente adiciona-se o milho na forma de flocos que é degerminado e pré-gelatinizado (GUIMARÃES, 2017).

Silva Neto *et al.* (2017) produziram malte de milho para elaboração de cerveja artesanal. Segundo eles foi possível obter uma cerveja adequada e aceita sensorialmente pelos provadores, com pH final de 4,2 condizente para cerveja de baixa de fermentação, e teor alcóolico na casa dos 4%. Assim como Schork (2015), que também obteve bons resultados. A aceitação da cerveja produzida com malte de milho e farinha de arroz foi satisfatória, necessitando apenas aprimorar a cor.

3.5 QUINOA

Segundo Zhou *et al.* (2023), a quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) é uma espécie da família Chenopodiaceae, a mesma de outras plantas alimentares como espinafre e a beterraba (STRENSKE *et al.*, 2015). A quinoa é espécie granífera, domesticada pelos povos habitantes da Cordilheira dos Andes, há milhares de anos (STRENSKE *et al.*, 2015), sendo, portanto, nativa da América do Sul, com características de nutrição rica e sabor perfumado (ZHOU *et al.*, 2023). Desde que a quinoa foi introduzida com sucesso na província de Shanxi, na China, em 2011, o plantio em larga escala de quinoa foi expandido para mais de 10 províncias. Até 2021, a área semeada na China atingiu mais de 20.000 hm² e a produção total de grãos de quinoa é de 45.000 toneladas. Portanto, é um cereal abundante e promissor.

A quinoa foi domesticada há milhares de anos principalmente no Peru e Bolívia. Vem ganhando espaço no cenário científico devido ao seu conteúdo de proteínas,

lipídeos, vitaminas, fibras e minerais, e por isso foi descrita como um dos “grãos do século 21”. É adequada não somente para pessoas com doença celíaca, por não conter glúten, mas também para crianças, idosos, pessoas com anemia e diabetes por exemplo, pois ajuda a diminuir os níveis de colesterol total, triglicerídeos e ainda apresenta potencial antioxidante (VILCACUNDO; HERNÁNDEZ-LEDESMA, 2017).

A Tabela 1 fornece uma comparação de valores de proteína e carboidrato da quinoa com cevada, trigo e arroz.

Tabela 1 - Comparação da composição da quinoa com cereais (em 100 g).

Composição (g)	Quinoa	Trigo	Cevada	Arroz
Proteína	14,12	13,68	9,91	6,81
Carboidrato	64,16	71,13	77,72	81,68

Fonte: USDA (2016).

Dentre os grãos acima, a quinoa possui conteúdo total de proteína superior aos demais, sendo a maior parte albuminas e globulinas. Em relação aos carboidratos, apesar de conter valores menores que o trigo, cevada e arroz, por volta de 64%, o amido é a fração principal (NAVRUZ-VARLI; SANLIER, 2016).

Alonso-Miravalles e O'Mahony (2018) estudaram a composição de pseudocereais, e ao analisar farinha de quinoa encontraram valores próximos aos citados na Tabela 1, onde os teores de proteína variaram entre 13,1 e 15,7% e para amido entre 50,5 e 60%. A partir desses parâmetros, a quinoa é um ingrediente potencial para o estudo da produção de malte, mas os estudos ainda são escassos no meio científico e requerem aprofundamento.

3.6 PROCESSO CERVEJEIRO

3.6.1 Ingredientes

3.6.1.1 Água

A água representa um dos ingredientes mais importantes da cerveja, pois constitui 90% do volume de produto final, desta forma também pode interferir na qualidade da mesma. Além do que, está presente em inúmeras etapas do processo

de fabricação, como preparo do malte, enxágue das garrafas, limpeza e sanitização dos equipamentos (ROSA; AFONSO, 2015).

Tabela 2 - Íons da água e sua influência na cerveja.

Íon	Concentração ideal	Concentração alterada	Percepção sensorial
Sódio	10 a 70 mg/L	150 a 200 mg/L > 200 mg/L	Realça corpo maltado; Salgado;
Potássio	300 a 500 mg/L	> 500 mg/L	Salgado;
Magnésio	10 a 30 mg/L	> 70 mg/L	Amargo e azedo;
Cálcio	50 a 150 mg/L	< 50 mg/L	Azedo;
Hidrogênio	pH 6.5 a 7 (depende da cerveja)	pH < 4 pH ≤ 3,7 pH > 4 pH ≥ 4,4	Ácido, com tendência para o amargor; Metálico; Torrado; Sabão (básico);
Ferro	< 0,05	≥ 0,05 mg/L	Metálico e adstringente;
Cloreto	0 a 250 mg/L	> 250 mg/L	Salgado;
Sulfato	50 a 150 mg/L – cervejas amargas 150 a 350 mg/L – cervejas muito amargas	> 400 mg/L	Acentua amargor do lúpulo, adstringente e sulfuroso.

Fonte: SALIMBENI, MENEGUETTI E ROLIM (2016).

Na Tabela 2 pode ser observado como uma alteração na concentração de íons na água pode afetar a percepção sensorial da cerveja. A água utilizada na produção da cerveja deve ser potável, livre de microrganismos e impurezas orgânicas ou inorgânicas que causariam turbidez. Ela pode ser tratada para tornar-se adequada ao tipo de cerveja produzida, pois cada produto requer uma composição química de água diferente (PIRES; BRÁNYIK, 2015).

O pH ideal da água deve estar entre 5 a 6,5, desse modo atua regulando atividade enzimática, solubiliza compostos adstringentes. Já os minerais têm papel

importante não só no sabor final da cerveja, mas também no processo. O cálcio protege a α -amilase da inativação térmica, estimula floculação da levedura, previne extração excessiva de compostos do lúpulo. O magnésio auxilia a atividade enzimática da levedura, mas se a dureza da água estiver muito elevada pode ser feita redução utilizando óxido de cálcio. O zinco estimula síntese proteica, todavia valores acima de 0,6 mg/L afetam a fermentação e estabilidade coloidal (ROSA; AFONSO, 2015).

3.6.1.2 Malte

O malte é o produto proveniente da germinação controlada de cereais. Teoricamente qualquer cereal pode passar por malteação (cevada, arroz, milho, trigo, entre outros), mas o mais conhecido e utilizado no processo cervejeiro, desde as culturas ancestrais, é a cevada. Isso se deve às características próprias da cevada, como um alto teor de amido, e elevado percentual de formação de enzimas hidrolíticas (VENTURINI FILHO, 2016).

A atividade destas enzimas, α -amilase e β -amilase, é medida através do PD (poder diastático), um indicador de qualidade do malte que avalia o poder de ambas em converter o amido em maltose e glicose, açúcares fermentáveis que podem ser consumidos pela levedura durante a fermentação (HOYLE et al., 2020).

A produção do malte envolve três etapas: maceração, germinação e secagem. A maceração é a etapa onde os grãos são umedecidos de modo a absorverem água para iniciar seu metabolismo; na germinação ocorre o enfraquecimento das paredes celulares do grão, a síntese de enzimas hidrolíticas e a modificação do amido do endosperma; na secagem o processo de germinação é interrompido para manter a atividade enzimática, conservar os grãos para armazenamento e incorporar cor e aroma ao malte (MUZZOLON et al., 2021).

A germinação é um processo muito simples, barato, ecológico e biologicamente seguro, induzido pela ação de enzimas, por estímulos externos e pelos fitohormônios internos. É um método de processamento pós-colheita do arroz amplamente utilizado, porque melhora a qualidade sensorial e nutricional dos cereais, devido ao aumento da sua digestibilidade, pela ativação do sistema enzimático adormecido do grão, induzindo a hidrólise de compostos de alto peso molecular. A germinação também pode diminuir o teor de ácido fítico, um antinutriente com efeitos negativos na

biodisponibilidade mineral e na digestibilidade das proteínas. O consumo de arroz integral germinado tem aumentado devido ao seu alto valor nutricional e teor de compostos bioativos, que podem ajudar a reduzir o risco de doenças. A germinação do arroz promove aumento de compostos bioativos como ácido gama-aminobutírico (GABA), compostos fenólicos (ácidos ferúlico, siríngico, p-cumárico, cafeico e vanílico), antioxidantes lipofílicos (γ -orizanol e tocoferol), antioxidantes solúveis (antocianinas e antocianidinas), vitaminas B, compostos prebióticos e fibras alimentares (arabinoxilanos e amido resistente) (OLIVEIRA et al., 2022).

3.6.1.3 Lúpulo

Para fabricação de cerveja se utiliza a flor da fêmea (Figura 1) da trepadeira de lúpulo (*Humulus lupulus* L.), que é responsável pelo amargor e aroma dos diferentes estilos da bebida.

Figura 1 - Diferentes vistas da planta de lúpulo.



Cultivo de lúpulo (A); cones de lúpulo desenvolvidos (B). Fonte: ÁGAPE (2021).

Os compostos fenólicos presentes na planta têm atividade antioxidante, antimicrobiana e estabilizantes de espuma. O lúpulo pode ser comercializado na forma de extrato, cones frescos ou secos e prensados, porém a forma mais estável para o

transporte e armazenamento são os *pellets*, feitos das inflorescências secas, moídas e prensadas (MACHADO JUNIOR; FARIA; FERREIRA, 2019).

Apesar de ser adicionado em pequenas quantidades, o lúpulo é crucial para obtenção das características desejadas na cerveja, e é classificado em dois grupos: lúpulo de amargor e aromático. A propriedade aromática é conferida pelos óleos essenciais, que compõem 0,5 – 2% da flor, e encontram-se na lupulina (Figura 2). Já os compostos de amargor, são provenientes da fração resinosa dos cones, onde se encontram os α -ácidos e as humulonas (VENTURINI FILHO, 2016). O lúpulo aromático também conhecido como lúpulo de acabamento ou condicionador é adicionado nos últimos minutos da fervura para que não haja perda dos compostos voláteis (REMIGIO, 2017).

Figura 2 - Cone de lúpulo expondo glândulas de lupulina.



Fonte: MACHADO JUNIOR; FARIA; FERREIRA (2019).

3.6.1.4 Fermento

As duas espécies de levedura mais comuns e utilizadas que foram domesticadas para o uso comercial são a *Saccharomyces cerevisiae* (cervejas *ale*) e *Saccharomyces pastorianus* (cervejas *lager*). No passado, as *S. pastorianus* eram referidas como *Saccharomyces uvarum* (*carlsbergensis*) (BOULTON, 2020).

