Food Science Today 4:1 (2025)
ISSN 2965-1190

REVIEW ARTICLE

FOOD SCIENCE TODAY

Produção de cerveja e importância da *Saccharomyces cerevisiae*

Beer production and importance of *Saccharomyces cerevisiae*

Lyara Bruna Soares Nascimento [a], Clara Rodrigues de Almeida Sousa [a], Débora Wanzeler Levino [a], Laisianne Alves Ferreira [a], Lucas Araújo de Queiroz [a], Ranne Beatriz Santana de Lima [a], Karlete Vânia Mendes Vieira [a]

[a] Departamento de Farmácia, Universidade Estadual da Paraíba, 58429-500, Campina Grande, Paraíba, Brasil.
[b] Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual da Paraíba, 58429-500, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

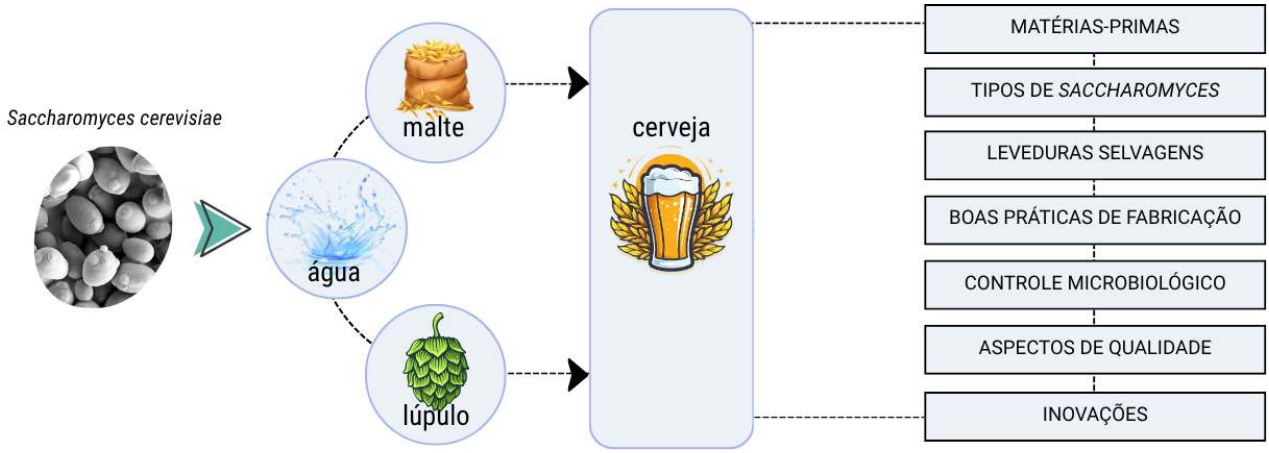
Resumo
A cerveja, bebida consumida há milhares de anos pela sociedade, incluindo-se a brasileira, obedece ao processo de produção por meio de fermentação, operação realizada tradicionalmente por leveduras como a *Saccharomyces cerevisiae*. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi evidenciar a importância dessa levedura para a produção de cerveja, por meio de uma revisão bibliográfica. Para isto, utilizou-se 91 artigos, localizados em diferentes bases de dados científicas e selecionados de acordo com a abrangência a respeito da bebida e da levedura enfatizada. A pesquisa realizada apontou que são necessárias para o conseguimento da cerveja: as matérias-primas (lúpulo, água, malte e microrganismo fermentador); etapas em protocolo (com destaque à fermentação); cuidados, como controle microbiológico, além de inovações em perspectiva. Com relação à *Saccharomyces cerevisiae,* esta é descrita e confirmada pela literatura como a levedura mais utilizada pela indústria cervejeira, sendo isso consequência de fatores como fácil obtenção, alta capacidade fermentativa, resistência a ácidos, grande pluralidade genética, tempo de fermentação favorável comparado a outros microrganismos e por gerar circunstâncias proveitosas para a saúde. Com isso, as informações estudadas demonstraram a importância e evidência da *S. cerevisiae* de acordo com as contribuições que essa levedura consegue atribuir para a bebida alcoólica. Verifica-se, portanto, que a presença da *S. cerevisiae* não apenas viabiliza a produção da cerveja, como também contribui significativamente para sua diversidade sensorial e qualidade final.

Palavras-chave: Fermentação. Levedura. Bebida alcoólica. Indústria cervejeira. Bebida fermentada. Benefícios para a saúde.

Abstract
Beer, a beverage consumed by society for thousands of years, including in Brazil, is produced through fermentation, a process traditionally performed by yeasts such as *Saccharomyces cerevisiae*. In this context, the objective of this study was to highlight the importance of this yeast for beer production through a literature review. To this end, 91 articles were used, located in different scientific databases and selected according to their coverage of the beverage and the yeast in question. The research revealed that the following are necessary for beer production: raw materials (hops, water, malt, and fermenting microorganism); protocol steps (with emphasis on fermentation); precautions, such as microbiological control; and prospective innovations. Regarding *Saccharomyces cerevisiae*, it is described and confirmed in literature as the yeast most widely used in the brewing industry. This is due to factors such as its easy availability, high fermentative capacity, acid resistance, significant genetic diversity, favorable fermentation time compared to other microorganisms, and its beneficial health benefits. Thus, the data studied demonstrated the importance and evidence of S. cerevisiae, based on the contributions this yeast can make to alcoholic beverages. Therefore, it appears that the presence of S. cerevisiae not only enables beer production but also significantly contributes to its sensory diversity and final quality.

Keywords: Fermentation. Yeast. Alcoholic beverage. Brewing industry. Fermented beverage. Health benefits.

Graphical Abstract



*Corresponding author: Lyara B. S. Nascimento. Email Address: lyara.lbsn@gmail.com
Submitted: 22 July 2025; Accepted: 04 October 2025; Published: 10 October 2025.
© The Author(s) 2025. Open Access (CC BY 4.0).

ROYALDATASET

1. Introdução

Segundo Araújo (2016), a cerveja faz parte da história da humanidade aproximadamente há 30 mil anos. Todavia, a produção da cerveja começou por volta de 800 a.C. Na Mesopotâmia, obteve-se a primeira cerveja por meio da moagem dos grãos de cevada, criando uma massa semelhante à do pão. Quando essa massa era deixada exposta às condições ambientais, tornava-se úmida e iniciava um processo de fermentação estimulado por leveduras. Como destaca Costa (2019), o resultado desse processo era uma bebida alcoólica conhecida como pão líquido que apresenta características similares às da cerveja atualmente. No Egito há registros de uma bebida fermentada próximo da cerveja mesopotâmica, considera-se que a civilização egípcia obteve alta responsabilidade na expansão da cerveja.

De acordo com Lourenci (2017), no Brasil, a expansão da cerveja ocorreu lentamente, devido a colonização portuguesa que favorecia o consumo de vinho. A princípio, sua produção era restrita ao ambiente doméstico, sendo consumida exclusivamente por famílias de imigrantes. A chegada de cervejas importadas, principalmente as de origem inglesa, só teve início com a abertura dos portos em 1808. Atualmente, a produção de cerveja no Brasil ultrapassou os 15 bilhões de litros, destacando-se como a bebida alcoólica mais consumida no mercado nacional, de acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA (Brasil, 2024).

O Brasil abrange 1.383 cervejarias ativas, cuja produção representa aproximadamente 1,6% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Anualmente, são produzidos cerca de 14,1 bilhões de litros de cerveja, gerando uma arrecadação média de R$21 bilhões em tributos. O setor conta com uma frota em torno de 38 mil veículos, sendo responsável por gerar 2,7 milhões de empregos. Para cada R$1 investido no ramo cervejeiro, são gerados R$2,50 na economia nacional. Além disso, estima-se que existam 1,2 milhão de pontos de venda espalhados por todo o país, e que aproximadamente 99% das famílias brasileiras sejam atendidas pelo setor cervejeiro. Esses dados destacam a relevância econômica e social da indústria cervejeira no país (Franco et al., 2024).

De acordo com o relatório da Kirin Holdings (2024), o Brasil foi o terceiro maior mercado consumidor de cerveja em 2023, atrás somente da China e dos Estados Unidos. O consumo brasileiro representou 7,8% do total mundial, o que equivale a cerca de 14,932 milhões de quilolitros (14,932 bilhões de litros). Como ilustrado na **Fig. 1**, é possível observar a participação dos principais países no consumo global de cerveja.

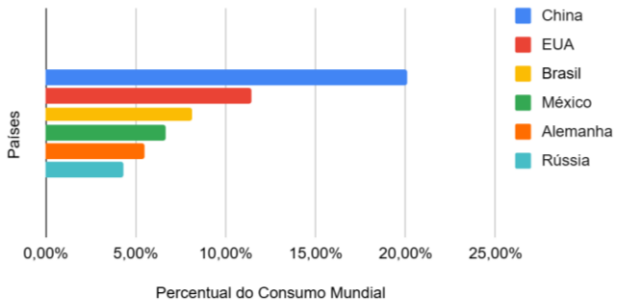


Fig. 1 Participação dos principais países no consumo global de cerveja (2023). Fonte: Kirin Holdings (2024).

