

USO DA GLUCOAMILASE NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

USE OF GLUCOAMYLASE IN THE BEER PRODUCTION PROCESS: A SYSTEMATIC REVIEW

DOI: 10.65747/conali2025v1c16

Augusto Vinícius da Silva Araújo¹; Lucas Albuquerque Ramalho²; Adamirely Bezerra de Melo³; Krause Gonçalves Silveira Albuquerque⁴; Liderlânio de Almeida Araújo⁵; Gerla Castello Branco Chinelate⁶

¹Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; ²Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; ³Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; ⁴Mestrando em Ciências Ambientais- UFAPE; ⁵Docente/pesquisador do Depto de Engenharia de Alimentos/PPCIAM – UFAPE; ⁶Docente/pesquisador do Depto de Engenharia de Alimentos – UFAPE;

Contato: augustoviniicius720@gmail.com

Resumo: A produção de cerveja é um processo biotecnológico complexo, diferentes enzimas desempenham papéis na conversão de amidos e açúcares, impactando diretamente a qualidade sensorial e o teor alcoólico da bebida. Nesse contexto, a glucoamilase tem ganhado destaque como uma alternativa promissora para otimizar a fermentação e ampliar a variedade de estilos de cerveja. Este trabalho consiste numa revisão sistemática sobre a utilização da enzima glucoamilase no processo de produção de cerveja. A investigação teve como objetivo estudar a aplicação dessa enzima, com foco na melhoria do grau de atenuação, na conversão dos açúcares fermentáveis e no impacto na qualidade final da cerveja. Os estudos publicados entre 2019 e 2023 foram analisados nas plataformas Google Scholar, Scielo, Periódico Capes e PubMed/MEDLINE. Dos 366 artigos inicialmente identificados, apenas 3 cumpriram os critérios de inclusão, sendo eles: Estudos que abordassem processos de fabricação de cerveja; pesquisas que incluíssem análises físico-químicas de cervejas e artigos autorais que discutissem o uso da enzima glucoamilase. Os estudos selecionados centram-se na aplicação da glucoamilase em cervejas artesanais e industriais, com o objetivo de melhorar a fermentação e aumentar a conversão do amido em açúcares simples, como a glicose, resultando numa maior atenuação e num maior teor alcoólico, principalmente em cervejas de corpo mais leve e elevado teor alcoólico, como o estilo Brut IPA. A revisão sublinha que a glucoamilase é eficaz na redução dos açúcares residuais e na obtenção de cervejas mais secas, além de otimizar o processo produtivo em casos de variabilidade da qualidade do malte.

Palavras-chave: Enzimas; Biotecnologia; Fermentação.

Abstract: Beer production is a complex biotechnological process; different enzymes play a role in the conversion of starches and sugars, directly impacting the beverage's sensory quality and alcohol content. In this context, glucoamylase has gained prominence as a promising alternative for optimizing fermentation and expanding the variety of beer styles. This work consists of a systematic review of the use of the glucoamylase enzyme in the beer production process. The research aimed to investigate the application of this enzyme, focusing on improving the degree of attenuation, the conversion of fermentable sugars, and its impact on the final beer quality. Studies published between 2019 and 2023 were analyzed on Google Scholar, Scielo, Periódico Capes, and PubMed/MEDLINE. Of the 366 articles initially identified, only three met the inclusion criteria: studies addressing beer brewing processes; research including physicochemical analyses of beers; and authored articles discussing the use of the glucoamylase enzyme. The selected studies focus on the application of glucoamylase in craft and industrial beers, aiming to improve fermentation and increase the conversion of starch into simple sugars, such as glucose, resulting in greater attenuation and higher

alcohol content, particularly in lighter-bodied, high-alcohol beers, such as Brut IPA. The review highlights that glucoamylase is effective in reducing residual sugars and producing drier beers, in addition to optimizing the production process in cases of malt quality variability.

Keywords: Enzymes; Biotechnology; Fermentation.