A cerveja *lager* é produzida com “leveduras de baixa fermentação”, em temperaturas compreendidas entre 8-15°C, e recebem este nome pois ao fim da fermentação elas floculam e são recolhidas no fundo do fermentador. Já as cervejas *ale* utilizam “leveduras de alta fermentação” em temperaturas que variam entre 16 e

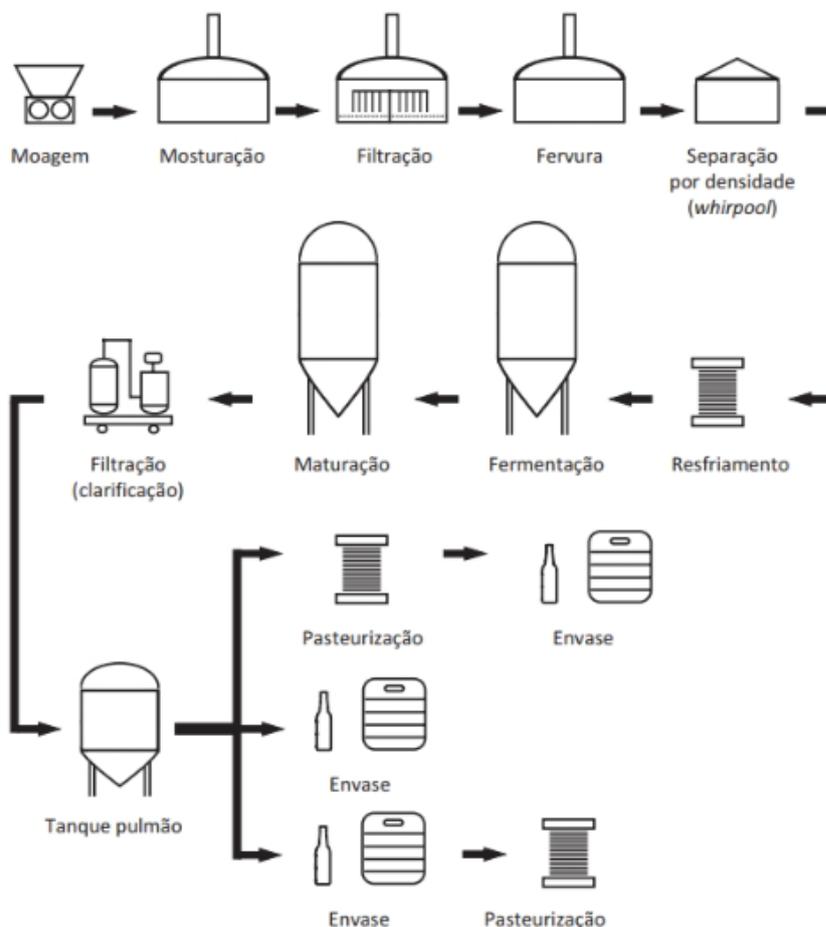
25°C. No término da fermentação as leveduras são adsorvidas por bolhas de CO₂ e carregadas até o topo do fermentador, onde são recolhidas (OLANIRAN et al., 2017).

Apesar de todas as descobertas à par das leveduras, as espécies de *Saccharomyces* continuam sendo as mais usadas. Isto porque elas têm uma ótima capacidade de fermentar açúcar e são altamente tolerantes ao estresse osmótico ocasionado pela grande quantidade de açúcar no início da fermentação, baixo pH do meio e elevada concentração de álcool no estágio final da fermentação (ELIODÓRIO et al., 2019).

3.6.2 Etapas de Produção

O processo de fabricação de cerveja envolve diversas etapas, e cada uma desempenha um importante papel no resultado final. Na Figura 3 pode-se observar as mesmas e a ordem em que são executadas.

Figura 3 - Representação das etapas de fabricação da cerveja.



Fonte: MORAES (2021).

3.6.2.1 Moagem do malte

A moagem do malte e, se for o caso, demais cereais, é a primeira etapa e, consiste na separação da casca e do endosperma do grão, permitindo seu melhor contato com a água. Pode ser úmida (moinho de rolos) ou a seco (moinho de rolos ou martelos). A principal vantagem de realizar uma moagem úmida ou com condicionamento prévio é a conservação da integridade das cascas, uma vez que elas atuam como meio filtrante do mosto após a mostura (NETO et al., 2022; VENTURINI FILHO, 2016).

A granulometria correta de moagem dos grãos facilita a sacarificação do amido e a posterior fermentação, e a mínima deterioração das cascas evita a extração excessiva de taninos que poderiam prejudicar o sabor da cerveja e por aumentar a porosidade da camada filtrante impedem a sua compactação, o que aumentaria o tempo de filtração devido à grande quantidade de partículas em suspensão (ASSUNÇÃO, 2018).

3.6.2.2 Mostura

Na mostura, o malte moído, adjuntos (se houver) e água são misturados e submetidos a um aquecimento gradual de 40 a 78 °C, permitindo a hidratação do grão e a ativação das enzimas (α -amilase e β -amilase) que converterão o amido do cereal em açúcares fermentáveis e solúveis em água, para posterior utilização como fonte de energia pelas leveduras (ELIODÓRIO et al., 2019). Na mostura o aquecimento é gradativo, pois cada enzima atua em uma faixa de temperatura e pH diferente, e geralmente o máximo atingido é 72°C para que elas não sejam desnaturadas. A faixa de pH adequada nessa fase é entre 5,2 e 5,6 (ROSA; AFONSO, 2015).

3.6.2.3 Filtragem

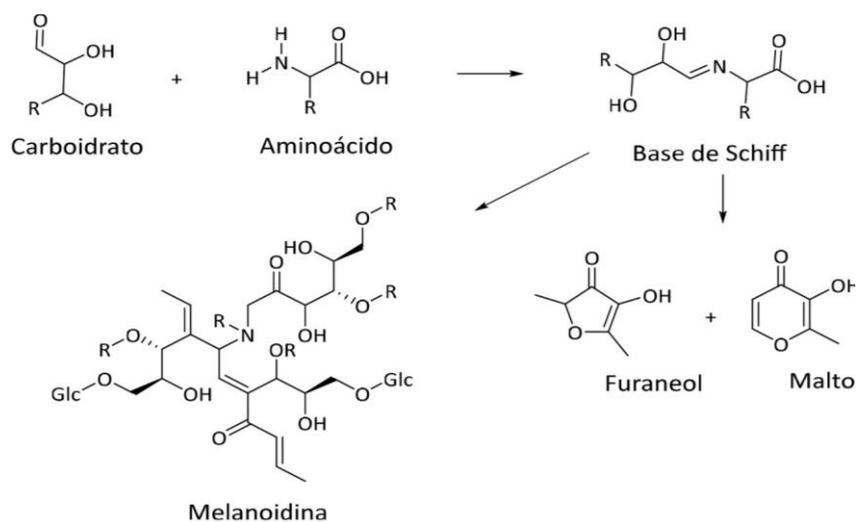
Após o término da mostura, ocorre a separação do mosto (líquido com os compostos solubilizados do malte) e do bagaço (materiais sólidos), visando retirar o máximo possível de sólidos sedimentáveis. A clarificação é feita através da própria casca do malte, que age como meio filtrante, e o processo pode ocorrer em uma tina

filtro ou filtro prensa. No final é necessário lavar a torta com água aquecida e adicionar ao restante do mosto, para extrair resíduos dos açúcares fermentáveis que ainda podem ser encontrados, e dessa maneira otimizar o rendimento do processo (COSTA, 2019).

3.6.2.4 Fervura

Depois da mostura, o líquido filtrado é chamado mosto e passa para a etapa de fervura, que dura entre 1 e 2 horas. Nesta etapa será realizada a adição do lúpulo. A elevação na temperatura resulta na contração do anel dos α -ácidos, resultando na formação de isômeros *cis* e *trans*, transformando-os em iso- α -ácidos, responsáveis pelo amargor da bebida. Na fervura também ocorrem reações de *Maillard*, na qual aminoácidos e carboidratos presentes no mosto reagem formando melanoidinas (cor amarelo âmbar), maltol (sabor de caramelo ou tostado) e furaneol (sabor de morango), conforme a Figura 4. Além disso, a fervura tem por objetivo desnaturar as proteínas e precipitá-las, evaporar excesso de água, esterilizar o mosto e inativar enzimas, a fim de evitar oxidações do mosto (NETO et al., 2022; PINHEIRO, 2019).

Figura 4 - Mecanismo da reação de Maillard resultando na formação de melanoidinas, furaneol e maltol.



Fonte: NETO et al. (2022).

O lúpulo é adicionado em dois momentos distintos da fervura. No início do processo adiciona-se o chamado lúpulo de amargor, para que através do aquecimento ocorra a isomerização dos α -ácidos em iso- α -ácidos e para que sejam volatilizados compostos indesejáveis. Quanto maior o tempo de ebulição, maior a conversão desses compostos, além disso, a adição na forma de *pellets* torna o processo mais rápido (BARREIRO, 2016).

Já o lúpulo aromático é adicionado nos últimos minutos de fervura (5-20 minutos), pois os aromas são provenientes da fração de óleo essencial, encontrados na lupulina, altamente sensíveis ao calor da fervura, podendo ser volatilizados se adicionados prematuramente. Uma adição também pode ocorrer no *whirlpool* para proporcionar aroma intenso de lúpulo. O tempo de adição deve ser muito bem considerado dependendo do perfil sensorial (amadeirado, floral, frutado, picante, tropical, entre outros) que se busca na cerveja, assim como a variedade do lúpulo (HOLBROOK, 2020).

Após a fervura, o mosto passa por um processo denominado *whirlpool* para fazer a separação do *trub* (proteína precipitada, resinas, taninos) através de decantação por ação de forças centrípetas. Este procedimento evita que os sólidos fiquem em suspensão e turvem a cerveja posteriormente ou causem sabor adstringente e amargo, além de serem inibidores da fermentação (MARCONDES, 2016).

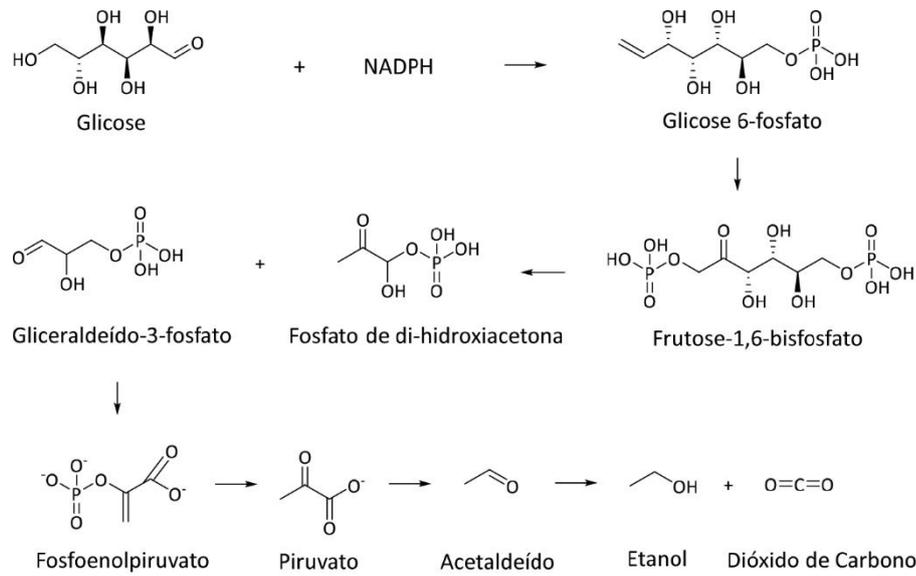
3.6.2.5 Fermentação

Na fermentação, ocorre a transformação do mosto em “cerveja verde” através da ação das leveduras, que consomem os açúcares produzidos na mostura, provenientes das reservas de amido do malte. Nesse processo a glicose é oxidada formando piruvato que por sua vez sofre descarboxilação, na forma de CO₂, devido a ação da enzima piruvato descarboxilase. A presença da coenzima tiamina pirofosfato nesse sistema resulta na formação de acetaldeído, o qual sofre redução produzindo etanol, impactando no teor alcoólico final da bebida, conforme mostrado na Figura 5 (NETO et al., 2022; BOULTON, 2020).