De acordo com Melo (2023), as matérias-primas obrigatórias para a produção de cerveja incluem água, malte, lúpulo e levedura cervejeira. A água é a matéria-prima mais abundante e deve ser potável, ter baixo caráter de contaminação microbiológica, e avaliada quanto à dureza (presença íons de cálcio e/ou magnésio), decisiva para a procedência da bebida e de suas etapas. O malte é comumente feito de cevada, cereal do gênero *Hordeum*, devido ao seu alto teor de amido e por germinar facilmente, mas Trentin et al. (2021) discorre que outros grãos, como o trigo, também podem originar essa matéria-prima, sendo o grão responsável por atribuir sabor à cerveja e definir a qualidade do malte, além de fornecer açúcares, proteínas e enzimas que facilitam a etapa da fermentação.

O lúpulo, cujo nome científico é *Humulus lupulus,* é uma planta trepadeira que confere amargor e aroma (devido a óleos essenciais que o constitui) à cerveja, além de ação bacteriostática que ajuda a limitar a ação de microrganismos no processamento da bebida (Almeida & Conto, 2024). Por fim, a levedura (microrganismo vivo, unicelular, pertencente ao reino Fungi) é acrescentada entre as etapas de concepção da bebida alcóolica com o fim de prosseguir a etapa da fermentação, a partir da conversão de açúcares presentes em compostos definitivos da cerveja, como o etanol. A cepa de levedura selecionada implica sobre o sabor específico e aroma da bebida (Pimenta et al., 2020).

O processo de fermentação, crucial para a formação da cerveja, é dividido em duas etapas, a aeróbica, na qual há consumo de oxigênio e reprodução, e a anaeróbica, onde ocorre a fermentação propriamente dita, com a obtenção de álcool e gás carbônico como consequência da ação de leveduras sobre os açúcares presentes no mosto. Essa última fase se perdura no citoplasma celular por ação de enzimas que catalisam doze reações que levam à formação de etanol e gás carbônico a partir do açúcar (Santos et al., 2021). Em continuidade, é controlada no que se refere às condições de acidez, temperatura, potencial hidrogeniônico (pH) e tempo de fermentação, a fim de que o rendimento fermentativo das leveduras seja maximizado (Câmara & Guimarães, 2024).

As leveduras cervejeiras dividem-se entre *ale*, que fermentam em temperaturas mais altas, e *lager*, que fermentam em temperaturas mais baixas. A literatura enfatiza que existem diversos tipos de leveduras utilizadas como escolha para compor o processo fermentativo em cervejas, tais como a *Kveik,* original da Noruega, as do gênero *Saccharomyces*, como a *S. cerevisiae* (produz cerveja do tipo *Ale*, com alta fermentação) e *S. pastorianus* (gera cerveja do tipo *Lager,* com baixa fermentação), *S. pichia*, *S. diastaticus*, ou as do gênero *Brettanomyces*. A espécie mais influente para a produção de cerveja é a *Saccharomyces cerevisiae* (Mafia, 2024; Ribeiro, 2022).

A *Saccharomyces cerevisiae* é a espécie eucariota mais estudada no mundo e um dos organismos mais utilizados na humanidade, sendo usada há centenas de anos na indústria alimentícia e de bebidas, sem qualquer histórico de efeitos indesejados para a saúde humana ou meio ambiente (Lahue et al., 2020). Isso se permite pelas suas diversas vantagens, o que a destaca no meio industrial, tais como facilidade e baixo custo de obtenção, boa capacidade de desenvolvimento, facilidade de manejo, cultivo e acesso. Consegue ainda passar por reutilização, sendo reaproveitada após seu esgotamento na produção de cerveja, por exemplo, a tornando uma biomassa ambientalmente sustentável (Melo, 2021), dado que após o processo de fermentação na indústria cervejeira, as leveduras são separadas do produto e destinadas a um rejeito sólido, manejado para demais setores para formação de outros produtos em razão da minimização de poluição dentro da indústria (Horst & Salles, 2015).

A levedura do gênero *Saccharomyces* consegue usar variados açúcares como fonte de energia (como sacarose, glicose, maltose, manose, galactose e frutose), com adaptação relativa à

condição na qual está inserida, isso é, em um ambiente com ou sem oxigênio, a partir do manejo metabólico que resulta em diferentes produtos, onde os açúcares supracitados produzem álcool e etanol quando a levedura se desenvolve em anaerobiose, enquanto uma biomassa, carbono e água são resultados de seu metabolismo perante o oxigênio. Tendo em vista a eficiência inoculada a sua serventia, a espécie *Saccharomyces cerevisiae* é mais utilizada por apresentar capacidade fermentativa elevada, além de produzir metabólitos anti-contaminantes e apresentar tolerância à altas concentrações de açúcares e à temperatura (Almeida et al., 2024; Horst & Salles, 2015).

Nesse sentido, de acordo com Mori (2024), o ágil crescimento da *Saccharomyces cerevisiae* a permite ser alvo de pesquisas genômicas, que evidenciam semelhança aos genes humanos (cerca de 47% dos genes funcionais dessa levedura possuem análogos nos humanos). Por sua vez, verificou-se capacidade antioxidante das cepas dessa levedura, que contém enzimas endógenas, produzidas por genes, que combatem radicais livres, como a glutationa S-transferase (GST). (Santos et al., 2024) destaca estudos que verificam uso de cepas variantes da *Saccharomyces cerevisiae,* como a *S. cerevisiae* var. *boulardii*, em cervejas artesanais, com predominância de atividade antioxidante, o que mostra a excelência do uso desse tipo de levedura para pesquisas no âmbito da saúde ou como ingrediente tradicional e probiótico em alimentos industriais, como a cerveja.

Dessa forma, essa revisão da literatura busca evidenciar a importância e as vantagens da espécie *Saccharomyces cerevisiae,* conectando suas atividades com a produção de cerveja.

2. Metodologia

O presente trabalho é uma revisão bibliográfica exploratória, observacional e qualitativa. A pesquisa bibliográfica foi conduzida entre 04 de maio até 19 de julho de 2025. As palavras-chave empregadas foram: “levedura,” “cerveja,”, “evidência,” e “comparação.” Os bancos de dados utilizados foram Google Acadêmico, Periódicos CAPES, PubMed, PubMed Central, ResearchGate, ScienceDirect, MDPI e sites da ANVISA, BrewHive, DVKSP, Gov, Kirin Holdings e ZIPTECH. As datas dos dados que foram selecionados ficaram limitadas entre 2015 e 2025.

As 95 referências analisadas, sendo 89 estudos e 6 sites, foram escolhidas seguindo a inclusão de informações que direcionaram o assunto para cerveja e microrganismos, especificamente *Saccharomyces cerevisiae*, mas ainda, inicialmente, foram coletadas informações que abordaram assuntos generalistas como probióticos, cevada e a própria levedura a fim de introduzir o presente trabalho. Por outro lado, referente ao critério de exclusão, os materiais não relacionados à *S. cerevisiae* aplicada à cerveja, isto é, a levedura aplicada em outros alimentos, como pães e outras bebidas alcoólicas, não foram selecionados neste estudo. Além disso, foram excluídos documentos não disponíveis na íntegra por restrições de acesso, bem como fontes legais, regulamentares ou sites institucionais que não traziam informações diretamente vinculadas ao foco microbiológico ou tecnológico da cervejaria

Assim, após uma leitura atenciosa dos resumos e dos títulos, foram selecionados para leitura integral as fontes em inglês ou português que mais se relacionavam com a proposta deste trabalho.

3. Resultados e Discussão

3.1. Matérias-primas utilizadas na produção da cerveja

3.1.1. Cevada e a malteação, lúpulo, água, levedura.

A **Fig. 2** apresenta um resumo esquemático das matérias-primas utilizadas para a produção de cerveja. A água presente em uma lata de cerveja constitui uma margem de 90% a 95%, fazendo com que boa parte do produto seja composto por ela. Logo, pode-se compreender que é um ingrediente de suma importância na composição da cerveja, e o controle de qualidade deve ser feito com alto rigor. Para isso, características físico-químicas são analisadas, como a turbidez, cor, odor e temperatura, controladas para evitar que haja alterações sensoriais no produto final. Além disso, o controle microbiológico é feito em função do quantitativo de coliformes e agentes patogênicos que possam vir a ser detectados na água, garantindo qualidade no produto final (BrewHive, 2025; ZIPTECH, 2023).



Fig. 2 Matérias-primas utilizadas na produção de cerveja.

A cevada e o malte estão intimamente ligados, onde o grão da cevada passa pelo processo de malteação, que, após a colheita da safra, são armazenados em grandes silos e direcionados para a indústria responsável pelo processo de síntese do malte, que é a indução do grão da cevada no processo germinativo e logo em seguida interrompido, fazendo com que o amido se apresenta em cadeias menores, tornando-o mais solúvel e menos rígido, onde enzimas no interior da semente serão participantes fundamentais para a fabricação da cerveja. A depender do armazenamento deste grão, alguns riscos à segurança alimentar podem estar ligados. O tempo de processamento até se obter o malte de cevada não está imune de todas as micotoxinas, onde 35 delas podem estar presentes como subproduto (Medeiros, 2023).