INTRODUÇÃO

A Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019, define cerveja como a bebida resultante da fermentação, a partir de levedura de cerveja, mosto de cevada maltada ou extrato de malte, e previamente submetida à cozedura com adição de lúpulo. A Instrução Normativa aborda as normas de fiscalização utilizadas pelos organismos responsáveis e os regulamentos sobre aditivos e ingredientes utilizados no processo de fabrico de cerveja (1).

Pressupõe que as bebidas fermentadas surgiram há cerca de 30 mil anos. Alguns estudos relatam que a produção da cerveja teve seu início por volta de 4000-6000 a.C., sendo essa bebida desenvolvida paralelamente aos processos de fermentação de cereais. Na Antiguidade, propagou junto com as culturas de milho, centeio e cevada, entre os povos da Suméria, Babilônia e Egito. Também foi elaborada por gregos e romanos durante o apogeu destas civilizações. Com a Revolução Industrial, a forma de produção e distribuição mudou sensivelmente, instituíram-se, então, fábricas cada vez maiores em todo o mundo (2).

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais consumidas no mundo. Os seus primeiros registos de produção datam de cerca de 7000 a.C., na região que corresponde ao atual Irã. Nesta época, a bebida era feita a partir da fermentação de pão e cereais maltados. Com a Revolução Industrial, o processo de fabrico tornou-se mais eficiente e passou a ser mecanizado, dando origem às cervejarias comerciais. A partir do século XIX, com a imigração europeia, as tradições de produção de cerveja espalharam-se para outros continentes, como a América do Norte e do Sul (3).

Conhecida como uma bebida equilibrada, a cerveja tem um baixo teor alcoólico e contém importantes vitaminas, minerais e antioxidantes úteis ao organismo humano. Atualmente, é a terceira bebida mais consumida no mundo, atrás da água e do café. Contudo, por se tratar de uma bebida alcoólica, o seu consumo deve ser moderado para que os seus efeitos benéficos superem os efeitos negativos associados (4).

Apresenta em sua composição antioxidantes, sendo determinados como compostos, naturais ou sintéticos, em que demonstra elevada estabilidade oxidativa e que têm propriedade de evitar a oxidação de outras substâncias como proteínas, ácidos nucleicos e lipídeos (5).

A cerveja é uma bebida com baixo risco de contaminação, mas existem contaminações por bactérias e leveduras que impactam no resultado final da produção, provocando alterações indesejáveis no odor e sabor. Assim sendo, as etapas de controlo de qualidade durante o processo de fabrico da cerveja são de extrema importância para garantir um produto livre de contaminações

que provoquem alterações sensoriais, evitando assim a perda do lote em caso de incumprimento do estabelecido na lei (6).

Em relação à produção de cerveja, são utilizados malte, água, lúpulo, leveduras e em alguns casos, frutas. A água utilizada no processo de fabricação, corresponde à 93% da formulação e possui um valor de pH em torno de 5,0. Em relação ao lúpulo, característico de climas frios, confere o amargor, aroma e sabor da cerveja, resultando na unidade International Bitterness Units (IBU). A existência dos diferentes tipos de malte é devida à temperatura e ao tempo de secagem, e sua coloração característica está relacionada ao grau de torrefação (7).

A quantidade e a qualidade do malte utilizado possuem efeito direto em propriedades características organolépticas da cerveja produzida. Apesar de vários cereais como trigo, sorgo, aveia, arroz e milho poderem ser transformados em malte, através dos processos de maceração e germinação, o malte de cevada é o preferido na produção de cervejas do tipo Lager, Alee Stout. Cada estrutura que compõe o grão é responsável por uma característica do malte produzido. O processo é dividido em 3 etapas, sendo elas: maceração, germinação e secagem (8).