Quando inoculadas as leveduras passam pela fase de adaptação (*lag*), onde o oxigênio dissolvido no mosto favorece o crescimento celular, sendo compreendido como processo de respiração. Ao esgotar a reserva de oxigênio, inicia-se a atuação

em anaerobiose, com o crescimento exponencial (fase *log*) das leveduras, e da via bioquímica de fermentação alcoólica. A taxa de fermentação depende muito da temperatura, que em cervejas *lager* costuma estar entre 8-15°C e para cervejas *ale* entre 18-22°C, e o processo normalmente ocorre em uma semana (BOULTON, 2020; MORAES 2021).

Figura 5 - Mecanismo de conversão da glicose em etanol e dióxido de carbono pela ação das leveduras.



Fonte: NETO et al. (2022).

A levedura diminuirá o pH do mosto muito mais rápido no início da fermentação do que no final, pois é um processo que demanda energia. O pH final depende muito do estilo da cerveja, normalmente para o tipo *lager* a faixa fica entre 4,25 e 4,6; já as do tipo *ale* compreendem uma extensão de valores maior. Um pH final mais baixo auxilia para uma maturação mais rápida e melhora estabilidade e sabor. No entanto deve-se atentar a um decréscimo muito acentuado pois pode indicar que contaminantes bacterianos estejam produzindo o ácido (RUSSELL, 2016).

3.6.2.6 Maturação

A maturação também conhecida como “fermentação secundária” procede a fermentação, consistindo na remoção das leveduras mortas e permitindo que as leveduras que ainda estão ativas no líquido catalisem a conversão de substâncias

indesejadas em outras com sabores neutros, em adicional, a contínua produção de CO₂ auxilia na eliminação de compostos voláteis indesejáveis. Normalmente ela ocorre em temperaturas próximas à 0°C. Em geral, a maturação costuma transcorrer num período de uma a duas semanas, e dependendo do tipo de cerveja produzida pode alcançar algumas semanas. Terminada a maturação a bebida poder ser submetida à filtração, objetivando a remoção de sólidos (ZARNKOW, 2014).

3.6.2.7 Clarificação e Carbonatação

Após a maturação se faz necessário clarificar a cerveja para deixá-la mais límpida e brilhante, pois as baixas temperaturas aplicadas e o baixo pH final favorecem a suspensão de partículas coloidais, sólidos insolúveis e das leveduras remanescentes. Este processo pode ser feito através de sedimentação por gravidade, utilizando temperaturas próximas a 0°C por períodos estendidos; aplicando agentes clarificantes com carga positiva, que interagem com as partículas em suspensão; por meio de centrífugas decantadoras ou clarificantes, onde a força centrípeta arrasta as partículas para as extremidades e são removidas; ou ainda através de filtração em duas ou mais etapas (BAMFORTH, 2017).

A seguir, a cerveja pode ser carbonatada, já que somente o dióxido de carbono (CO₂) produzido pelas leveduras não é suficiente para gerar efervescência e sensação de acidez esperados para cada estilo de cerveja. A carbonatação pode ser de maneira artificial por injeção ou natural por refermentação. Na indústria, a carbonatação pode ser feita em linha, injetando CO₂ através de uma placa porosa no momento de passagem da cerveja para os tanques de armazenamento; ou carbonatação em tanque, onde o CO₂ é injetado por meio de difusores porosos que ficam no fundo do tanque e produzem pequenas bolhas. Após todo o processo produtivo, a bebida pode ser caracterizada quanto a cor (medido em EBC, do inglês *European Brewery Convention*), amargor (medido em IBU, do inglês *International Bitterness Units*), teor alcoólico (medido em %v/v), densidade (medido em g·mL⁻¹), acidez total (medido em meq·L⁻¹) e pH, refletindo a contribuição das etapas descritas anteriormente nas propriedades da cerveja (NETO et al., 2022; BENEDICT, 2016).

3.6.2.8 Envase e Pasteurização

O envase pode ser feito em garrafas de vidro, latas de alumínio ou aço inoxidável, barris de alumínio, aço inoxidável ou madeira, todos previamente higienizados. A pasteurização pode se dar de dois modos: antes ou depois do envase. A pasteurização *flash* acontece antes do envase em um trocador de placas, a 72°C por 30 a 60 segundos. Esse método geralmente é empregado quando o envase é em barris, e no caso de garrafas elas devem ser previamente esterilizadas. Já a pasteurização em túnel acontece após o envase em garrafas ou latas e garante uma vida de prateleira maior. As embalagens são transportadas em um túnel com aspersores de água em temperatura crescente. Quando a cerveja atinge 60°C, é mantida nessa temperatura por 20 minutos e em seguida inicia o processo de resfriamento com aspersores de água fria (VENTURINI FILHO, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos descritos a seguir foram desenvolvidos na Usina Piloto de Bebidas, e no Laboratório de Fenômenos de Transporte/ Operações Unitárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *Campus Erechim*.

4.1 PREPARO DOS MALTES DE ARROZ E QUINOA

4.1.1 Teste de Germinação dos Grãos de Arroz

Os grãos de arroz necessários para a produção do malte de arroz foram doados pelos produtores rurais Clarinha Sfredo e Dirceu Domingos Sfredo, e por estarem armazenados desde março de 2021, foi realizado um teste de germinação com os mesmos a fim de averiguar se possuem energia germinativa suficiente para o processo de maltagem. Para tanto, tomou-se como base as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

Figura 6 - Amostra bruta.



Fonte: A autora (2021).

Para a redução da amostra bruta (Figura 6) foi realizado seu quarteamento manual até chegar em uma quantidade menor (Figura 7), para retirada da amostra a ser utilizada. O quarteamento consiste em dividir em quatro partes um montante homogêneo, como demonstra a Figura 8, retirar duas extremidades opostas (B e C por exemplo) e juntar as duas restantes, misturar e repetir sucessivamente o processo até chegar na quantidade desejada.

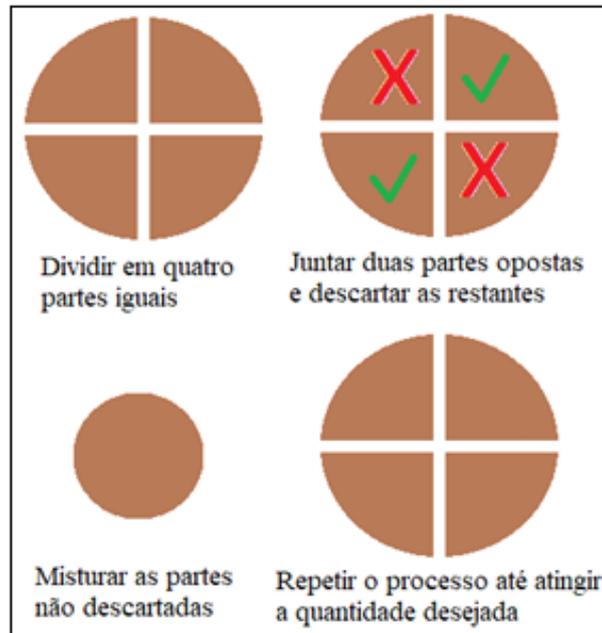
Figura 7 - Amostra após quarteamento.



Fonte: A autora (2021).

Da quantidade final do quarteamento, uma amostra aleatória de 500 sementes foi recolhida e separada em duas para realizar a análise de germinação em duplicata. O substrato (sobre papel – SP) foi umedecido com uma quantidade de água de aproximadamente três vezes a massa do papel seco.

Figura 8 - Processo de quartearmento de amostras.



Fonte: REZENDE; SANTANA (2018).

As sementes foram dispostas no substrato de quatro camadas de papel toalha umedecido dentro de uma caixa plástica (Figura 9), com um espaçamento uniforme de cerca de um cm entre elas para que não houvesse competição e fosse possível visualizar o crescimento das plântulas. O recipiente foi fechado para não perder a umidade e mantido a temperatura ambiente (cerca de 25°C). A contagem final da germinação aconteceu quando a radícula atingiu o mesmo tamanho das sementes (Figura 10).

Figura 9 - Sementes prontas para germinação.



Fonte: A autora (2021).

Figura 10 - Sementes após germinação.



Fonte: A autora (2021).

4.1.2 Teste de Germinação das Sementes de Quinoa

As sementes de quinoa também passaram por teste de germinação (Figura 11), pois foram adquiridas comercialmente e há necessidade de avaliar se as mesmas estavam aptas a serem maltadas. O procedimento foi semelhante ao teste com os grãos de arroz descrito anteriormente. As sementes foram dispostas em uma caixa plástica sobre quatro folhas de papel toalha umedecidas com uma proporção de água de 2,5 vezes a massa do papel seco. O recipiente foi fechado e mantido em temperatura ambiente (25°C) até a contagem final (SOUZA, 2016).

Figura 11 - Sementes germinadas de quinoa.

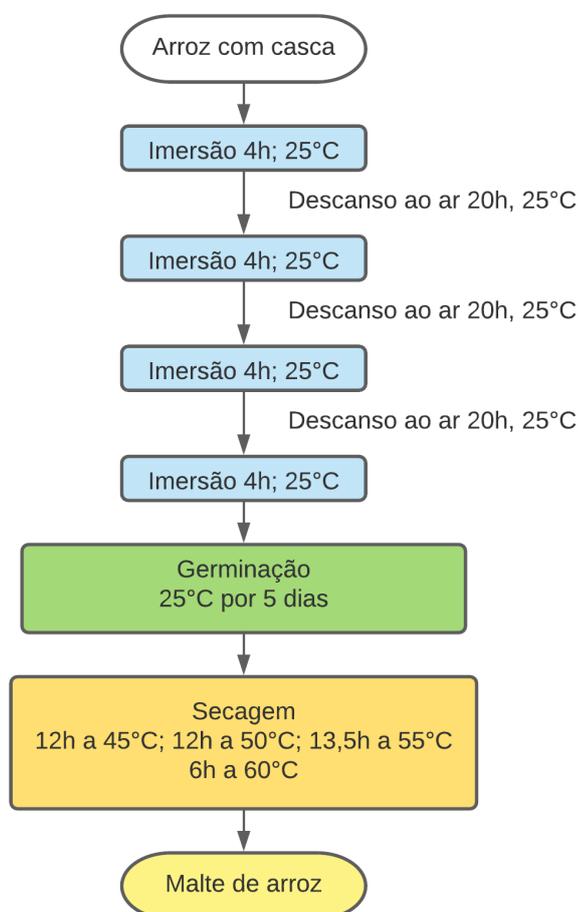


Fonte: A autora (2021).