O lúpulo é uma planta trepadeira, onde as flores fêmeas são exclusivamente selecionadas para a confecção da cerveja, e isso é atribuído à sua maior quantidade de resinas amargas e óleos essenciais. Esses caracteres garantem à cerveja seu sabor amargo e o aroma característico, sendo os *pellets,* obtidos a partir da prensagem de suas flores, a forma mais comum utilizada. Foi observado que componentes do lúpulo podem modular a forma que as enzimas antioxidantes são ativas e também os níveis de glutationa (GSH), garantindo uma proteção contra estímulos tóxicos (Almeida & Conto, 2024; Almeida et al., 2024; Vazquez-Cervantes et al., 2021). Os lúpulos podem interagir com compostos fenólicos produzidos por leveduras selvagens que vierem a ser utilizada na produção de cerveja, onde a natureza volátil desses compostos pode interferir no aroma primário da cerveja, fazendo com que as características que se deseja nesta

bebida sejam suprimidas pelos compostos gerados pela contaminação (Aduan Junior et al., 2025).

As leveduras são organismos eucarióticos que contemplam o reino *Fungi*. Estão presentes em diversos processos bioquímicos, sendo utilizadas na produção de cerveja muito antes de nossa sociedade como a conhecemos hoje. Sua função inclui a conversão de açúcares em álcool, sendo a mais utilizadas dentro das cervejarias a espécie *Saccharomyces cerevisiae* (utilizada principalmente em cervejas Ale) *e Saccharomyces pastorianus* (utilizada em cervejas Lager) (Iorizzo et al., 2021).

3.1.2. Contaminação das matérias-primas

Além das espécies do gênero *Saccharomyces*, existe a possibilidade de contaminação indesejada das matérias-primas, como, por exemplo, por *Lactobacillus*, *Pediococcus* e bactérias ácido-acéticas, especialmente *Acetobacter* spp. e *Gluconobacter* spp. Tal contaminação tende a prejudicar a qualidade do produto final. A literatura demonstra que a matéria prima utilizada para a produção de cerveja também pode sofrer com a contaminação química durante o cultivo, processamento e embalagem, sofrendo ação de micotoxinas como as desoxinivalenol, Zearalenona, fusarenon-X. Em casos raros a cerveja pode perecer a partir de bactérias Gram-positivas e bactérias de caráter acéticos Gram-negativas, que são pertencentes ao seguintes gêneros: *Estafilococo, Bacilo, Enterobacter e Zymomonas*, que vão alterar características como pH, viscosidade, turbidez e assim tornar o sabor da cerveja desagradável (Ciont et al., 2022).

Os grãos de cevada, após a safra ter sido coletada, são direcionados para silos, local onde a manutenção da qualidade deve ser prioridade para as indústrias, tendo em foco propriedades como teor de umidade, atmosfera e período de armazenagem, controle de pragas, temperatura e umidade relativa do ar, percentual de grãos danificados, presença de impurezas, matérias estranhas, microrganismos, insetos e ácaros. Dentro deste mundo microbiano, há quatro principais grupos que podem ser encontrados sobre ou dentro das sementes de cevada, sendo eles: vírus, bactérias, fungos e protozoários, onde a ocorrência se explica pela alta proliferação desses indivíduos e por possuírem a capacidade fisiológica de aproveitar os grãos da cevada como fonte de nutrientes (Domenico et al., 2015).

Diversos autores destacam a facilidade da contaminação de grãos por micotoxinas produzidas por fungos filamentosos. A exemplo, um estudo realizado no Brasil no período de 2015 apontou que 94% das amostras brasileiras de cevadas estavam contaminadas por desoxinivalenol (DON). O DON é uma micotoxina sintetizada por alguns fungos do gênero *Fusarium*, a qual está propensa em afetar animais e humanos, onde acarreta para a espécie humana sintomas como náuseas, vômitos, vertigens, problemas gastrointestinais e diarreias. Dentre os pequenos grãos, a cevada é uma das principais afetadas pelo fungo *F. graminearum*, espécie considerada de alta virulência à qual possui a capacidade fisiológica de produzir o desoxinivalenol (Tadei et al., 2020).

3.2. Fermentação alcoólica

A fermentação alcoólica é a etapa central do processo de produção de cerveja, na qual os açúcares presentes no mosto são convertidos em álcool e dióxido de carbono através da ação de leveduras, como as do gênero *Saccharomyces* (Goyal et al., 2023; Lasanta et al., 2021). Embora a maioria das cervejarias utilize culturas de levedura pura para fermentação, a fermentação espontânea ou mista é também empregada para produção de algumas cervejas artesanais genuínas, sequencialmente oferecendo à bebida um elevado grau de complexidade, tendo em vista que as leveduras estão intimamente relacionadas às propriedades organolépticas do produto final (Maicas, 2020; Testa et al., 2022).

As leveduras do gênero *Saccharomyces* tem grande importância dentro da indústria na produção de cerveja, com destaque para as espécies *S. cerevisiae* utilizadas no produção de cerveja Ale (alta fermentação), a uma temperatura de 12°C a 25°C, atuando no topo do mosto. No entanto, Lima (2024) identificou resultados que divergem das evidências descritas na literatura, indicando que a levedura de fermentação alta não atuou somente na superfície, mas sim por todo o mosto. *S. cerevisiae* tem a capacidade de produzir etanol e outros compostos de dois carbonos em via aeróbica, ao invés de usar via respiratória para metabolizar sacarídeos e gerar o crescimento da biomassa. Além disso, essas possuem elevado poder de fermentação, sendo uma característica de grande importância industrial, considerando que reflete em um alto rendimento na produção (Horst & Salles, 2015; Parapouli et al., 2020). Ademais, a aplicação de temperaturas mais elevadas em comparação com a fermentação do tipo Lager com *S. cerevisiae,* além de gerar aroma agradável, proporciona sabor mais frutado e complexo à bebida, característica que pode ser atribuída a uma maior produção de ésteres (Lin et al., 2021).

A cerveja Ale predominou por vários anos até que, por volta do século XVI, surgisse a cerveja Lager, obtida por baixa fermentação a temperaturas inferiores ao estilo ale, entre 6°C a 14°C. A levedura Lager surgiu com a fabricação de cerveja pelos mosteiros bávaros em meados do século XVI por meio da fabricação de cerveja nos períodos mais frios do ano e armazenamento em cavernas escuras e frescas. O resultado desse método foi a domesticação de uma nova levedura, a *Saccharomyces pastorianus*, híbrida que combina o alto poder fermentativo de *S. cerevisiae* e a tolerância ao frio de *S. eubayanus* (Lin et al., 2021). De acordo com Lasanta et al. (2021), a híbrida possui como característica atuar no fundo do mosto e uma reprodução mais lenta e menos densa, e seu emprego resulta em uma cerveja de sabor seco e mais limpa. Contudo, O. R. Lima (2024) constatou a fermentação da levedura Lager por todo o mosto e não somente no fundo. Em comparação com a cerveja Ale, Lager domina o mercado atual, representando 90% do consumo global, visto que seu sabor refrescante e suave agrada o público em geral e seu método de produção é facilmente escalonável, o que propicia uma eficiente produção em larga escala (Romero-Rodríguez et al., 2022).

Diferentes espécies do gênero *Saccharomyces* também são utilizadas na indústria, e a escolha da cepa de levedura para o processo de fermentação é crucial na construção dos aromas e sabores. Cada cepa é responsável por características distintas devido a diferenciação do processo fermentativo onde ocorrem reações, na qual os açúcares são transformados em álcool e compostos voláteis no interior das células de leveduras, sendo esses responsáveis pelo aroma e sabor da cerveja (Lima, 2024). Segundo Goyal et al. (2023), a inoculação refere-se ao processo de adição dessas leveduras ao mosto e, na produção de cervejas artesanais, esses microrganismos geralmente são recuperados de fermentações anteriores, o que distingue esse processo do industrial. Previamente, esse inóculo é lavado com ácido fosfórico, ácido tartárico ou persulfato de amônio, e é posteriormente sedimentado a fim de diminuir o pH para cerca de 2,5 e eliminar possíveis contaminações bacterianas significativas. Um inóculo novo geralmente é utilizado quando há evidências de contaminação relevante ou quando a viabilidade das leveduras reduz, fatores que

impactam tanto na qualidade quanto na segurança e eficiência da fermentação. Como já citado, na fabricação de Ale, as leveduras sobem à superfície (essa fermentação é feita em tanques abertos), ao passo que, na produção de Lager, as leveduras se sedimentam no fundo do tanque, o qual é fechado (**Fig. 3**).

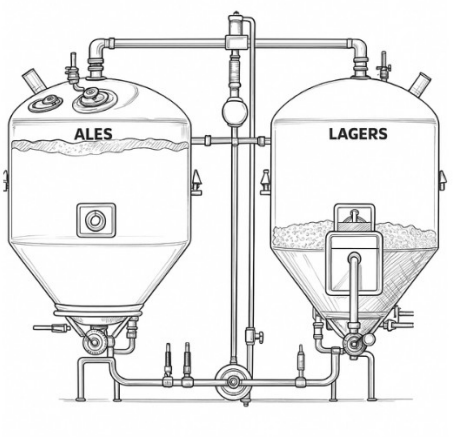


Fig. 3 Representação da fermentação Ale (tanque aberto) e Lager (tanque fechado). Adaptado de DVKSP (2017).