As enzimas são catalisadores biológicos específicos, compostos principalmente por proteínas, que aceleram as reações metabólicas sem alterar o equilíbrio dessas reações. Cada enzima é específica para uma única reação e só funciona eficientemente quando a sua estrutura tridimensional (níveis terciário e quaternário) é preservada. Possuem uma região chamada sítio ativo, onde o substrato se liga, ativando a enzima. A sua função está diretamente relacionada com a redução da entropia nas reações, evitando que os substratos interajam de forma aleatória, tornando o processo mais eficiente. Quando a enzima entra em ação, a energia de ativação é reduzida, mantendo-se o equilíbrio da reação. A atividade enzimática é geralmente regulada pela própria célula, com base na codificação das proteínas, e pode ser interrompida por fatores externos que alteram as suas condições ideais de funcionamento (9)

No final de uma reação, as enzimas regressam ao seu estado inicial, dissociam-se do substrato e estão prontas para continuar a sua ação. Por serem proteínas, podem desnaturar a altas temperaturas ou ambientes de pH extremo, comprometendo as suas ligações e funções. A desnaturação ocorre devido a alterações no grau de ionização das moléculas, provocando alterações na estrutura proteica da enzima (10).

A utilização da tecnologia enzimática no processamento de alimentos é uma prática antiga, ainda que inicialmente inconsciente. Entre as vantagens da utilização de enzimas neste contexto está a capacidade de transformar matérias-primas em ingredientes com características desejáveis ou adequados para futuras etapas de processamento. A sua função está relacionada com a decomposição de moléculas complexas, convertendo-as em estruturas mais simples e estáveis, justificando a sua aplicação em larga escala na indústria alimentar (11).

Estudos recentes demonstram que, além das enzimas clássicas envolvidas na sacarificação, como α - e β -amilases, coadjuvantes e ingredientes alternativos com potencial enzimático podem influenciar significativamente o rendimento fermentável. Por exemplo, Black *et al.* (12) exploraram o uso de fava-adjuvante (faba bean) como complemento no mosto, aplicando enzimas como amyloglucosidases para melhorar a sacarificação e liquefação do amido, o que resultou em melhor fermentabilidade sem comprometer a estabilidade de viscosidade ou clarificação do mosto.

Em termos de produção de cerveja com poucas calorias, enzimas como a Brut GA (Glucoamilase) são utilizadas para gerar a decomposição dos açúcares não fermentáveis. Estes açúcares provêm em parte do amido presente no malte, que é libertado durante a cozedura e forma o mosto. Outra parte provém do açúcar invertido utilizado no priming, onde a sacarose é convertida em glicose e frutose após diluição em água e aquecimento. No final do processo, a levedura é responsável por consumir todo o açúcar disponível (13).

Nesse sentido, o referido estudo visa explicar como funciona a enzima glucoamilase no processo de produção de cerveja, por meio de uma revisão de literatura.

MATERIAL E MÉTODOS

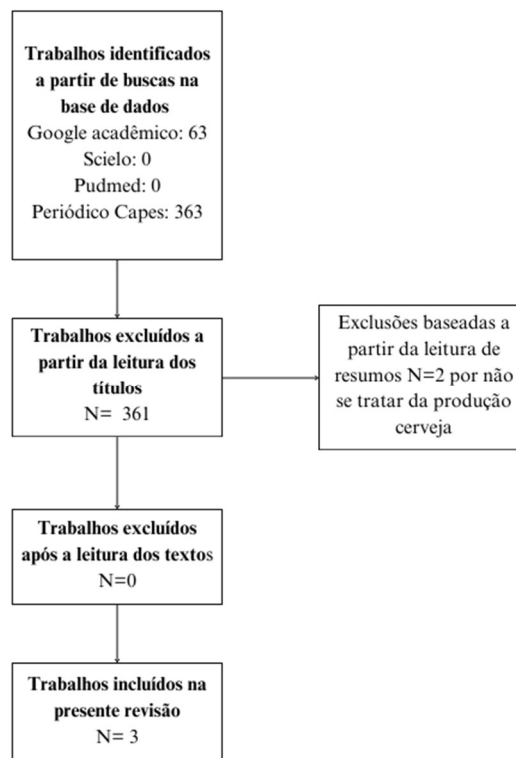
Este trabalho consiste em um estudo de revisão sistemática que investiga a aplicação da enzima glucoamilase no processo de produção de cerveja, guiado pela questão central: Qual a aplicação da glucoamilase na produção de cerveja?. Para a identificação dos estudos relevantes, foi utilizada a estratégia de busca com os descritores "glucoamilase" OR "cerveja". Adotou-se como um dos critérios de filtragem inicial o recorte temporal de publicações entre os anos de 2019 e 2023, durante a análise preliminar de títulos e resumos. A busca bibliográfica foi realizada no período de agosto a setembro de 2024 nas bases de dados Google acadêmico, scielo, periódico Capes e PubMed/MEDLINE. Os critérios estabelecidos para a inclusão de artigos na revisão foram: estudos que abordassem processos de fabricação de cerveja; pesquisas que incluíssem análises físico-químicas de cervejas e artigos autorais que discutissem o uso da enzima glucoamilase;