4.1.3 Maltagem do Arroz

O processo de maltagem dos grãos em geral utiliza uma sequência de etapas, como pode-se observar na Figura 12, em um estudo de Ceccaroni et al. (2019b). O primeiro passo é a molha, onde o período de imersão do grão é alternado com períodos de descanso. Além do encharcamento do endosperma e fornecimento de oxigênio, esse processo auxilia na limpeza superficial dos grãos (PEREIRA, 2016). No entanto a metodologia necessitou ser adaptada para atender as condições de trabalho do laboratório e os utensílios disponíveis. Para isso foram utilizados três kg de sementes de arroz, que foram divididos em três recipientes e imersos em água, na proporção de duas vezes o peso dos grãos, como mostra a (Figura 13), onde permaneceram por dois dias. Não foram feitos os períodos a seco como nos métodos tradicionais, onde os grãos são acondicionados em cestos nas tinas de molha.

Figura 12- Processo de maltagem do arroz.



Fonte: Adaptado de CECCARONI et al. (2019b).

Figura 13 - Processo de molha do arroz.



Fonte: A autora (2021).

Ao final da molha, a água foi drenada e as sementes transferidas para uma quantidade maior de recipientes (Figura 14) para que ficassem mais bem distribuídas. Diariamente elas foram umedecidas com água para garantir a umidade necessária à germinação, já que ficaram expostas a temperatura e umidade ambiente. Esse processo teve duração de cinco dias, tempo suficiente para que o crescimento das radículas atingisse o mesmo tamanho do grão.

Figura 14 - Processo de germinação do arroz.



Fonte: A autora (2021).

Figura 15 - Malte de arroz pronto.



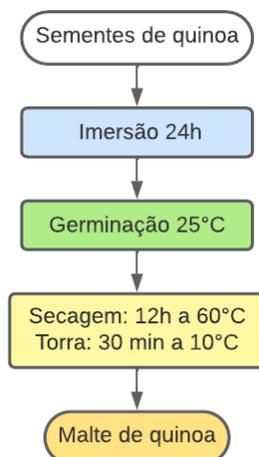
Fonte: A autora (2021).

Para interromper a germinação, o malte de arroz foi disposto em bandejas e submetido a secagem em estufa com circulação forçada de ar (Marca Lucadema) a 60°C até atingir umidade de 13%. Após, aumentou-se a temperatura para 100 °C com o propósito de torrar o malte de arroz, chegando a umidade final de aproximadamente 5%. O malte de arroz torrado (Figura 15) foi acondicionado em embalagens plásticas sob refrigeração para garantir sua conservação durante o período de uso.

4.1.4 Maltagem da Quinoa

O processo de maltagem da quinoa foi baseado no trabalho de Carciochi, Dimitrov e D´alessandro (2016), com algumas adaptações. Para tanto, foi utilizado 600 g de sementes de quinoa dourada, que passou pelas etapas demonstradas na Figura 16. A etapa de molha, em que as sementes ficam imersas em água teve duração de 24 horas (Figura 17). Após a hidratação a água foi retirada e as sementes distribuídas em um número maior de vasilhas para germinação em condições de temperatura e umidade ambiente.

Figura 16 - Processo de maltagem da quinoa.



Fonte: A autora (2021).

Figura 17 - Processo de molha da quinoa.



Fonte: A autora (2022).

A germinação (Figura 18) teve duração de dois dias, e depois disso o malte de quinoa foi transferido para bandejas a fim de ser levado a estufa. A secagem ocorreu a 60°C em estufa com circulação forçada de ar (Marca Lucadema), por 12 horas, em seguida a temperatura foi elevada para 100°C por 30 minutos para fazer a torrefação do malte de quinoa, com umidade final de 5%. Depois de pronto (Figura 19) ele foi armazenado em embalagens plásticas sob refrigeração.

Figura 18 - Processo de germinação da quinoa.



Fonte: A autora (2022).

Figura 19 - Malte de quinoa pronto.



Fonte: A autora (2022).

4.1.5 Análise de Umidade

A análise de umidade do arroz e da quinoa foi realizada em triplicata nos grãos secos, antes da etapa de hidratação; nas sementes, após a germinação; durante a secagem e após a torra. As amostras de arroz e quinoa foram dispostas em pratos de alumínio na balança determinadora de umidade (Modelo ID50 - Marte). Ao final do processo de secagem leu-se os valores de massa restante e teor de umidade.

4.2 FABRICAÇÃO DA CERVEJA

Para a elaboração da cerveja sem glúten decidiu-se produzir um estilo de cerveja indicado no *Beer Judge Certification Program* (STRONG; ENGLAND, 2015), que é o guia internacional para definição e padronização dos diversos estilos de cerveja comercializados no mundo todo. O estilo escolhido foi o definido como *Belgian Pale Ale*, contudo, a cerveja a ser fabricada não pode conter os maltes indicados no guia (malte *Pilsner* ou malte *pale ale* e os maltes Vienna e Munich caramelizados, que conferem cor âmbar à cerveja), uma vez que eles contêm glúten, por serem oriundos da cevada maltada.

Assim, foram utilizados os maltes de arroz e de quinoa torrados, produzidos anteriormente, e malte de arroz e flocos de milho adquiridos comercialmente. Além dos maltes descritos, utilizou-se açúcar mascavo, lúpulo Saaz em *pellet* (teor de alfa-ácidos de 4,3%; beta-ácidos de 4,5 a 8%; co-humulona de 23 a 26% dos alfa-ácidos; óleos totais entre 0,4 a 1 mL/100 g, com predominância do mirceno (25 a 40% dos óleos totais) e humuleno (15 a 25% dos óleos totais), fermento cervejeiro *ale* (*Sacharomyces SafAle S-33*, Fermentis) liofilizado e água mineral (pH 7 a 25°C, composição química com 42,54 mg/L de cálcio, 5,03 mg/L de cloreto, 2,15 mg/L de sulfato e 14,19 mg/1L de sódio), nas proporções indicadas na Tabela 3.

A formulação foi feita com auxílio do programa BeerSmith®, sendo os valores da segunda coluna da Tabela 3, a receita original, elaborada para uma batelada em escala piloto, e os valores da terceira coluna são referentes a 2% da receita, utilizados para os experimentos descritos a seguir, em escala laboratorial.

Os experimentos foram realizados em triplicata, com diferentes adições de enzima como mostra a Tabela 4. As enzimas utilizadas foram a alfa-amilase (Endozym Alphamil SB1 Alfa-amilase – AEB) e a amiloglicosidase (Prodooze AMG), na quantidade de 0,028 mL e 0,11 mL respectivamente, conforme instruções do fabricante.

Tabela 3 - Matérias-primas utilizadas na cerveja sem glúten.

Ingrediente	Quantidade	2% da receita
Água inicial	20 L	370 mL
Água de lavagem	8,46 L	170 mL
Malte de arroz comercial	2 kg	40 g
Flocos de milho	1 kg	20 g
Malte de arroz torrado	1,1 kg	22 g
Malte de quinoa torrado	0,5 kg	10 g
Açúcar mascavo	0,3 kg	6 g
Lúpulo (60 min)	37,7 g	0,764 g
Lúpulo (0 min)	10 g	0,2 g
Fermento	11 g	0,22 g

Fonte: A autora (2022).

As alfa-amilases (α -1,4-glucano-4-glucanohidrolase, EC 3.2.1.1) são enzimas hidrolíticas, que clivam aleatoriamente ligações α -1-4-glicosídicas internas de polissacarídeos, como amido e glicogênio, e hidrolisam esta ligação para produzir mono ou oligossacarídeos α -anoméricos, como glicose e/ou maltose (PRAKASH; JAISWAL, 2010; LACERDA et al., 2018). As glucoamilases (amiloglucosidases) são exo-amilases que podem atuar tanto nas ligações glicosídicas α -1,4 quanto nas α -1,6 das extremidades não redutoras da cadeia de amido. A utilização de uma mistura de alfa-amilases e amiloglucosidases, com tempos de reação variando de 12 a 30h, mostrou aumento da eficiência da hidrólise do amido de mandioca, milho, feijão mungo, batata-doce e sagu, devido a uma ação sinérgica de enzimas (LACERDA et al., 2018).

Nesse sentido, optou-se por utilizar um planejamento experimental cuja variável a ser estudada foi o tipo de enzima utilizada na fabricação da cerveja sem glúten. No Experimento 1 (A, B, C) foram utilizadas as duas enzimas: alfa-amilase na fervura (temperatura atinge mais de 95°C, temperatura ótima da alfa-amilase adquirida, conforme instruções do fabricante) e amiloglucosidase, na fermentação (temperatura ótima dessa enzima, segundo o fabricante é 63 °C). No segundo experimento, utilizou-se apenas a enzima alfa-amilase na fervura. Assim, foi possível identificar se há

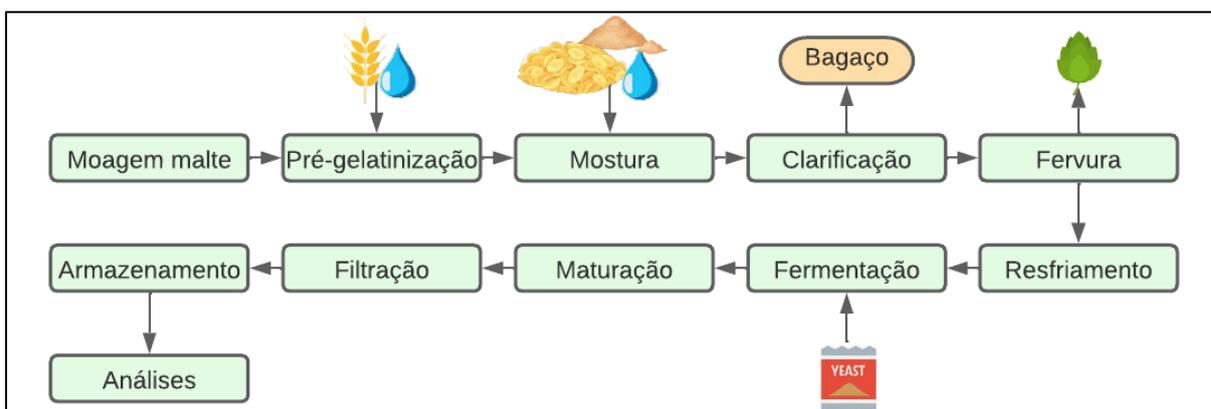
diferença significativa nos parâmetros de viscosidade e teor alcoólico da cerveja sem glúten, alterando-se as enzimas adicionadas, seguindo o fluxograma da Figura 21.

Tabela 4 - Planejamento experimental para adição de enzima.

Experimento	Fervura	Fermentação
1 A	Alfa-amilase	Amiloglucosidase
1 B	Alfa-amilase	Amiloglucosidase
1 C	Alfa-amilase	Amiloglucosidase
2 A	Alfa-amilase	Sem enzima
2 B	Alfa-amilase	Sem enzima
2 C	Alfa-amilase	Sem enzima

Fonte: A autora (2023).

Figura 20 - Fluxograma de produção da cerveja sem glúten.



Fonte: A autora (2023).