Ainda, de acordo com Goyal et al. (2023), o processo de fermentação é influenciado pelas matérias-primas e leveduras utilizadas e, em comparação com a fermentação aberta, a fermentação fechada é mais comum na obtenção de cerveja, visto que é mais simples o controle de leveduras e microrganismos indesejáveis. Segundo Thesseling et al. (2019), durante a fermentação, ao converter os açúcares em etanol e dióxido de carbono, há a produção de diversos metabólitos secundários que variam conforme a cepa de levedura utilizada que conferem características de aroma e sabor à bebida, a exemplo do aroma de abacaxi que se dá pela liberação de hexanoato de etila durante a fermentação. No mesmo trabalho, é destacado que, inicialmente, é realizada a fermentação primária, a qual tem duração de cerca de 10 dias e cujo produto final é denominado de cerveja verde. Após a obtenção dessa cerveja, a maior parte da levedura é removida e a cerveja é transferida para um tanque de maturação e acondicionada a baixas temperaturas por alguns dias (cervejas Ale) ou até semanas (cervejas Lager). Durante esta maturação, as leveduras remanescentes ainda são metabolicamente ativa e podem produzir dióxido de carbono e etanol, bem como suavizar sabores indesejados, como o diacetil, que proporciona aroma amanteigado e rançoso à bebida.

Do ponto de vista nutricional, as leveduras não são particularmente mais exigentes em comparação com outros microrganismos. Entretanto, estes seres eucariontes necessitam de compostos básicos para seu crescimento, como açúcares fermentáveis (como glicose, maltose ou sacarose), aminoácidos (como asparagina, glutamina, glutamato), amônio, vitaminas, minerais e concentrações adequadas de oxigênio (Cruz, 2021; Maicas, 2020). É relevante ressaltar que a interação entre fontes distintas de nitrogênio e de carbono é imprescindível para eficiência do processo fermentativo por esses microrganismos. Convém pontuar que concentrações reduzidas dessas fontes podem limitar o crescimento das leveduras e, por consequência, o rendimento fermentativo (Cruz, 2021).

A água é essencial no processo de fermentação com leveduras de *S. cerevisiae*, tendo em vista que o elevado teor de açúcares pode reduzir a disponibilidade de água para as células dos microrganismos, comprometendo de modo negativo a fisiologia celular. Com relação ao pH, em geral, as leveduras as leveduras proliferam satisfatoriamente em ambientes ácidos com pH entre 4,5 e 6,5 (Walker & Stewart, 2016), o que corrobora com o estudo de Salari & Salari (2017), o qual revelou que em pH mais ácido (pH=4) a velocidade de fermentação e a viabilidade celular são otimizadas. Nesse pH, a levedura de *S. cerevisiae* atingiu a maior taxa de crescimento (fase log de 7 horas) e a máxima densidade populacional (1,2 × 10^9 células/mL). No mesmo estudo, revelou-se que este pH também se mostrou eficiente para favorecer a neutralização do etanol metabólico, reduzindo os efeitos inibitórios impostos pelo etanol às células fermentadoras (como danos à membrana celular e inibição enzimática), um achado relevante para fermentações de alta gravidade ou lotes com alto teor alcoólico.

Comumente, as leveduras desenvolvem-se em temperaturas ligeiramente mais elevadas, em torno de 20°C a 30°C, a exemplo da *S. cerevisiae*. Entretanto, como supracitado, as leveduras *S. pastorianus* desenvolvem-se melhor em temperaturas entre 5°C a 15°C (Romero-Rodríguez et al., 2022). No que tange às necessidades de oxigênio, embora a *S. cerevisiae* seja denominada como uma anaeróbia facultativa, essa levedura não é capaz de desenvolver-se sob condições estritamente anaeróbias. Isso ocorre pois o oxigênio é um fator de crescimento para a biossíntese de ácidos graxos de membrana e esteróis, essenciais para o crescimento desse microrganismo. Por conseguinte, para fermentações alcoólicas eficientes, pode-se fornecer uma mínima concentração de oxigênio no início da fermentação ou suplementar o meio com fatores de crescimento, como ácidos graxos e esteróis (Walker & Stewart, 2016). Na pesquisa de Salari & Salari (2017), constatou-se que a porcentagem de oxigênio dissolvido (OD) que melhor favorece o crescimento e reprodução de *S. cerevisiae* é de 5%, ao passo que, em condições com alto oxigênio dissolvido (OD > 5%), o etanol pode ser oxidado a acetaldeído (composto tóxico), que danifica proteínas e DNA celular. Logo, observa-se que esses fatores influenciam diretamente no rendimento fermentativo.

3.3 Microbiota indesejada/contaminantes

3.3.1 Bactérias láticas: *Lactobacillus, Pediococcus.*

A literatura demonstra que as bactérias láticas se enquadram como as mais nocivas para a indústria, e isso ocorre por conta da capacidade de sobrevivência que esses organismos possuem em suportar temperaturas entre 30°C e 40°C, estando em seu pH ótimo entre 5,5 e 6,0. *Lactobacillus* e *Pediococcus* são reconhecidas como as bactérias mais perigosas para a indústria cervejeira, pois estão envolvidas em aproximadamente 70% dos casos de deterioração microbiana na cerveja, alterando as propriedades físico-químicas do produto final por conta da produção de ácido diacético, ácido lático e polissacarídeos extracelulares (Xu et al., 2020). Dentre os componentes da cerveja, o lúpulo que é consumido pela indústria de cerveja atingindo em torno de 97% garante para a produção da cerveja, aroma, amargor e estabilidade coloidal da espuma, além de atuar como antioxidante e antimicrobiano o que vai proteger contra contaminação microbiológica (Durello et al., 2019), fazendo com que a maioria das bactérias seja inibida pelo efeito antimicrobiano do lúpulo, entretanto *Pediococcus damnosus, Lactobacillus brevis, Lactobacillus lindneri* possuem propriedades anti-lúpulo e podem se adaptar ao ambiente da cerveja (Xu et al., 2020).

As bactérias láticas não apenas produzem metabólitos indesejáveis, mas também afetam a cinética fermentativa da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, comprometendo seu

desempenho no processo de fermentação alcoólica (Liu et al., 2022). A disputa por nutrientes fundamentais, como aminoácidos, vitaminas e açúcares fermentáveis, pode resultar na diminuição da viabilidade e vitalidade das leveduras, o que impacta diretamente a produtividade e a qualidade sensorial da cerveja. Além disso, a presença dessas bactérias pode causar aumento da turbidez, formação de sedimentos e mudanças na viscosidade da bebida, afetando sua estabilidade e aceitação no mercado (Al-Kharousi, 2025). Nesse sentido, o monitoramento microbiológico constante, combinado com práticas de higiene rigorosas e controle preciso das condições de processo, é essencial para assegurar a pureza da cultura de *Saccharomyces cerevisiae* e a preservação do padrão de qualidade requerido na indústria cervejeira.

3.3.2 Leveduras selvagens: *Brettanomyces, Candida.*

Estudos apontam que as leveduras invasoras tornam-se um problema dentro do escopo da indústria da cerveja por sua alta competitividade no processo de bioconversão de açúcares, competindo com bactérias láticas por nutrientes. Dessa forma, durante a fermentação, os metabólitos a serem utilizados pela levedura ficam limitados, reduzindo a viabilidade, metabolismo e multiplicação celular (Raposo, 2022). De acordo com Kilmanoglu et al. (2024), as leveduras do gênero *Candida* estão presentes nos processos fermentativos, mas são as do gênero *Brettanomyces* que tem causado maiores problemas no processo de fermentação. Enquanto as leveduras como *Brettanomyces* e *Saccharomyces* são encontradas em microbiomas da matéria-prima, o gênero *Candida* é mais comumente encontrado em cervejas maturadas em barris (Tyakht et al., 2021).

A presença de leveduras selvagens constitui um desafio considerável para a estabilidade microbiológica e sensorial da cerveja, especialmente em estilos que não contemplam sua inclusão no processo de fermentação. Espécies como *Brettanomyces* são reconhecidas por sua habilidade de gerar compostos fenólicos voláteis, como 4-etilfenol e 4-etilguaiacol, que conferem aromas classificados como “medicinal”, “couro” ou “animal” (Lentz, 2018). Na maioria das vezes, esses aromas são vistos como defeitos sensoriais pela indústria convencional. Ademais, essas leveduras têm um metabolismo lento (Nikulin et al., 2020), o que pode levar a refermentações indesejadas na fase posterior à embalagem do produto. Isso pode causar turbidez, elevação da pressão nas garrafas e instabilidade no teor alcoólico e no perfil organoléptico final da cerveja. Apesar de alguns estilos de cerveja artesanal usarem *Brettanomyces* de forma intencional para adicionar complexidade aromática, sua presença não controlada é considerada uma contaminação severa. Portanto, o controle se faz necessário ser feito rigorosamente as matérias-primas, equipamentos e ambientes de maturação para prevenir a introdução e o crescimento dessas leveduras selvagens, especialmente em processos que exigem cepas puras e estabilidade do produto.