A síntese dos artigos selecionados foi compilada e apresentada na Tabela 1, a qual contém as seguintes informações: identificação do estudo, preparação avaliada, referência completa (autores, ano de publicação, local de publicação), tipo de cerveja e objetivo da aplicação da enzima. Ressalta-se que não foram realizadas avaliações da qualidade metodológica dos estudos incluídos, uma vez que, para o propósito da pergunta central formulada, a aplicação de critérios metodológicos rígidos não se mostrou necessária ou exclusiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise dos artigos, nas plataformas Google acadêmico, scielo, periódico capes e PubMed/MEDLINE, foram encontrados um total de trezentos e sessenta e seis trabalhos no geral, onde foram eliminados cerca de trezentos e sessenta pelo o título por não estarem associados ao tema geral da revisão, restando assim seis trabalhos que seguiram para a segunda etapa de seleção, onde foi verificado os resumos dos mesmos, sendo excluídos três artigos por não se encaixarem na proposta. Ao final do crivo metodológico, três trabalhos foram incluídos na atual revisão. A Figura 1 apresenta a síntese do processo de seleção dos artigos.

Figura 1: Síntese seletiva dos artigos



Fonte: Autores, 2024.

O trabalho de Fernandes (15), intitulado de Avaliação da atividade antifúngica dos metabólitos secundários dos fungos endofíticos da *Anadenanthera macrocarpa* (Bnth) Brenan, teve sua exclusão devido tratar da parte microbiológica da enzima utilização de glucoamilase não associada a produção de cerveja.

Em estudo realizado por Ferreira (16), intitulado de Enriquecimento do mosto de milho com nutrientes nitrogenados e fosfatados para melhoria da fermentação alcoólica, por seu conteúdo ser sobre a produção de etanol a partir do milho, não se encaixando no tema central da seguinte revisão.

A seguinte tabela (tabela 1) apresenta de forma geral os principais pontos dos trabalhos selecionados.

Tabela 1. Principais pontos abordados nos artigos selecionados.

TÍTULO	DATA	OBJETIVO	TIPO DE CERVEJA	FINALIDADE DA ENZIMA	RESULTADO PRINCIPAL
Análise físico-química de cervejas artesanais produzidas com enzima glucoamilase	2022	Analisar as características físico-químico em cervejas artesanais produzidas com a enzima glucoamilase, identificando a presença de açúcares não fermentáveis em cervejas industrializadas.	Cerveja artesanal	Coadjuvante tecnológico, a fim de comprovar a total hidrólise do amido devido à sua capacidade de quebra das ligações α -1,4 e α -1,6 das cadeias de amilopectina.	O resultado principal foi a presença deste insumo reduz de fato os níveis de açúcar presentes, sem alterar suas características finais.
Otimização do processo de fabrico de mosto de cerveja	2021	Melhorar o controle da atenuação limite: obter valores superiores e menor tempo de brassagem.	Não especificado	Melhorar o grau de atenuação limite da cerveja, especialmente em situações de baixa qualidade do malte.	O resultado principal alcançado foi o aumento do grau de atenuação, sem impactar negativamente o produto final.
Aplicação de amiloglicosidase purificada de <i>Aspergillus niger</i> para produção de mosto cervejeiro	2023	Verificar a eficiência da suplementação de amiloglicosidase purificada no mosto moído, como simulação do procedimento cervejeiro.	Cerveja leve	A adição da amiloglicosidase visa aumentar o teor de açúcares fermentáveis no mosto cervejeiro, melhorando a conversão do amido em glicose.	O principal resultado alcançado foi um aumento de 7,58% no teor de açúcares fermentáveis, além de um teor de 9 °brix no mosto com a enzima