4.2.1 Moagem

Primeiramente foram pesados todos os maltes em balança semi-analítica (AD500 x 0,001g, marca Marte). Em seguida moeu-se, em moinho de discos (Figura 21(a)) o malte de arroz torrado e o malte de quinoa, com uma moagem mais grossa para preservar ao máximo as cascas do arroz a fim de servirem como camada filtrante após a mostura. Ambos foram misturados (Figura 21(b)) com o malte de arroz adquirido comercialmente, que já veio previamente moído.

Figura 21 - Moinho de discos (a) e maltes moídos (b).



(a)



(b)

Fonte: A autora (2023).

4.2.2 Pré-gelatinização

O malte de arroz é caracterizado por apresentar baixo poder diastático, alto teor de cascas e temperatura de gelatinização elevada (INDUPROPIL, 2023). A temperatura de gelatinização do amido de arroz se encontra entre 65-85°C, e mesmo com essa ampla faixa ainda é maior do que a temperatura de gelatinização da cevada (64-67°C), conseqüentemente é preciso passar por uma etapa de pré-gelatinização, para garantir a adequada conversão do amido e otimizar o processo de mostura, assim não se faz necessário utilizar temperaturas muito altas na sacarificação, o que desnaturaria rapidamente as enzimas (MARCONI et al., 2017).

Para tanto, foram adicionados o malte de quinoa e os maltes simples e torrado de arroz, junto a 250 mL de água aquecida em um béquer de 1 litro. A mistura foi mantida em banho-maria, com circulação, marca Solab, modelo SL -154/10, a 70°C durante 30 minutos.

4.2.3 Mostura

Após o período de pré-gelatinização, foram acrescentados ao mosto os flocos de milho, o açúcar mascavo e os 370 mL da água de mostura aquecida. Todos os ingredientes foram homogeneizados (Figura 22) e a mistura teve seu pH corrigido com

adição de ácido láctico 85% até atingir um valor em torno de 4,6. Ao atingir 63°C foi adicionado 0,11 mL da enzima amiloglucosidase Prodooze AMG. As condições mencionadas acima são indicadas pelo fabricante como ótimas para a enzima utilizada. O tempo total de mostura foi de uma hora e meia, sendo que na primeira hora, °Brix e teste de iodo foram medidos a cada 20 minutos, e nos últimos 30 minutos, as medidas foram retiradas a cada 15 minutos.

O teste de iodo é muito utilizado qualitativamente para determinar a completa sacarificação do amido. Consiste em uma reação de complexação entre as cadeias de amilose e amilopectina com o iodo, formando a coloração preto-azulado. O desaparecimento da coloração azul e surgimento do avermelhado indica o fim do processo (FARINI, 2016).

Figura 22 - Mostura em banho-maria.



Fonte: A autora (2023).

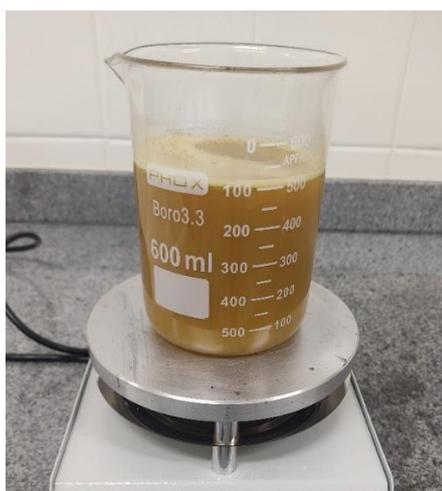
4.2.4 Clarificação

Após a mostura foi realizada a filtragem para um béquer de 600 mL, para separar as cascas e materiais sólidos do restante do mosto que será fervido. Essa etapa foi feita com auxílio de um saco *hop bag* de 30 cm, que possui uma trama fina, auxiliando na retenção de resíduos que passariam facilmente por uma peneira. Por cima do bagaço ainda foi despejado 50 mL de água de lavagem aquecida para extrair os açúcares restantes, quantidade menor do que a estabelecida na formulação pois o °Brix estava abaixo do desejado. Após a lavagem o °Brix foi medido novamente.

4.2.3 Fervura

O mosto foi fervido (Figura 23a) em chapa de aquecimento (Agitador magnético com aquecimento, marca Solab, modelo SL-91) por 60 minutos, a fim de esterilizá-lo e ocorrer a conversão dos α -ácidos do lúpulo. No início da fervura foram adicionados 0,764 g de lúpulo Saaz para conferir amargor, e 0,028 mL da enzima Endozym Alphamil SB1 Alfa-amilase – AEB. Ao fim da fervura adicionou-se os 0,20 g restantes de lúpulo para conferir aromas. Ao fim desse processo, o mosto foi resfriado em banho de gelo (Figura 23b) até 17°C para inoculação da levedura *Sacharomyces SafAle S-33*. Antes da adição do fermento cervejeiro, determinou-se o pH e o °Brix do mosto levado à fermentação.

Figura 23 - Fervura do mosto (a) e resfriamento do mosto (b).



(a)



(b)

Fonte: A autora (2023).

4.2.4 Fermentação e Maturação

O mosto resfriado foi então transferido para um erlenmeyer de vidro de 500 mL (Figura 24), onde se adicionou 0,22 g da levedura previamente hidratada. Nesse momento também foi acrescentado 0,025 mL da enzima amiloglicosidase Prodooze AMG na formulação com enzima na fermentação.

Figura 24 – Fermentação.



Fonte: A autora (2023).

A fermentação foi conduzida a 17°C em incubadora BOD (marca Lucadema, modelo 161/01) durante sete dias, em um sistema com rolha de borracha e mangueira de silicone, que conduziu o gás carbônico produzido na fermentação até uma solução de ácido peracético para evitar acesso de contaminação. Análises de °Brix e pH foram feitas ao fim da fermentação.

Após a fermentação, o erlenmeyer foi mantido fechado (Figura 25) e a temperatura foi diminuída para 0°C, onde permaneceu por mais sete dias, a fim de ocorrer a maturação e a decantação de substâncias em suspensão. Pós maturação, a parte líquida foi separada da borra no fundo e acondicionada em frasco de vidro graduado com tampa de rosca sob refrigeração.

Figura 25 – Maturação.



Fonte: A autora (2023).

4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Foi possível realizar as análises na fermentação somente no primeiro e último dia, devido à quantidade produzida ser muito pequena, e o recipiente não possuir abertura adequada para retirada de amostra durante o processo, logo estaria sujeito a contaminação se fosse demasiadamente manipulado.

4.3.1 Análise de pH

A análise do pH foi feita na água mineral utilizada, no mosto em processamento, no mosto fervido antes de iniciar a fermentação, e finalmente, após a fermentação. Utilizou-se um peagômetro de bancada digital marca TECNOPON, modelo mPA-210, previamente calibrado para realizar as medições, retirando-se amostras de 25 mL, a 20°C.

4.3.2 Análise de °Brix

Para avaliar o teor de sólidos solúveis, utilizou-se um refratômetro portátil, marca INSTRUTHERM, modelo RT-280. Foi feita avaliação durante a mostura, pingando duas gotas de mosto frio sobre o prisma e procedendo a leitura, para acompanhar a sacarificação do amido. Também foi determinado o °Brix antes e após a fermentação, a fim de avaliar se os açúcares foram consumidos pelas leveduras.

4.3.3 Análise de Viscosidade

A determinação da viscosidade foi realizada em viscosímetro de copo Ford a 20°C, utilizando orifício nº 2, em quintuplicata. A amostra foi homogeneizada, sem bolhas e espuma. Fechando o orifício inferior com o dedo, o copo foi preenchido com a amostra até o topo. Ao retirar o dedo do orifício acionou-se o cronômetro até a primeira interrupção do fluxo de escoamento. O valor em segundos é utilizado na equação da curva de conversão entre o tempo de esvaziamento total do copo Ford e a viscosidade cinemática do fluido, do próprio fabricante:

$$v = A. \Delta t + B$$

Onde:

v = viscosidade cinemática (mm²/s)

Δt = tempo de escoamento (s)

$A = 1,44$

$B = -25,92$

A partir da viscosidade cinemática, calculou-se a viscosidade dinâmica:

$$\mu = \nu \cdot \rho$$

Onde:

μ = viscosidade dinâmica (kg/m.s)

ν = viscosidade cinemática (m²/s)

ρ = densidade do fluido (kg/m³)

4.3.4 Teor Alcólico

A determinação do teor alcólico foi feita seguindo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), a partir da densidade relativa, a 20°C, com picnômetro, em triplicata. Para tanto, coletou-se 100 mL de amostra descarbonatada (amostra foi agitada em béquer com peixinho magnético, por aproximadamente 20 min, em rotação máxima), a 20°C, em um balão volumétrico. Os 100 mL da amostra foram transferidos para um balão de fundo redondo de 500 mL, junto a 5 pérolas de vidro. O balão volumétrico foi lavando quatro vezes com água destilada e a água de lavagem foi adicionada ao balão de fundo redondo para iniciar a destilação.

Figura 26 - Conjunto de destilação.



Fonte: A autora (2023).

Sobre uma manta de aquecimento colocou-se o balão de 500 mL, conectado a uma coluna Vigreux de 40 cm e a um condensador Liebig, onde ocorreu a destilação lenta, recolhendo-se o destilado até atingir $\frac{3}{4}$ do balão volumétrico de 100 mL, contendo previamente 10 mL de água destilada. Nesse ponto, ajustou-se a temperatura para 20°C adicionando-se água destilada até completar o volume, e determinou-se a densidade relativa do destilado pela técnica de picnometria. A partir disso, leu-se a porcentagem de álcool em volume em função da densidade na tabela do livro Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos, do Instituto Adolfo Lutz.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise dos dados obtidos foi feita utilizando o programa Microsoft Excel[®], para tabelar e verificar se havia diferença significativa entre as produções. A análise estatística dos resultados foi realizada no software Excel[®] utilizando-se como resposta a viscosidade da cerveja sem glúten e os teores alcóolicos para os dois tratamentos enzimáticos. As hipóteses testadas referem-se à:

- H₀: os valores de viscosidade e teor alcóolico, para as diferentes condições experimentais são iguais, pois não diferem significativamente entre si, em nível de 95% de confiança.

- H₁: os valores de viscosidade e teor alcóolico, para as condições experimentais estudadas, são diferentes, em nível de 95% de confiança.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos cálculos e tratamento estatístico feitos, chegou-se aos resultados médios apresentados na Tabela 5 para os parâmetros físico-químicos °Brix e pH das amostras 1 (com enzima amiloglucosidase na fermentação) e 2 (sem enzima amiloglucosidase na fermentação).

Tabela 5 - Resultados médios para °Brix e pH das amostras 1 e 2.

Amostra	Brix inicial	Brix final	pH inicial	pH final
1	8,5±0,5	2,0±0,0	5,00±0,08	4,06±0,06
2	8,0±0,0	3,0±0,0	5,04±0,04	4,05±0,04

Fonte: A autora (2023).