3.4 Controle microbiológico e Boas Práticas de Fabricação

A detecção de microrganismos contaminantes é essencial para assegurar qualidade e segurança aos consumidores da cerveja, dado que encontrar contaminantes de maneira precoce evita a proliferação durante o processo de produção, impactando, ainda, a reputação da empresa confeccionista e a viabilidade econômica. De modo geral, técnicas clássicas de detecção como cultivo microbiano em meios seletivos são bastante utilizadas devido ao custo-benefício, ainda que demonstrem limitações relacionadas, por exemplo, ao tempo de crescimento retardado de alguns microrganismos. Em razão disso, técnicas moleculares mais eficientes vêm sendo preferíveis como métodos de detecção, mesmo que sejam mais custosas, tais como PCR (*Polymerase Chain Reaction*), que analisa sequências específicas de DNA de contaminantes de maneira rápida, ou NGS (*Next-Generation Sequencing*), que permite encontrar a composição completa da microbiota em amostras de cerveja, sendo eficiente para a descoberta de contaminação cruzada por vários microrganismos na bebida alcoólica (Aduan Junior et al., 2025).

Organizações internacionais como a European Brewery Convention (EBC) recomendam uso de determinados meios de cultura de acordo com a bactéria procurada, mas não são específicos para cada espécie, tais como LL-Ágar, Meio Tioglicolato ou MRS concentrado para bactérias Gram-negativas e meios *Nakagawa*, Ágar de *Lee’s Multi-Differencial* (LMDA) ou *Bold’s Basal Medium* (BMB) para pesquisa de bactérias ácido láticas. A escolha do meio seletivo para investigação de leveduras selvagens também é realizada de acordo com o tipo desse organismo (Silva, 2017).

De acordo com Torrezan (2022), a qualidade da cerveja durante sua fabricação deve ser garantida para que a segurança do consumidor seja devidamente assegurada, estando atrelada à condição da matéria-prima, à etapa de fabricação (principalmente a etapa de fermentação) e às condições de armazenamento. Um padrão de qualidade nas indústrias, incluindo a cervejeira, pode ser alcançado com a implementação do programa de Boas Práticas de Fabricação (BPF), regulamentada pela ANVISA, que estabelece parâmetros para estrutura do espaço físico, mão de obra treinada e procedimentos operacionais. Todas as etapas da produção devem seguir as regulamentações do manual de BPF, desde os cuidados com a matéria prima até a fase de envase do produto (Brasil, 2025).

São essas diretrizes que asseguram a qualidade dos processos e a garantia de saúde dos consumidores. No Brasil, as diretrizes gerais de BPF são estabelecidas pela Portaria SVS/MS nº 326, de 30 de julho de 1997, em conjunto com a RDC 275, de 21 de outubro de 2002, que introduz os Procedimentos Operacionais Padrões (POPs), que têm o objetivo de minimizar a ocorrência de possíveis erros durante a execução de tarefas (Menezes, 2019). Seguindo devidamente o programa, todos os setores da indústria obedecem a esses padrões de funcionamento, os POPs, com passos detalhados para o cumprimento de todas as atividades, a partir do qual os funcionários devem ser treinados e adaptados em vista da otimização dos processos (Torrezan, 2022).

A limpeza dos equipamentos envolvidos na produção de cerveja é uma etapa crucial para o bom desenvolvimento da fermentação, dado que a presença de microrganismos diferentes das leveduras fermentadoras compromete o crescimento dessas. A limpeza pode ocorrer por ação física, química ou térmica e obedece a aplicação prévia de um detergente químico sobre as superfícies, seguida de enxague, fase em que se verifica a eliminação de sujidade e redução de microrganismos presentes (Menezes, 2019).

Da mesma forma, Aduan Junior et al. (2025) indicam que a sanitização dos equipamentos que entram em contato com a cerveja é indispensável para o controle microbiológico e garantia da qualidade da cerveja. Assim, produtos desinfetantes como peróxidos e compostos à base de cloro e limpeza mecânica com escovas ou jatos de alta pressão devem ser aplicados para evitar a formação de biofilmes, principalmente em áreas onde a ocorrência de microrganismos contaminantes é insistente, como válvulas e tubulações. Ademais, outras abordagens podem ser eleitas para o controle de contaminantes, como uso de agentes

biológicos e naturais com propriedades antimicrobianas (óleos essenciais, extratos de plantas) incorporados aos desinfetantes tradicionais, ou ainda o controle de oxigênio durantes algumas etapas de produção a fim de reduzir a atividade de contaminantes aeróbicos, como as bactérias ácido-acéticas.

3.5. Aspectos de segurança e qualidade

A **Fig. 4** apresenta os principais aspectos que podem interferir na segurança e na qualidade da cerveja.



Fig. 4 Principais fatores que interferem na qualidade e segurança da cerveja.

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é uma das antigas culturas de grãos cultivadas e usadas em todo o mundo, sendo cultivada há cerca de 10.000 anos, conforme reportado por Tricase et al. (2018). Na perspectiva de ordem social e econômica a cevada tem solidificado a sua relevância. Para enfatizar a vasta aplicabilidade do cereal, Piacentini (2015) menciona que é ele utilizado na produção e industrialização de bebidas (cerveja e destilados), na composição de farinhas para panificação, na produção de medicamentos e na formulação de produtos dietéticos e de substitutos do café. A cevada é conhecida de forma global na produção de cerveja. No ramo econômico da produção de grãos ocupa o 4º lugar a nível mundial, posterior ao milho, trigo e arroz (Iwase, 2022). O malte pode ser produzido a partir de outros grãos, no entanto, a cevada é preferencialmente empregada para malteação e produção de cerveja (Almeida & Ribeiro, 2024). Isso pode ser justificado pelo equilíbrio da produção de enzimas, das substâncias nitrogenadas que contribuem para que a espuma seja formada, e a eficácia da casca na filtração do mosto, além do elevado índice de proteínas que beneficiam o desenvolvimento da levedura (Torrezan, 2022).

A cultivação agrária encontra desafios em razão da suscetibilidade biológica às contaminações de microrganismos patogênicos, o que também abrange a cevada. O desenvolvimento fúngico pode resultar na produção de substâncias que modificam de forma negativa as características organolépticas, como o sabor e o aroma do produto final, como é o caso da cerveja. Enquanto Piacentini (2015) observou que o crescimento fúngico pode levar à perda de substâncias nutritivas e resultar na contaminação por substâncias tóxicas, denominadas micotoxinas.

As micotoxinas são metabólitos secundários de baixa massa molecular, produzidas pelos fungos filamentosos, principalmente os dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, e são formadas por uma série de compostos de diferentes toxicidades. Por outro lado, existem fungos que têm benefícios no setor agroecológico, como descrito por Abreu et al. (2015), que eles mantêm o equilíbrio do ambiente, decompondo restos vegetais, degradando substâncias tóxicas, auxiliando as plantas a crescerem e se protegerem contra inimigos, como outros microrganismos patogênicos.

A concentração das micotoxinas pode variar de acordo com a região. Fatores extrínsecos como: clima, altas temperaturas e umidade podem beneficiar a sua formação. O clima tropical brasileiro é oportuno para o crescimento de fungos que produzem essa toxina. Um fungo pode ser capaz de produzir numerosas micotoxinas (Borowsky, 2025). Elas se caracterizam por serem resistentes às variações de pH e às temperaturas elevadas, além de geralmente serem hidrossolúveis (Pires, 2020).

As matérias-primas presentes nos principais ingredientes utilizados no processo produtivo da cerveja podem ser alvo de contaminação destas toxinas naturais. As micotoxinas comumente vistas nos produtos da agricultura são aflatoxinas (AFs), desoxinivalenol (DON), zearalenona (ZEN), ocratoxina A (OTA), fumonisinas (FB) e toxina T-2. Substâncias como essas podem estar presentes ao decorrer das etapas produtivas da bebida alcoólica, de forma predominante através da transferência de cereais para o malte, uma vez que a cerveja tem uma elevada estabilidade térmica e solubilidade em água (Penha et al., 2025).

Estudos relatam sobre o impacto dos efeitos das micotoxinas na saúde dos humanos quando expostos à essas substâncias nocivas. O que foi reportado por Piacentini (2015), é que, de um modo geral, o principal problema causado pelas micotoxinas é o potencial carcinogênico e mutagênico, o que contribui para danos ao DNA humano e podem ter efeitos irreversíveis ou não.

Em função das características inerentes à cerveja, o crescimento de patógenos são inibidos. Isso é resultado da presença de etanol, dos componentes amargos de lúpulo, da acidez do pH, da elevada concentração de CO_2 e baixa disponibilidade de nutrientes que favorecem o crescimento microbiano (Roselli et al., 2024).

Um estudo semelhante realizado por Silva (2017) mostra que, embora a cerveja tenha um caráter inibitório do ponto de vista microbiológico, alguns microrganismos podem se desenvolver e conseguem sobreviver a essas condições desafiadoras. É o caso das bactérias, como por exemplo, as Gram-positivas dos gêneros *Lactobacillus* e *Pediococcus* e as Gram-negativas dos gêneros *Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Pectinatus* e *Megasphaera*. A contaminação também pode ocorrer por meio da multiplicação de leveduras selvagens *Saccharomyces* e não *Saccharomyces*. Esses microrganismos se distinguem das cepas empregadas no processo de fermentação.