Fonte: Autor, 2024

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE CERVEJAS ARTESANAIS PRODUZIDAS COM ENZIMA GLUCOAMILASE

O artigo analisado aborda a utilização da enzima glucoamilase no processo de produção de cerveja artesanal, focando a sua aplicação como auxiliar tecnológico para a quebra das ligações α -1,4 e α -1,6 da amilopectina. A principal função da enzima é promover a hidrólise completa do amido, resultando na conversão das dextrinas em açúcares fermentáveis. Como parte do processo de produção, a enzima glucoamilase foi adicionada após o início da fermentação, no terceiro dia deste processo. A presença da enzima permitiu uma maior conversão dos açúcares residuais não fermentáveis, resultando numa cerveja mais seca e com um teor alcoólico mais elevado (ABV de 3,5% na cerveja com glucoamilase, em comparação com 3,1% na cerveja sem glucoamilase).

Este aumento do título alcoométrico resulta numa maior capacidade da levedura em consumir os açúcares disponíveis no mosto, que foram transformados por ação da enzima. O processo enzimático da glucoamilase atinge o seu máximo, onde atua sobre os restantes açúcares complexos, após uma fase inicial de mosturação e fermentação. A adição da enzima tem como objetivo melhorar a fermentação, garantindo que uma maior proporção de açúcares é convertida em álcool, particularmente em estilos de cerveja como a Brut IPA ou cervejas light, que exigem um baixo corpo e um elevado teor alcoólico.

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO DE MOSTO DE CERVEJA

Neste contexto, a enzima foi desenvolvida como auxiliar enzimático para otimizar o processo produtivo da maioria das cervejas, principalmente quando a qualidade do malte ou outros fatores provocam desvios no grau de limite de atenuação. No processo de produção de cerveja, a glucoamilase é adicionada durante a hidratação do malte e atua ao máximo para aumentar a conversão do amido em açúcares fermentáveis. Isto ajuda a melhorar o grau de atenuação do mosto, o que garante que são consumidos mais açúcares durante a fermentação, resultando num maior teor alcoólico e numa menor doçura residual na cerveja.

No caso específico deste estudo, a glucoamilase foi validada como um recurso eficaz em momentos em que o grau de atenuação não é controlado devido à variabilidade da matéria-prima, nomeadamente o malte. A adição de glucoamilase permite manter um processo de fermentação estável sem impacto negativo na qualidade do produto em termos de aplicação enzimática. A glucoamilase é responsável pela sacarificação do amido, completando a etapa de manipulação enzimática do mosto após as ações da α -amilase e β -amilase. Isto ocorre principalmente na fase final da fermentação, promovendo a conversão das dextrinas em açúcares simples, como a glicose, que são mais facilmente fermentados pelas leveduras.