O °Brix mede a quantidade de sólidos solúveis (açúcar) dissolvidos em uma solução. Ao avaliar o °Brix, as médias iniciais foram próximas, com $8,5\pm 0,5$ para a amostra 1 e $8\pm 0,0$ para a amostra 2. Segundo o planejamento feito com o programa BeerSmith®, o °Brix inicial desejado era de $11,5^\circ$, valor superior ao encontrado nas duas amostras estudadas. Supõe-se que tal fato tenha ocorrido devido à dificuldade da hidrólise do amido na etapa da mostura. No presente estudo utilizou-se malte de quinoa e um malte de arroz que eram torrados, o que elimina sua atividade enzimática devido à temperatura alta de torra, podendo ser insuficiente para hidrolisar todo o conteúdo amiláceo de forma adequada.

Tal fato, também pôde ser evidenciado na realização do teste de iodo durante a mostura, como mostra a Figura 27. Nessa análise o objetivo é identificar a presença de amido, já que sua interação com o iodo forma um complexo de coloração azul intensa. Do contrário, se o amido foi hidrolisado, obtém-se uma coloração avermelhada. Todas as amostras produzidas apresentaram o mesmo comportamento.

Figura 27 - Teste de iodo realizado na segunda triplicata da amostra 2.



Fonte: A autora (2023).

Observa-se que em todos os tempos de retirada de amostra não houve mudança na coloração do teste, ou seja, apesar da adição de enzima exógena, ainda havia uma grande quantidade de açúcares não fermentescíveis no mosto, o que deixou o °Brix com um valor menor do que o esperado.

Os valores iniciais de °Brix diminuíram ao longo do experimento, uma vez que com a evolução da fermentação a levedura consome açúcar, chegando a $2,0\pm 0,0$ na amostra 1 e $3,0\pm 0,0$ na amostra 2. Percebe-se que a amostra 2 obteve um valor maior que a amostra 1, indicando que a levedura não teve o mesmo desempenho fermentativo, ou seja, os açúcares fermentescíveis não estavam disponíveis em

quantidade suficiente para a conversão da levedura, sugerindo que a presença da enzima amiloglucosidase na fermentação tenha auxiliado na disponibilização de mais açúcares.

Durante a fermentação, vários outros compostos além do etanol e dióxido de carbono são formados por vias secundárias, entre eles, ácidos orgânicos como ácido cítrico, acético, pirúvico, cáprico, butírico. A formação desses ácidos contribui para a diminuição do pH que ocorre durante a fermentação, em diferentes níveis, dependendo da cepa de levedura utilizada, condições de incubação aplicadas, substrato disponível. Valores de pH inferiores a 4 podem indicar uma contaminação bacteriana, resultando em uma produção excessiva de ácidos (CONCEIÇÃO et al., 2020).

O pH dos mostos estudados reduziu no período de fermentação. No momento da inoculação a amostra 1 apresentou pH médio de $5,00 \pm 0,08$, e diminuiu para $4,06 \pm 0,06$ ao fim dos sete dias. Na amostra 2 obteve-se um pH inicial médio de $5,04 \pm 0,04$, que baixou para $4,05 \pm 0,04$ ao fim da fermentação. Ambas amostras atingiram valores finais na casa de 4, o que é adequado para uma fermentação alcoólica, indicando também que a formação dos ácidos orgânicos foi satisfatória e de acordo com o esperado para o processo.

Ao produzir uma cerveja belga *Pale Ale* utilizando malte de cevada como substrato, Sarabia et al. (2023) encontraram pH de 4,23 e teor alcoólico de 5,2 % v/v. Já Américo (2017), que trabalhou com uma cerveja de malte de arroz, obteve um pH final de 4,24 e teor alcoólico de 1,42 % v/v. Nota-se que quanto ao teor alcoólico, a cerveja produzida com malte de arroz exibiu um valor bem inferior comparada a uma com malte de cevada, apontando possíveis fatores que podem dificultar o processo, como insuficiência enzimática, baixa conversão de açúcares fermentescíveis, resultando em pouco substrato, baixa atividade fermentativa, entre outros.

O valor médio do teor alcoólico encontrado para a amostra 1 foi de $6,48 \pm 1,96$, o que é muito satisfatório em comparação com os estudos citados acima. A média do teor alcoólico da amostra 2, foi de $3,69 \pm 1,24$ % v/v, menor do que a encontrada para a amostra 1. Contudo, ainda é um resultado satisfatório para o estudo em questão, e pode ser comparado com estudo de Lekjing e Venkatachalam (2022), que também produziram uma cerveja de arroz, e alcançaram um teor alcoólico de 4,12 %, ligeiramente menor, porém todos os trabalhos demonstrando a viabilidade na produção de cervejas com malte de arroz.

A amostra 2 foi produzida sem adição da enzima amiloglucosidase na fermentação, portanto era esperado que o teor alcoólico fosse menor, visto que o mosto possuía grande quantidade de açúcares não fermentescíveis quando foi inoculado. Desse modo, pode-se sugerir o efeito da enzima adicionada à fermentação na amostra 1, ao auxiliar na quebra do amido, liberando mais substrato para a levedura e conseqüentemente produzindo maior quantidade de álcool.

A viscosidade afeta a qualidade sensorial da bebida, em especial, o corpo ou sensação de volume na boca no momento da degustação. Os valores médios de viscosidade para a amostra 1 e 2 foram, respectivamente: $4,75 \pm 0,31$ e $4,97 \pm 0,42$.

Não são muitos os estudos encontrados que analisam viscosidade da cerveja, especialmente das sem glúten, como a de arroz. Em nível de comparação, foi possível encontrar dados de outros autores que analisaram a viscosidade do mosto, ou seja, durante o processo de produção. Se analisada em relação a uma cerveja estilo *lager*, é possível constatar que a viscosidade averiguada no presente trabalho foi maior do que a encontrada por Grefener Filho (2020), que estudou a adição de adjuntos como flocos de milho na cerveja. Na mesma temperatura e concentração de açúcares, o autor obteve um valor de 1,59 cP. Tal oposição faz sentido, uma vez que as cervejas *lager* são caracterizadas por apresentarem corpo leve, enquanto as *ale* são mais encorpadas e complexas.

Também a título de comparação, foi determinada a viscosidade de uma cerveja comercial puro malte, estilo Pilsen não filtrada, com teor alcóolico de 4,8%, que se aproxima mais da proposta artesanal da cerveja sem glúten desenvolvida neste trabalho. O valor obtido foi de $5,13 \pm 0,28$ cP, que é bastante próximo ao obtido para as cervejas sem glúten produzidas. Mayer et al. (2016) elaboraram e testaram sensorialmente cervejas com malte de arroz e verificaram que os teores de álcool das cervejas estavam em uma faixa aceitável (4,59 a 5,12% v/v), enquanto os teores de nitrogênio total e aminoácidos livres eram baixos e isso poderia ser uma razão para o corpo pouco desenvolvido, já que esse atributo recebeu notas 2,5 e 3, em uma escala de 0 a 9.

Nesse sentido, a formulação das amostras contribuiu para aumentar a viscosidade da cerveja sem glúten, que se aproximou da viscosidade de uma cerveja artesanal comercial, sem filtração, puro malte, indicando que a utilização da quinoa pode ter contrabalanceado as características do malte de arroz, em especial porque possui maior teor de proteínas, que são hidrolisadas durante a elaboração da cerveja e aumentam o teor de nitrogênio total e aminoácidos livres.

Blišáková et al. (2021) utilizaram maltes não convencionais em seu estudo a fim de observar seu respectivo efeito na viscosidade do mosto. Analisando maltes de cevada, cevada preta, aveia, trigo, centeio e milho encontraram viscosidades dinâmicas após a mostura em torno de 5 cP. Também concluíram que o processo de quebra dos carboidratos na brassagem leva a uma diminuição natural da viscosidade do mosto durante o processo.

Sabe-se que na conversão do amido, além de glicose e maltose, são formadas dextrinas, moléculas de peso molecular elevado. Porém, para sofrerem ação das α - e β -amilases e ocorrer a conversão em maltose, as dextrinas na região ramificada precisam primeiramente ser hidrolisadas pela enzima dextrinase - limite. Quanto maior a quantidade de adjuntos utilizados na brasagem, maior a dificuldade na obtenção de extrato e maior será a viscosidade do mosto (SANTOS, 2011).

Além disso, outro fator que pode ser relacionado a viscosidade é o fato de a cerveja não ser filtrada após a maturação, assim como ocorre em cervejas artesanais, gerando um produto de maior turbidez e corpo devido aos sólidos em suspensão remanescentes.

Figura 28 - Cerveja fermentada e maturada (terceira triplicata da amostra 2).



Fonte: A autora (2023).

Em relação a cor, nota-se pela Figura 28 que se obteve uma coloração âmbar a acobreada, característica do estilo *Belgian Pale Ale*, como descreve o *Beer Judge Certification Program* (STRONG; ENGLAND,2015). Todas as amostras apresentaram o mesmo padrão visual de cor, já que seguiram somente uma receita. A parte sensorial foi avaliada somente em relação ao olfato por uma especialista *sommelier*, e possui características que remetem a grãos tostados, pão torrado, café, herbal, chá de boldo.

Para avaliar a influência da utilização das enzimas na elaboração da cerveja sem glúten, os dados experimentais de teor alcóolico e viscosidade foram submetidos a tratamento estatístico, para a análise de variância – ANOVA: fator único, com nível de significância de 5% (Tabela 8).

Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) e diferenças entre médias para o teor alcóolico e viscosidade da cerveja sem glúten.

Teor alcóolico v/v (%)						
Tratamento	Média	σ	Variância	F	Valor p	F_{crítico}
1	6,48	±1,96	3,84	7,2387	0,0275	5,3176
2	3,69	±1,24	1,53			
Viscosidade (cP)						
1	4,75	±0,31	0,10	2,3064	0,1401	4,1960
2	4,97	±0,19	0,19			

Para valor $p < \alpha\%$, rejeita-se a hipótese nula (H_0), em que $\alpha\%$ é o nível de significância (0,05) (EXCEL®).

Fonte: A autora (2023).

Os dados da Tabela 6 indicam que o tratamento 1 (adição de enzima amiloglicosidase na fermentação) apresenta efeito significativo, para 95% de confiança, sobre o teor alcóolico da cerveja sem glúten, uma vez que *valor p* é menor do que 0,05. Nesse sentido pode-se rejeitar H_0 , pois os valores de teor alcóolico, para as diferentes condições experimentais diferem significativamente entre si, aumentando com a adição da enzima amiloglicosidase na etapa de fermentação da cerveja. Esse resultado indica que a presença dessa enzima aumentou a liberação de açúcares fermentescíveis no mosto, que foram convertidos a etanol pelas leveduras, durante a fermentação, aumentando o teor alcóolico da cerveja.

O mesmo não ocorreu com os valores de viscosidade, onde a hipótese aceita é H_0 , ou seja, não há diferença significativa, em nível de 95% de confiança, para a viscosidade com a adição de enzima amiloglicosidase na etapa de fermentação da cerveja sem glúten. Supõe-se que a viscosidade não tenha diferido significativamente já que as receitas eram iguais nas duas amostras, por isso a maior quantidade de açúcar apresentou efeito somente no volume alcoólico.