A contaminação pode ocorrer por consequência de fatores extrínsecos, isto é, resultante de razões externas e das condições do ambiente, como por exemplo, as áreas de produção e armazenamento. Fatores como ventilação, umidade e temperatura, os equipamentos e superfícies (Aduan Junior et al., 2025). Silva (2017) destaca que a contaminação microbiana pode ser oriunda da matéria prima e do processo de envase e distribuição.

A qualidade e a segurança da cerveja necessitam da adoção das Boas Práticas de Fabricação (BPF) do ciclo de produção e deriva da colaboração dos 6M: máquina, método, matéria prima, meio ambiente, mão de obra e medida (Torrezan, 2022). Portanto, faz-se necessário adotar metodologias que norteiam os cervejeiros a identificar os possíveis parâmetros de desvio de qualidade.

Segundo Betancur et al. (2020), por ser a cerveja a bebida mais consumida no mundo, os consumidores buscam tanto segurança quanto qualidade. É primordial a garantia de que a

bebida não ofereça riscos à saúde, ao passo que apresente uma boa qualidade sensorial. Métodos de controle de qualidade e detecção para atenuar a presença de contaminantes são cruciais para assegurar a confiabilidade e integridade do produto final ao consumidor. No Brasil, as indústrias devem seguir as regras estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) de modo a assegurar a qualidade e a segurança de seus produtos, previamente do começo da cadeia reprodutiva até o produto final.

No conjunto de leis brasileiras, são definidos pelas Normas de Identidade e Qualidade de Cevada para comércio interno, fundamentos que estabelecem a qualidade da cevada para produzir o malte. No controle de qualidade, há metodologias que podem ser aplicadas pelas indústrias de cerveja. A classificação é um ensaio físico, onde peneiras vibratórias são usadas para permitir a separação dos grãos do lote de acordo com o grau classificatório de qualidade, os considerados de primeira qualidade são os grãos que ficam aprisionados nas duas primeiras peneiras, e os de segunda qualidade, são os retidos na terceira peneira (Torrezan, 2022).

A qualidade das características do malte na produção cervejeira pode ser avaliada a partir do poder diastático, friabilidade, Índice de Kolbach/KZ e Índice Hartong/VZ. O poder diastático é a somatória da atividade enzimática amilolítica, responsável pela degradação do amido, a variação ocorre em função da desnaturação das enzimas, que pode resultar no baixo poder diastático, em função de quanto mais tostado o malte, do contrário quando maior o poder diastático maior a eficiência de degradação dos carboidratos complexos em mais simples. A friabilidade é a facilidade de fragmentação dos grãos, quanto menor, mais baixo é o rendimento da brassagem. O Índice de Kolbach/KZ classifica a modificação do malte, relacionando-se a razão da porcentagem do nitrogênio solúvel e do nitrogênio total. O Índice Hartong/VZ os valores correspondem à atividade da enzima e a solubilidade das proteínas, a partir da mosturação em graus distintos de temperatura, que pode variar entre 20, 45, 65 e 80 ºC (Hornik, 2024).

Os procedimentos de detecção de contaminantes que são aplicados, o cultivo microbiológico em meios seletivos é o mais operado, por isso, apresentam um melhor custo-benefício (Aduan Junior et al., 2025; Silva, 2017). Como reportado por Oldham & Held (2023), para que os métodos de identificação microbiana tenham bom êxito é imprescindível que sejam rápidos, específicos, confiáveis, precisos, quantificáveis, sensíveis e acessíveis.

A evolução nas técnicas laboratoriais possibilita que as indústrias identifiquem os agentes contaminantes de modo mais eficaz, em vista que pode levar menos tempo se comparado aos métodos que utilizam meios de cultura, este último, por sua vez, pode ser um processo mais lento, uma vez que depende do tempo de crescimento do microrganismo. Estudos mostram que técnicas de PCR têm sido recomendadas em razão da agilidade nos resultados (Aduan Junior et al., 2025; Silva, 2017). O método de ELISA também pode ser proposto (Silva, 2017), pois se fundamenta em reações imunoenzimáticas entre o antígeno e o anticorpo, detectáveis através de reações enzimáticas (Souza, 2024).

Conforme reportado por Aduan Junior et al. (2025), técnicas de Sequenciamento de Nova Geração (Next-Generation Sequencing, NGS), possibilitam a identificação integral do perfil microbiano em amostras de cerveja. Outras metodologias podem ser empregadas, conforme pressupostos discutidos por Aduan Junior et al. (2025), a exemplo de rotina de sanitização apropriada e adoção de procedimentos de controle de precaução, além da filtração na parte do envase com o uso de filtros de porosidades distintas para reter o microrganismo de acordo com o tamanho, bem como a aplicação de agentes de origem natural e biológica para restringir o desenvolvimento microbiano. A efetivação de análises criteriosas e rigorosas é imprescindível para assegurar a qualidade e segurança da cerveja.

3.6 Inovações e tendências

A **Fig. 5** apresenta um compilado das atualizações, inovações e tendências do mercado cervejeiro.

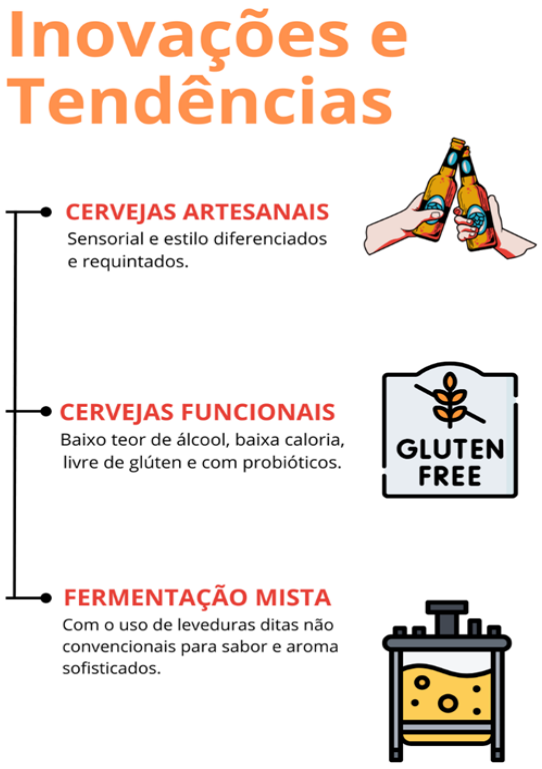


Fig. 5 Inovações e tendências no ramo cervejeiro.

O mercado cervejeiro tem alcançado destaque e inovação, conforme o estudo de Carvalho & Carvalho (2018), que destacam a participação progressiva da cerveja artesanal no Brasil. No estudo, os autores mencionam que as microcervejarias fabricam cervejas diferenciadas, distinguindo-se das produções em massa de escala industrial, além de prezar pela qualidade dos ingredientes e nas boas práticas de fabricação. Em contraponto à indústria cervejeira de larga escala que prioriza a padronização de seus produtos, as cervejas artesanais possuem proposta de conferir características peculiares às suas bebidas e, como resultado, oferecer ao consumidor sabores únicos provenientes de processos tecnológicos específicos e da seleção de matérias primas de qualidade responsáveis pelos perfis aromáticos e nutricionais singulares. Por conseguinte, observa-se a tendência ascendente do mercado de bebidas por inovações, especialmente para o desenvolvimento de cervejas especiais, com teor reduzido de álcool, baixa caloria, livre de glúten e cervejas funcionais, isto é, cujo objetivo é atuar como agentes promotores da saúde. Entre as cervejas funcionais, destaca-se a aplicação de probióticos, os quais estão presentes durante o processo de fermentação da cerveja (Canonico et al., 2021).

Os probióticos podem ser definidos como microrganismos vivos que podem favorecer a saúde do indivíduo, desde que consumidos em quantidades ideais (Albuquerque et al.,

2021). Para segurança do consumidor, o limite é de 10^7-10^9 Unidade Formadora de Colônia (UFC)/mg/dia (Ranjha et al., 2021). Como evidenciado por (Canonico et al., 2022), as cervejas artesanais apresentam potencial promissor para atuar como veículos de entrega de probióticos, visto que não são submetidas a processos de pasteurização e filtração.

Os efeitos benéficos à saúde foram majoritariamente atribuídos às cepas probióticas específicas dos gêneros bacterianos *Lactobacillus, Bifidobacterium, Enterococcus, Streptococcus, Pediococcus, Leuconostoc, Bacillus* e *Escherichia*. Apesar de predominantemente os microrganismos probióticos em cervejas serem representados por bactérias láticas, o gênero de levedura *Saccharomyces* provou-se eficaz em estudos duplo-cegos, sendo *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii* a primeira levedura probiótica descoberta (Staniszewski & Kordowska-Wiater, 2021). Em seus estudos, Mulero-Cerezo et al. (2019) e Vrînceanu et al. (2025) evidenciam que cervejas probióticas apresentam eficácia na promoção da saúde. Mulero-Cerezo et al. (2019) relataram que o emprego unicamente da levedura *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* foi capaz de produzir cerveja artesanal com elevada atividade antioxidante, menor teor alcoólico, atributos sensoriais semelhantes às comerciais e maior viabilidade de levedura após 45 dias do que cervejas produzidas por uma cepa de *Saccharomyces cerevisiae*, amplamente difundida comercialmente. Por outro lado, Vrînceanu et al. (2025) investigaram o potencial probiótico aplicado a cervejas artesanais não somente de *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii,* mas também de outros dois gêneros de levedura: *Starmerella bacillaris*, que demonstrou expressiva atividade antibacteriana contra patógenos de origem alimentar; e *Torulaspora delbrueckii*, que em testes de fermentação em escala piloto indicou ser um probiótico promissor devido ao seu perfil sensorial superior, significativo teor de polifenóis e notável atividade antioxidante. Além disso, no supracitado estudo, as leveduras apresentaram também altas taxas de sobrevivência à liofilização, característica relevante para sua conservação, resistência a antibióticos e ausência de comportamento hemolítico, crucial para a garantia da segurança para consumo humano. Apesar dos benefícios, o estudo também revelou que após dois meses de engarrafamento a viabilidade das leveduras reduziu de modo considerável, o que pode ser um fator limitante do potencial probiótico a longo prazo.