APLICAÇÃO DE AMILOGLUCOSIDASE PURIFICADA DE *ASPERGILLUS NIGER* PARA PRODUÇÃO DE MOSTO CERVEJEIRO

O artigo aborda a utilização da amiloglucosidase purificada de *Aspergillus niger* na produção de mosto de cerveja, com o objetivo de melhorar a conversão do amido em açúcares fermentáveis. A enzima foi produzida por fermentação em estado sólido utilizando farelo de arroz como substrato, seguida de purificação por precipitação fracionada com etanol, obtendo-se uma recuperação enzimática de 52,1%. O mosto de cerveja suplementado com glucoamilase apresentou um aumento de 7,58% no teor de açúcar fermentável, em comparação com o mosto controle. O teor de sólidos solúveis (medido em °Brix) foi também superior no mosto enzimático (9 °Brix) em comparação com o controle (7,18 °Brix), sugerindo uma melhor eficiência de conversão do amido em glicose. No entanto, o aumento de açúcares foi inferior ao observado em estudos anteriores (20–23%), indicando que ajustes no processo poderiam aumentar a eficiência.

A utilização da amiloglicosidase tem-se mostrado promissora na produção de mostos com maior teor de açúcares fermentescíveis, mas a investigação sugere a necessidade de mais estudos para otimizar o processo e validar a sua aplicação à escala industrial. A suplementação enzimática pode reduzir os custos de produção de cerveja porque reduz a quantidade de cevada necessária como substrato.

COMPARAÇÃO ENTRE OS ESTUDOS

A análise comparativa dos três estudos selecionados evidencia diferentes enfoques na aplicação da glucoamilase no processo cervejeiro, mas com resultados convergentes em relação ao aumento da conversão de amido em açúcares fermentáveis. O primeiro estudo, voltado para a análise físico-química de cervejas artesanais, destacou que a enzima foi capaz de reduzir os açúcares residuais sem comprometer as características sensoriais da bebida, resultando em uma cerveja mais seca e com maior teor alcoólico.

Já o segundo estudo priorizou a otimização do processo produtivo, sobretudo em contextos de baixa qualidade do malte, demonstrando que a adição da glucoamilase garantiu maior grau de atenuação sem impactar negativamente o perfil final da cerveja. Por sua vez, o terceiro trabalho, que investigou a suplementação de amiloglucosidase purificada de *Aspergillus niger*, apresentou um ganho quantitativo expressivo, com aumento de 7,58% nos açúcares fermentáveis e elevação do teor de sólidos solúveis (°Brix), indicando maior eficiência na sacarificação.

Apesar das diferenças metodológicas, todos os estudos corroboram a relevância da glucoamilase como ferramenta biotecnológica para o setor cervejeiro. Enquanto os trabalhos com cervejas artesanais e de mosto otimizado reforçam a viabilidade prática do uso da enzima para

melhorar o rendimento e a qualidade sensorial, o estudo com a enzima purificada aponta perspectivas de inovação tecnológica e de redução de custos, sobretudo pela possibilidade de menor dependência da cevada como insumo. Dessa forma, o conjunto de resultados demonstra que a aplicação da glucoamilase atende tanto a demandas de escala artesanal quanto industrial, evidenciando seu potencial em ampliar estilos de cerveja e garantir maior padronização do processo produtivo.

CONCLUSÕES

Por meio da revisão, foi possível constatar que a glucoamilase representa uma ferramenta biotecnológica promissora na produção de cerveja, por favorecer a maior atenuação, a conversão eficiente de amido em açúcares fermentáveis e a obtenção de bebidas mais secas e com maior teor alcoólico. Sua aplicação mostra-se especialmente útil em cenários de variabilidade da qualidade do malte, assegurando a estabilidade do processo fermentativo sem prejuízo sensorial. Assim, a utilização dessa enzima contribui para otimizar a eficiência produtiva e ampliar as possibilidades de desenvolvimento de cervejas com perfis específicos de corpo e doçura. Como perspectivas futuras, destaca-se a necessidade de aprofundar os estudos sobre a dosagem ideal da glucoamilase em diferentes tipos de mosto, bem como a investigação de sua interação com outras enzimas durante a produção cervejeira. Além disso, pesquisas voltadas para avaliar os impactos sensoriais a longo prazo, a aceitação do consumidor e o potencial de aplicação em cervejas artesanais e funcionais podem ampliar ainda mais seu uso. Também se faz relevante explorar a engenharia de enzimas para obter variantes de glucoamilase com maior estabilidade térmica e eficiência catalítica, o que poderia impulsionar a inovação no setor cervejeiro e contribuir para processos mais sustentáveis e economicamente viáveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao FNDE pelo apoio financeiro através do Programa de Educação Tutorial - PET e ao Grupo de Pesquisa GPLac - UFAPÉ pela orientação e possibilidade de realizar a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Decreto nº 9.902, de 8 de Julho de 2019. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9902.htm#art2. Acesso em: 04 set. de 2024.
2. AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. Biotecnologia Industrial. São Paulo: Edgard Blücher. 4 ed. p. 91 - 143. 2001. Acesso em: 04 set. de 2024.
3. PEREIRA, Conrado Mioni. **Cerveja: história e cultura**. Editora Senac São Paulo, 2021.
4. MORADO, Ronaldo. Larousse da cerveja: A história e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo. 1. ed. São Paulo: Alaúde, 2017.