6 CONCLUSÃO

Mediante os resultados obtidos ao longo do trabalho e a partir das análises concluiu-se que os principais objetivos deste estudo foram atingidos. O primeiro intuito, da produção do malte de arroz e quinoa, foi bem sucedido, considerando-se as condições artesanais disponíveis para a elaboração dos mesmos. Os grãos apresentaram em média uma taxa germinativa de 98%, gerando assim uma boa resposta ao processo. A duração do tempo de germinação também foi condizente com outros trabalhos na literatura, e não houve grãos mofados. A torra dos maltes de arroz e quinoa propiciou incremento de cor pela reação de *Maillard*, bem como aroma tostado e caramelo.

Através dos processos aplicados foi possível produzir uma cerveja isenta de glúten a partir de fontes alternativas como malte de arroz, malte de quinoa e flocos de milho. Ainda existem muitas dificuldades acerca do processo de sacarificação com malte de arroz, pois sua temperatura de gelatinização é superior ao do malte de cevada, necessitando assim trabalhar com temperaturas mais altas, o que pode desnaturar rapidamente as enzimas. As alternativas encontradas, foram a aplicação da pré-gelatinização do malte de arroz, que facilita a etapa de sacarificação, e a utilização de enzimas exógenas, já que naturalmente o malte de arroz é baixo em enzimas e além disso uma parte dele foi torrado.

Apesar dos obstáculos na mostura e da baixa conversão de amido, obteve-se um teor alcoólico satisfatório de $6,48 \pm 1,96\%$ v/v para a amostra 1 (com enzima na fermentação) e $3,69 \pm 1,24\%$ v/v para a amostra 2 (sem enzima na fermentação), indicando que a presença da enzima amiloglucosidase na fermentação auxiliou na hidrólise de açúcares, que foram convertidos a etanol pelas leveduras, gerando maior quantidade de álcool. Quanto a viscosidade, atingiu-se $4,75 \pm 0,31$ cP para amostra 1, e $4,97 \pm 0,42$ cP para a amostra 2, valores bem próximos a de uma cerveja comercial puro malte analisada ($5,13$ cP), que se aproxima mais da proposta artesanal da cerveja sem glúten desenvolvida neste trabalho. A coloração das amostras, bem como o odor assemelhou-se as características buscadas do estilo *Belgian Pale Ale*.

No presente estudo utilizou-se o arroz agulhinha para maltagem. Para outros, ou futuros trabalhos sugere-se avaliar outras variedades de arroz para o processo, já que podem possuir diferentes características, como temperatura de gelatinização, poder diastático, fatores que podem tornar mais eficaz o processo de produção.

REFERÊNCIAS

ÁGAPE, Cervejaria. 2021. Campo experimental de lúpulo. Barão de Cotegipe: Fotografia de Mariela Giaretton. Fotografia color, arquivo JPG.

ALONSO-MIRAVALLS, Loreto; O'MAHONY, James A. Composition, Protein Profile and Rheological Properties of Pseudocereal-Based Protein-Rich Ingredients. **Foods** v. 7, n. 5, p.73, 7 mai. 2018. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5977093>.

AMÉRICO, Hiago Nagel. **Obtenção de açúcares fermentescíveis a partir de malte de arroz para produção de cerveja sem glúten**. 2017. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

ASBC Methods of Analysis. Malt-3, Moisture. American society of brewing Chemists, St. Paul, Mn, 2011. DOI: 10.1094/ASBCMOA-Malt-3.

ASSUNÇÃO, Rui Filipe Ribeiro. **Desenvolvimento de uma cerveja sem Glúten**. 2018. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Alimentar, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.

BAI, Julio C.; CIACCI, Carolina. World Gastroenterology Organisation Global Guidelines. **Journal of Clinical Gastroenterology**. v. 51, n. 9, p. 755-768, out. 2017. <http://dx.doi.org/10.1097/mcg.0000000000000919>.

BALAKIREVA, Anastasia; ZAMYATNIN, Andrey. Properties of Gluten Intolerance: gluten structure, evolution, pathogenicity and detoxification capabilities. **Nutrients**, v. 8, n. 10, p. 644, 18 out. 2016. <http://dx.doi.org/10.3390/nu8100644>.

BAMFORTH, C.W. Progress in Brewing Science and Beer Production. **Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering**, v. 8, p. 161-176, mar. 2017. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-060816-101450>.

BARREIRO, Sara Alexandra Costa. **Estudo da isomerização do lúpulo**. 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2016.

BENEDICT, Chaz Sadly. Dissolved Gases. In: BAMFORTH, Charles W. **Brewing Materials and Processes: a practical approach to beer excellence**. Academic Press, 2016, cap. 9, p. 157-174. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-13349-1>.

BLÁKOVÁ, Lucia; GREGOR, Tomáš; MELNÁNEK, Matej; HŘIVNA, Luděk; KUMBÁR, Vojtěch. The Use of Unconventional Malts in Beer Production and Their Effect on the Wort Viscosity. **Foods**, v. 11, n. 1, p. 31, 23 dez. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11010031>.

BOULTON, Christopher A. Fermentation. In: SMART, Chris. **The Craft Brewing Handbook: a practical guide to running a successful craft brewery**. Woodhead Publishing, 2020, cap. 4. p. 111-152. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03424-1>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009, 399 p. ISBN 978-85-99851-70-8.

BRASIL. Resolução ANVISA RDC nº 26 de 02 de julho de 2015. Dispõe sobre os requisitos para rotulagem obrigatória dos principais alimentos que causam alergias alimentares. **Diário Oficial da União**, 3 jul. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. **Diário Oficial Da União**, 11 dez. 2019.

CAIO, Giacomo; VOLTA, Umberto; SAPONE, Anna; LEFFLER, Daniel A.; GIORGIO, Roberto de; CATASSI, Carlo; FASANO, Alessio. Celiac disease: a comprehensive current review. **Bmc Medicine**, v. 17, n. 1, p. 142-162, 23 jul. 2019. <http://dx.doi.org/10.1186/s12916-019-1380-z>.

CARCIOCHI, Ramiro Ariel; DIMITROV, Krasimir; DALESSANDRO, Leandro Galván. Effect of malting conditions on phenolic content, Maillard reaction products formation, and antioxidant activity of quinoa seeds. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 11, p. 3978-3985, nov. 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-016-2393-7>.

CECCARONI, Dayana; SILEONI, Valeria; MARCONI, Ombretta; FRANCESCO, Giovanni de; LEE, Eung Gwan; PERRETTI, Giuseppe. Specialty rice malt optimization and improvement of rice malt beer aspect and aroma. **Lwt: Food Science and Technology**, v. 99, p. 299-305, jan. 2019a. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.060>.

CECCARONI, Dayana; MARCONI, Ombretta; SILEONI, Valeria; WRAY, Edward; PERRETTI, Giuseppe. Rice malting optimization for the production of top-fermented gluten-free beer. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 6, p. 2726-2734, 10 jan. 2019b. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.9440>.

CODEX ALIMENTARIUS INTERNATIONAL FOOD STANDARDS. Standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten. **Codex Stan 118-1979**. Disponível em: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B118-1979%252FCXS_118e_2015.pdf.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da safra de grãos: 9º levantamento – safra 2020/21**. 10 jun. 2021. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>.

CONCEIÇÃO, Sthéfany Ramos; NETA, Luzia Sergina França; GOMES, Fátima de Cássia Oliveira; MACHADO, Ana Maria Resende. Perfil cromatográfico da cerveja do fundo de dorna recuperada por microfiltração. **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 4, p. 17884-17897, abr. 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n4-092>.

CONWAY, Jan. Beer production worldwide from 1998 to 2019. **Statista: Consumer Goods & FMCG/Alcoholic Beverages**, mai. 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production>.

COSTA, Pedro Sgobbi Paranhos da. **Estudo da fermentação de cervejas ale e lager**. 2019. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Biotecnologia, Instituto de Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2019.

ELIODÓRIO, Kevy Pontes; CUNHA, Gabriel Caetano de Gois e; MÜLLER, Caroline; LUCARONI, Ana Carolina; GIUDICI, Reinaldo; WALKER, Graeme Maxwell; ALVES, Sérgio Luiz; BASSO, Thiago Olitta. Advances in yeast alcoholic fermentations for the production of bioethanol, beer and wine. **Advances in Applied Microbiology**, v. 109, p. 61-119, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.aambs.2019.10.002>.

ESTADÃO (Brasil) (org.). **Quais são os principais produtores de grãos do mundo?** 2022. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/comercio-exterior/quais-sao-os-principais-produtores-de-graos-do-mundo/#:~:text=O%20milho%20lidera%20o%20ranking,1%2C8%20bilh%C3%A3o%20de%20toneladas..> Acesso em: 14 maio 2023.

FARINI, Bruna Wadt; BORGES, Jessica Varreira. JANDB - Desenvolvimento de uma “Cerveja” de Malte de Arroz. **Revista da Graduação - PUCRS**, v. 9, n. 2, 2016.

FERNÁNDEZ-GIL, María del Pilar; SIMON, Edurne; GIBERT, Anna; MIRANDA, Jonatan; ALCOBA, Esther Roger; MARTÍNEZ, Olaia; CERREZO, Elisenda Vilchez; BUSTAMANTE, María Ángeles. Gluten Assessment in Beers: comparison by different commercial ELISA kits and evaluation of NIR analysis as a complementary technique. **Foods**, v. 10, n. 6, p. 1170, 23 maio 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/foods10061170>.

GARCÍA-LARA, Silverio; SERNA-SALDIVAR, Sergio O. Corn History and Culture. In: SERNA-SALDIVAR, Sergio O. **Corn: chemistry and technology**. 3. ed. Woodhead Publishing And Aacc International Press, 2018, cap. 1, p. 1-18. E-book ISBN: 9780128118863.

GASIŃSKI, A., KAWA-RYGIELSKA, J., KITA, A. *et al.* Physicochemical parameters, sensory profile and concentration of volatile compounds and anthocyanins in beers brewed using potato variety with purple flesh. **Scientific Reports**, v. 13, 21 jun. 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37284-w>

GRAFENER FILHO, José Eduardo. **Efeito da Temperatura e Graus Plato no Comportamento Reológico do Mosto de Cerveja Lupulado Tipo Lager**. 2020. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências de Alimentos, Instituto de

Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (Unesp), São José do Rio Preto, 2020.

GUIMARÃES, Bernardo Pontes. **Influências do uso de flocos de milho e arroz como adjunto cervejeiro**. 2017. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Tecnológica, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. https://bdm.unb.br/bitstream/10483/18090/1/2017_BernardoPontesGuimaraes_tcc.pdf.

GUMIENNA, Małgorzata; GÓRNA, Barbara. Gluten hypersensitivities and their impact on the production of gluten-free beer. **European Food Research and Technology**, v. 246, n. 11, p. 2147-2160, 6 ago. 2020. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-020-03579-9>.

HOLBROOK, Christian J. Brewhouse operations. In: SMART, Chris. **The Craft Brewing Handbook: a practical guide to running a successful craft brewery**. Woodhead Publishing, 2020, cap. 3, p. 65-109. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03424-1>.

HORNSEY, IS. Beer: history and types. **Encyclopedia Of Food and Health**, p. 345-354, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00057-x>.