Tradicionalmente a cerveja é fermentada por leveduras do tipo *Saccharomyces cerevisiae* (levedura Ale) e *Saccharomyces pastorianus* (levedura Lager) (Zapryanova et al., 2025). Com o interesse de inovação, o ramo cervejeiro passou a adotar no processo fermentativo as espécies não-*Saccharomyces* associadas à fermentação de espécies do gênero *Saccharomyces* (Almeida et al., 2024). O sensorial da cerveja é um dos aspectos que consegue atrair os consumidores ou não; assim, o mercado tem buscado investir na otimização da qualidade, o que resultou no uso de leveduras não convencionais, que têm alcançado destaque em relação ao sabor e aroma (Pina et al., 2022).

O processo de fermentação mista na produção de cerveja consiste na colaboração de microrganismos habituais e não habituais, como os *Saccharomyces* (levedura de cerveja), *Brettanomyces (*levedura selvagem), *Lactobacillus* (bactéria do ácido láctico) e *Pediococcus* (bactéria do ácido láctico) são combinadas leveduras e bactérias. A da cerveja artesanal é do tipo alcoólica, com a conversão do açúcar devido à ação das leveduras objetivando a produção de etanol (Santos et al., 2021).

O período necessário na preparação para esse tipo de bebida artesanal mista pode variar de meses a anos, a exemplo da Catharina Sour que pode ser obtida em um tempo hábil. Realizada a inoculação de *Lactobacillus* spp., o tempo estimado é de 3 dias para inocular *Saccharomyces*, e adicionalmente a bebida passa por 15 dias para a fermentação e maturação (Santos et al., 2021). Fu et al. (2024) demonstram que *Lachancea* junto com *Saccharomyces* podem resultar na redução do pH, o que pode conferir uma boa estabilidade e segurança microbiológica, uma vez que o pH de caráter mais ácido pode inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis.

O consumo de bebidas alcoólicas é difundido mundialmente. Entretanto, o abuso pode acarretar danos à saúde humana e o vício pode estar atrelado à motivos socioeconômicos. Questões de bem-estar e segurança à integridade física têm provocado uma mudança no perfil dos consumidores de cerveja, os atraindo em consumir cervejas sem álcool, o que impacta diretamente a economia das cervejarias (Rettberg et al., 2022). Conforme reportado no estudo feito por Silva et al. (2023), o produto pode ter a seguinte definição “cerveja sem álcool ou cerveja desalcoolizada - conteúdo em álcool for menor que 0,5% em volume (0,5% v/v), não sendo obrigatória a declaração no rótulo do conteúdo alcoólico”. Esse segmento de mercado tem se expandido nos últimos anos.

Na produção de cerveja sem álcool, os métodos físicos possuem base na remoção do etanol da cerveja convencional já fermentada (desalcoolização), ao passo que os biológicos evitam sua produção durante a fermentação (Roselli et al., 2024). O desenvolvimento da cerveja sem álcool pode ser por método térmico ou separação por membrana, e por meio de procedimentos biológicos, com base na produção controlada de álcool. Dos métodos térmicos mais empregados têm-se a destilação a vácuo e a evaporação. Na destilação a vácuo o etanol é separado da base aquosa, por meio da diferença de volatilidade, a pressão do sistema é reduzida, assim os compostos voláteis do etanol decrescem, logo o etanol é retirado da cerveja em condições de temperaturas mais amenas (Piornos et al., 2023).

Na evaporação do filme descendente, a cerveja é aquecida até o ponto de ebulição sob vácuo, é conduzida por meio de tubos de aquecimento em camadas finas até o distribuidor que se encontra no evaporador, o álcool se volatiliza impulsionado pela gravidade. A evaporação em camada fina é sob sistema à vácuo e em temperaturas reduzidas usando vapor e pressão. A bebida entra no evaporador e é sujeita a uma força centrífuga sendo espalhada na camada pela área aquecida, ao ser desalcoolizada é extraída por um tubo de produto estacionário e o vapor eliminado ascende pelo centro de um cone através de um tubo de exaustão e encaminhado a um condensador externo (Costa, 2023).

No estudo feito por Salanță et al. (2020), mostra-se que o processo de separação por membrana envolve o processo de osmose reversa, acontece em 3 etapas, na fase de concentração tem o permeado composto por consistido de álcool, água, CO_2 e substâncias aromáticas, removido da cerveja e a concentração de álcool é aumentada até o nível desejado. A fase da diafiltração, é quando o permeado que foi retirado é substituído pela água desmineralizada. E posteriormente na fase da reposição a água desmineralizada é empregada para reconstituir o volume primário da cerveja. O processo de reintrodução de carbonatação é realizado no produto final.

No método de diálise, acontece a troca de substâncias mediante a difusão, onde através de uma membrana semipermeável, é uma difusão seletiva baseado no gradiente de concentração e proporcionalmente oposta ao tamanho das moléculas, logo, o álcool tem a preferência de passar por essa membrana. Através de um sistema de bombeamento a cerveja passa através de microtubos, ao passo que a água ou outra solução é bombeada em fluxo reverso no exterior desses tubos. O álcool é removido da cerveja conforme passa por esse sistema semipermeável. Como a concentração de álcool do exterior do

tubo é continuamente menor do que a do interior, isso promove uma ampla retirada de álcool durante o procedimento por meio dos capilares (Muller et al., 2020).

Os métodos biológicos envolvem o processo de mosturação alterado, onde amido é convertido em açúcares fermentáveis que determina o teor de álcool na cerveja, realizada a alteração dessa mosturação o álcool pode ter sua formação de forma limitada, uma vez que, o perfil dos açúcares também é modificado. No processo de fermentação interrompido ou limitado é o procedimento usualmente utilizado e são voltados na redução da concentração alcóolica por meio da retirada de leveduras, que pode ser após uma fermentação parcial ou estabelecendo condições de inibir a atividade da levedura. Apresentam como desvantagem a limitação do tempo e uma conversão indevida do mosto em cerveja que pode comprometer o sensorial (Salanță et al., 2020).

Nos métodos biológicos no processo de mosturação alterado, o teor alcoólico é marcado pela fermentação do mosto e estabelecidos por açúcares que são fermentáveis, ao ser alterado esse parâmetro de mosturação, a quantidade alcóolica também pode ser modificada e assim ter o seu valor reduzido, um exemplo disso é a inativação da enzima amilase que resultará em uma baixa produção de açúcares fermentáveis e estará diretamente relacionado com a quantidade de álcool, que por sua vez, estará ameno. No processo de fermentação limitado o teor do etanol estará reduzido uma vez que a fermentação é interrompida posterior à fermentação parcial ou situações que são criadas para impedir a atividade da levedura (Grover et al., 2022).

O uso de linhagens específicas e de linhagens em modificações genéticas de levedura é utilizado no processo de produção de cerveja não alcoólica, *Saccharomyces* e *Saccharomycodes* são não fermentadores de maltose; os açúcares predominantes do mosto, contudo, são fermentadores de dois açúcares, que são eles, frutose e sacarose, o que resulta na redução de etanol. *Zygosaccharomyces rouxii* tem aplicabilidade limitada, necessita de oxigenação da cerveja para consumir etanol em condições aeróbicas e tem efeitos desfavoráveis no sabor. Contudo o uso de *S. ludwigii* apresenta resultados mais favoráveis, como boas características organolépticas de sabor agradável, quando comparado ao *Zygosaccharomyces rouxii*. A engenharia genética enfrenta resistência por parte dos consumidores, o que implica em menor abordagem por parte dos cervejeiros artesanais (Salanță et al., 2020).

As cervejas tradicionais, devido à presença do etanol, ácidos amargos de lúpulo, pH baixo, teor baixo de oxigênio, altas concentrações de dióxido de carbono e redução de nutrientes, são menos susceptíveis à contaminação microbiológica. Ao tratar das cervejas sem álcool o cenário muda, os extratos residuais e o pH são mais elevados, pouco lupulados, o que resulta na redução da eficácia da proteção microbiológica comumente presentes nas cervejas convencionais. Os métodos de produção como as tendências mais recentes de técnicas podem aumentar a susceptibilidade da bebida sem álcool à contaminação de microrganismos patogênicos, além dos contaminantes do meio e do ambiente como fungos e bactérias. Assim, os cervejeiros que seguem a linha de produção de bebidas isentas de teor alcóolico redobram a sua atenção em todo o processo produtivo (Roselli et al., 2024).