5. RAMPAZZO, V. Caracterização da composição fenólica e capacidade antioxidante de cervejas comerciais de diferentes processos de fermentação. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014. Acesso em: 04 set. de 2024
6. ORIZZONTE, <<https://orizzonte.com.br/controle-de-qualidade-na-producao-decerveja/>> Acesso em: 04 set. de 2024.
7. REBELLO F. F. P. Produção de Cerveja. Revista Agrogeo ambiental, p. 145-155, 2009. SILVA, H. A.; LEITE, M. A.; PAULA, A. R. de. Cerveja e sociedade. Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade. São Paulo, v. 4, n. 2, p. 85-91, 2016. Acesso em: 04 set. de 2024.
8. TOZETTO, L. M.; DO NASCIMENTO, R. F. OLIVEIRA, M. H. de, VAN BEIK, J.; CANTERI, M. H. G. Production and physicochemical characterization of craft beer with ginger (*Zingiber officinale*). Food Science and Technology, v. 39, n. 4, p. 962-970, 2019. Acesso em: 04 set. de 2024.
9. REVIELLO, Juliana da Silva. Introdução à Bioquímica. 1. ed. (S.l.): Freitas Bastos Digital, 2025. eBook. ISBN 978-65-5675-485-7. Acesso em: 29 Ago. de 2025.
10. NELSON, D.L; COX, M.M. Princípios de Bioquímica de Lehninger. 7ª ed. Porto Alegre: Artmed. 2019. Acesso em: 04 set. de 2024.
11. SINDHU, R.; SHIBURAJ, S.; SABU, A; et al. Innovative Food Processing Technologies. A Comprehensive Review. p.191-215, 2021. WHITEHURST, E.J.; OORT E.V. Enzymes in food technology. 2ª ed. Hawthorne: Wiley-Blackwell. 2009: 384.
12. BLACK, J. L.; et al. *Optimised processing of faba bean (Vicia faba L.) kernels as a brewing adjunct*. Journal of the Institute of Brewing, v. 127, n. 3, p. 324-334, 2021. DOI: 10.1002/jib.632.
13. GRANGEIRO, Efrahin Alves; STIER, Paulo Henrique. **Análise físico-química de cervejas artesanais produzidas com a enzima glucoamilase**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Centro Universitário Internacional UNINTER.
14. TORREZAN, Gabriel Oliveira. **Ferramentas de qualidade aplicadas na fabricação industrial da cerveja**. 2022. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Faculdade Anhanguera Pitágoras de Jundiaí, Jundiaí, 2022. Acesso em: 04 set. de 2024.
15. FERNANDES, Antonia Isadora et al. Avaliação da atividade antifúngica dos metabólitos secundários dos fungos endofíticos da *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan. 2019.
16. FERREIRA, Rafaela Leandra Silva et al. Enriquecimento do mosto de milho com nutrientes nitrogenados e fosfatados para melhoria da fermentação alcoólica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 26131-26142, 2021.