HOYLE, Aaron; BRENNAN, Maree; PITTS, Nicholas; JACKSON, Gail E.; HOAD, Steve. Relationship between specific weight of spring barley and malt quality. **Journal of Cereal Science**, v. 95, p. 103006, set. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103006>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - fev/2021**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, mar. 2021. https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2021/estProdAgri_202102.pdf.

Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1ª edição digital, p. 1020, 2008.

INDUPROPIL Indústria e Comércio LTDA. **Malte de arroz**. Disponível em: <https://www.indupropil.com.br/maltede arroz.html#:~:text=Malte%20Arroz&text=Baixo%20potencial%20diast%C3%A1tico%2C%20elevado%20teor,rampa%20de%20mostura%20para%20sacarifica%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 05 jun. 2023.

KNORR, Verena; WIESER, Herbert; KOEHLER, Peter. Production of gluten-free beer by peptidase treatment. **European Food Research and Technology**, v. 242, n. 7, p. 1129-1140, 2016. DOI 10.1007/s00217-015-2617-5.

LACERDA, L. D., LEITE, D. C.; SOARES, R. M. D.; SILVEIRA, N. P. Effects of α -amylase, amyloglucosidase, and their mixture on hierarchical porosity of rice starch. **Starch**, v. 70, p. 1-7, 2018. DOI: 10.1002/star.201800008

LEKJING, Somwang; VENKATACHALAM, Karthikeyan. Quality changes of HomChaiya rice beer during storage at two alternative temperatures. **Journal Of Bioscience And Bioengineering**, [S.L.], v. 133, n. 4, p. 369-374, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.12.011>.

MACHADO JUNIOR, Júlio C.; FARIA, Miguel A.; FERREIRA, Isabel Mplvo. Hops: New Perspectives for an Old Beer Ingredient. In: GRUMEZESCU, Alexandru Mihai; HOLBAN, Alina Maria. **Natural Beverages: the science of beverages**. Academic Press, 2019, v. 13, cap. 10, p. 267-301. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02387-X>.

MARCONDES, Lígia. **Fervura e Tratamento do Mosto**: jornada cervejeira. Centro de Tecnologia Senai Alimentos e Bebidas, 2016. 24 slides, color. https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/04-fervura_e_tratamento_jornada_8h.pdf.

MARCONI, Ombretta; SILEONI, Valeria; CECCARONI, Dayana; PERRETTI, Giuseppe. The Use of Rice in Brewing. In: **Advances in International Rice Research**. Intech, p. 49-66, 2017.

MASTANJEVIĆ, Kristina; KRSTANOVIĆ, Vinko; LUKINAC, Jasmina; JUKIĆ, Marko; LUČAN, Mirela; MASTANJEVIĆ, Krešimir. Craft brewing – is it really about the sensory revolution? **Kvasny Prumysl**, v. 65, n. 1, p. 13-16, 15 fev. 2019. <http://dx.doi.org/10.18832/kp2019.65.13>.

MAYER, Heidi; CECCARONI, Dayana; MARCONI, Ombretta; SILEONI, Valeria; PERRETTI, Giuseppe; FANTOZZI, Paolo. Development of an all rice malt beer: a gluten free alternative. **Lwt - Food Science and Technology**, v. 67, p. 67-73, abr. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.037>.

MICKOWSKA, Barbara *et al.* The survey of prolamin and gluten content in beers produced in Central Europe – The biochemical characterization of immunoreactive protein fractions. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 53, p. 102623, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102623>.

MORAES, Iracema de Oliveira. **Biotecnologia Industrial: biotecnologia na produção de alimentos**. 2. ed., v. 4. São Paulo: Blucher, 2021.

MUZZOLON, Eloiza; MELATI, Janaína; LUCCHETTA, Luciano; BRAVO, Claudia Eugenia Castro; TONIAL, Ivane Benedetti. Processamento da cevada para produção de malte: parâmetros de qualidade. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Editora Científica Digital v. 3, p. 204-225, 2021. <http://dx.doi.org/10.37885/210203295>.

NAVRUZ-VARLI, Semra; SANLIER, Nevin. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 371-376, maio 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>.

OLANIRAN, Ademola O.; HIRALAL, Lettisha; MOKOENA, Mduduzi P.; PILLAY, Balakrishna. Flavour-active volatile compounds in beer: production, regulation and control. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 123, p. 13-23, 2017. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1002/jib.389>.

NETO, Dorval Coelho *et al.* ESTUDO DO PERFIL QUÍMICO DE CERVEJAS BRASILEIRAS: uma avaliação entre as bebidas artesanais e industriais. **Química Nova**, v. 25, 22 jul. 2022. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170857>.

OLIVEIRA, M. E. A. S.; COIMBRA, P. P. S.; GALDEANO, M. C.; CARVALHO, C. W. P.; B, TAKEITI, C. Y. How does germinated rice impact starch structure, products and nutritional evidences? – a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 122, p. 13-23, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.015>

OLIVEIRA, Thayse Wilma Nogueira de *et al.* Dificuldades encontradas pelos pacientes celíacos em seguir a dieta isenta de glúten. **Brazilian Journal Of Surgery And Clinical Research**, v. 24, n. 3, p. 110-115, set - nov. 2018. ISSN online: 2317-4404.

PEREIRA, Mariana Osório. **Otimização energética de maltagem a menor temperatura de estufagem**. 2016. 102 f. Tese (Mestrado) - Curso de Química, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 2016.

PINHEIRO, Bruno Hideaki Okoti. **Processo cervejeiro e a comercialização da cerveja**. 2019. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

PIRES, Eduardo; BRÁNYIK, Tomáš. **Biochemistry of Beer Fermentation**. Springer, 2015. 80 p. E-book ISBN 978-3-319-15189-2.

PRAKASH, O.; JAISWAL, N. α -Amylase: an ideal representative of thermostable enzymes. **Applied biochemistry and biotechnology**, n. 8, v. 160, p. 2401–2414, 2010. DOI: 10.1007/s12010-009-8735-4.

PRESTES, Dejalmo Nolasco *et al.* The addition of defatted rice bran to malted rice improves the quality of rice beer. **Lwt**, v. 112, p. 108262, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108262>.

REMIGIO, Raphael Vinicius Silveira. **Estudo cinético de três cepas de levedura em mosto cervejeiro**. 2017. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

REZENDE, Vallena Maria Macêdo; SANTANA, Claudemir Gomes. Composição gravimétrica dos resíduos de construção civil da cidade de São Luís - MA. **Revista do**

Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável - CEDS, São Luís - MA, v. 9, ago/dez 2018.

ROSA, Natasha Aguiar; AFONSO, Júlio Carlos. A Química da Cerveja. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 98-105, maio 2015. <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150030>.

RUBIO-FLORES, Monica; SERNA-SALDIVAR, Sergio O. Technological and engineering trends for production of gluten-free beers. **Food engineering reviews**, v. 8, n. 4, p. 468-482, 2016.

RUSSELL, I. Yeast. In: BAMFORTH, Charles W. **Brewing Materials and Processes: a practical approach to beer excellence**. Academic Press, 2016, cap. 4, p. 77-96. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-13349-1>.

SALIMBENI, Juliana Faria; MENEGUETTI, Mariana Pereira Devolio R. R. D.; ROLIM, Tatiana Ferretti. **Caracterização da água e sua influência sensorial para produção de cerveja artesanal**. 2016. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco, Campinas, 2016.

SANTOS, Claudio Donato de Oliveira. **Avaliação do emprego do arroz preto (Oryza sativa L.) submetido a hidrólise enzimática como adjunto na fabricação de cerveja**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia Industrial, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011.

SARABIA, Vogar Leonel Nieto; LALANNE, Guiomar Melgar; CESATTI, Christian Bryan Ballinas; GARCÍA, Fernando Abiram García; SALAZAR, Jorge Alberto Jose; ORTIZ, César Mateo Flores; URBINA, Eliseo Cristiani; BARRERA, Liliana Morales. Brewing a Craft Belgian Style Pale Ale Using *Pichia kudriavzevii* 4A as a Starter Culture. **Microorganisms**, v. 11, n. 4, p. 977, 9 abr. 2023. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms11040977>.

SCHORK, Mayara de Oliveira. **Elaboração de cerveja artesanal tipo ale com malte de milho e farinha de arroz**. 2015. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

SELLADURAI, Manivannan *et al.* Considerations for gluten free foods - pearl and finger millet processing and market demand. **Grain & Oil Science And Technology**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 50-70, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaost.2022.11.003>.

SERNA-SALDIVAR, Sergio O.. **Cereal Grains**: properties, processing, and nutritional attributes. CRC Press, 2016.

SILVA NETO, Ermelindo de Souza, *et al.* Produção de malte de milho (*Zea mays*) como ingrediente na cerveja artesanal. In: OLIVEIRA, Ana Flávia de; STORTO, Letícia Jovelina. **Tópicos em Ciências e Tecnologia de Alimentos**: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017. v. 3, cap. 16, p. 391-418, E-book ISBN 978-85-8039-272-2.

SOUZA, Júlia Emanuela Almeida de. **Germinação de sementes de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)**. 2016. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília - *Campus Darcy Ribeiro*, Brasília/DF, 2016.

SOUZA, Flávia Reis Ferreira de; SIQUEIRA, Bruno Moreira; DALA-PAULA, Bruno Martins. Ingredientes substitutos de cereais fontes de glúten. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 30, 31 mai. 2023. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/san.v30i00.8667930>.

STRENSKE, A.; VASCONCELOS, E. S.; HERZOG, N. F. M.; MALAVASI, M. M. Germinação de sementes de quinoa com diferentes períodos de armazenamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. suplemento, p. 286-290, dez. 2015. DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v14nsupp286-290.

STRONG, Gordon; ENGLAND, Kristen. Beer Judge Certification Program: 2015 style guidelines. **Brewers Association**: Mineápolis, Minnesota, Estados Unidos, v. 47, 2015.

TACO, **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: NEPA-UNICAMP, 4. ed. rev. e ampl. 2011. 161 p. https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf.

USDA U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016. Nutrient Data Laboratory. **National Nutrient Database for Standard Reference**, Release 28, mai 2016. <http://www.ars.usda.gov/nea/bhnrc/mafcl>.

USDA U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. **The World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE)** - 613, jun. 2021. <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0621.pdf>.

VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. 576 p. ISBN 9788521209577.

VILCACUNDO, Rubén; HERNÁNDEZ-LEDESMA, Blanca. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Current Opinion in Food Science**, v. 14, p. 1-6, abr. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>.

WANI, A. A.; SINGH, P.; SHAH, M. A.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U.; GUL, K.; WANI, I. A. Rice Starch Diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties – a Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.11, p. 417-436, 2012. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2012.00193.x

WATSON, Hellen G. *et al.* Peptidomics of an industrial gluten-free barley malt beer and its non-gluten-free counterpart: characterisation and immunogenicity. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 355, p. 129597, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129597>.

ZARNKOW, Martin. Beer. **Encyclopedia of Food Microbiology**: (Second Edition), p. 209-215, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00393-1>.

ZHOU, Xueyong *et al.* Tea-making technology by using quinoa raw materials. **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 43, 16 jan. 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/fst.117422>.