Em suas análises, Britton & Hill (2025) citam que os procedimentos que podem ser adotados, devem integrar o projeto do processo e envase, a efetuação de rotina de limpeza e desinfecção apropriadas, matéria-prima e água com padrões de qualidade, além do tratamento do produto que pode ser feito por métodos físicos, a exemplo de aplicação de calor e filtração. Os métodos intrínsecos são aqueles inerentes ao produto e às mudanças que podem ser realizadas na composição a fim de minimizar os contaminantes microbianos e consequentemente garantir a estabilidade microbiológica. O pH mais ácido é capaz de se apresentar mais resistente, a redução em cervejas sem álcool pode proporcionar essa tolerância, sem implicar no sensorial. O uso de aditivos alimentares como os conservantes pode ser uma alternativa para a estabilidade microbiana da cerveja. Das opções autorizadas, o benzoato de sódio e o sorbato de potássio podem ser utilizados, desde que siga o critério de limite máximo permitido de 200 partes por milhão. Os cervejeiros enfrentam o desafio em assegurar uma bebida com padrão de qualidade e segurança para o seu público-alvo.

3.7. Comparação entre fermentadores e importância do *Saccharomyces*

O gênero *Saccharomyces* compreende oito espécies: *S. cerevisiae, S. paradoxus, S. mikatae, S. jurei, S. kudriavzevii, S. arboricola, S. eubayanus* e *S. uvarum,* além de dois híbridos, *S. bayanus* e *S. pastorianus*. A hegemonia das leveduras desse gênero pode ser explicada pela preferência do metabolismo fermentativo sobre o respiratório (fenômeno nomeado como *Crabtree*), além de produzirem altas concentrações de etanol e aproveitarem variadas fontes de carbono, como glicose, frutose, sacarose, maltotriose, maltose, galactose e rafinose. Possui vantagem sobre outras leveduras em relação à resistência frente a determinadas condições durante a produção cervejeira, como tolerância a teores alcoólicos altos e a iso-α-ácidos do lúpulo, capazes de inibir alguns microrganismos, a partir de mecanismos de defesa como acúmulo desses ácidos em vacúolos ou alteração da parede celular para expulsá-los (Basso, 2019; Melo, 2023).

De acordo com as análises de Basso (2019), outros gêneros de leveduras são utilizados como escolha para conduzirem a fermentação no processo de produção da cerveja, como as do gênero *Brettanomyces* (*B. bruxellensis* e *B. anomalus*), frequentemente presentes em cervejas belgas, conferindo sabores peculiares à bebida. Entretanto, são temidas como possíveis contaminantes dentro da própria cerveja, característica que Aduan Junior et al. (2025) reafirma devido à possibilidade da levedura selvagem de introduzir sabor amargo, turvação excessiva e aromas indesejados como de couro ou cavalo.

A *Saccharomyces cerevisiae* apresenta grande pluralidade genética e metabólica, permitindo aos cervejeiros ampla escolha entre suas cepas para produção da bebida. As linhagens CAT-1 e PE-2 são frequentemente usadas nos processos industriais devido a suas capacidades fermentativas, representando 80% das leveduras comercializadas no Brasil. Ademais, conseguem competir com as linhagens contaminantes e suas cepas são comumente encontradas em frutas, a partir de onde observa-se consumo acelerado de sacarídeos (importante para a fermentação) e capacidade de desenvolvimento em aerobiose ou anaerobiose (Cruz, 2021; Melo, 2023).

Estudos promissores sobre os benefícios que a *S. cerevisiae* pode trazer quando inserido em bebidas alcoólicas vêm sendo desenvolvidos. Uma cepa específica de *S. cerevisiae*, a *S. boulardii*, é uma levedura que consegue sobreviver no ambiente intestinal, onde atua inibindo o crescimento de microrganismos patogênicos, estimula a produção de anticorpos (como imunoglobulina A), e estimula a digestão de nutrientes, sendo útil para doenças intestinais inflamatórias, diarreias ou casos de disbiose (Assis & Marioto, 2024). Tendo em vista que durante a etapa de fermentação alguns subprodutos são produzidos, como

ácidos orgânicos (ácido gálico), compostos carbonílicos e álcoois aromáticos (Batista, 2021) e que esses possuem benefícios à saúde – o ácido gálico e fenóis são relatados na literatura com potenciais anticancerígenos e antioxidantes, respectivamente –, uma pesquisa desenvolvida por Lima (2022) demonstrou que cervejas produzidas com adição de *S. boulardii* tem capacidade antioxidante potencializada, indicando que há efeito benéfico por sua ingestão.

Cada espécie de levedura respeita condições específicas para realizar a fermentação, o que inclui faixas de temperatura e de tempo específicos. Lengeler et al. (2020) afirmam que leveduras com capacidade de fermentação rápida e consistente, como a *Saccharomyces cerevisiae,* são preferíveis para a indústria cervejeira por garantirem produtividade certeira no processo. A *S. cerevisiae*, normalmente, alcança população média em uma fermentação a 20º C por 3 dias, enquanto outras espécies apresentam intervalos maiores (Melo, 2023), assim como demonstrado na **Fig. 6**.

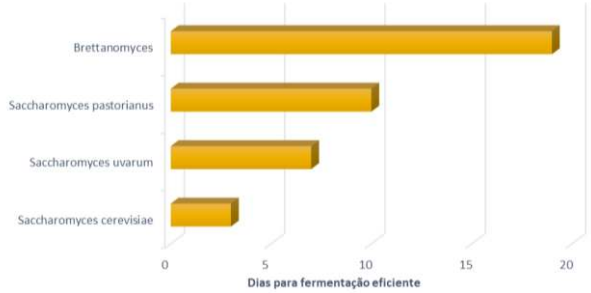


Fig. 6 Tempo médio de fermentação da levedura expresso em dias. Fonte: Produzido a partir de dados de Melo (2023), Batista (2021) e Postigo et al. (2023).

Em conseguinte, a *Saccharomyces cerevisiae* é o eucarioto mais estudado do mundo, contendo a sequência genética e o metabolismo mais conhecidos; é uma levedura de baixo custo, fácil manejo e acesso (está presente em frutos e folhas de diversas plantas encontradas na natureza), sendo capaz de se proliferar em meios de cultura simples, além de não ser descrita na literatura como maléfica à saúde ou ao meio ambiente – após ser utilizada para a produção de cerveja, é passível de reutilização, a exemplo, como alvo de pesquisas de biossorção (Melo, 2023; Vignaga, 2017).

A levedura em evidência consegue ainda ter capacidade fermentativa mesmo depois de já utilizada, mostrando a possibilidade de reaproveitamento em visão da redução de impactos ambientais, de custos e do uso reaproveitado da biomassa na fabricação de cerveja, assim como elucidado em pesquisa feita por Horst & Salles (2015), comprovaram que a reutilização da biomassa é viável, onde foi utilizada linhagem da levedura supracitada (FERMENTIS SAFLAGER W-34/70) para três fermentações subsequentes, ambas resultando em produção de álcool, apesar da quantidade de teor alcoólico ter variado. A **Fig. 7** mostra os componentes celulares da *S. cerevisiae.*

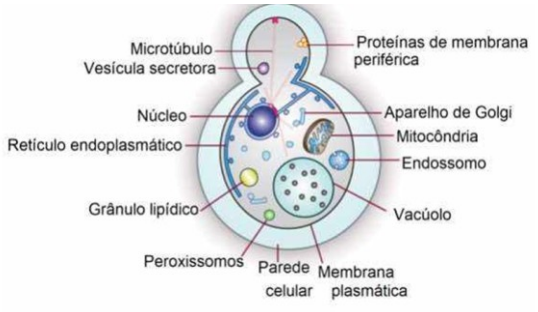


Fig. 7 Estrutura celular da *Saccharomyces cerevisiae.* Fonte: Melo (2021).

4. Considerações Finais

A presente revisão permite concluir que a levedura *Saccharomyces cerevisiae* desempenha um papel crucial na produção de cerveja, sendo responsável não apenas pela conversão de açúcares em etanol e dióxido de carbono, mas também pela formação de compostos que influenciam diretamente o perfil sensorial da bebida. Sua ampla utilização na fermentação de cerveja atribui-se à sua alta eficiência fermentativa, adaptabilidade a diferentes condições de temperatura e à sua capacidade de conferir aromas e sabores atraentes e complexos ao produto final, sem danos à saúde. Além disso, as inovações na área da cervejaria têm permitido o aprimoramento de cepas específicas dessa levedura, visando maior controle de características desejadas, como as nutricionais e organolépticas da bebida. Dessa maneira, em um mercado repleto de produtos industrializados padronizados, a aplicação de *Saccharomyces cerevisiae* em cervejas artesanais confere características únicas que destacam esse tipo de produto, o que reflete-se na crescente expansão das cervejarias artesanais. O presente trabalho oferece suporte para pesquisadores futuros que desejem informações sobre a importância da aplicação de *S. cerevisiae* na produção de cerveja.

Contribuições dos Autores

L. B. S. N.: Conceituação, Redação - rascunho original, Redação - revisão e edição; C. R. A. S.: Redação - rascunho original; D. W. L.: Redação - rascunho original; L. A. F.: Redação - rascunho original; L. A. Q.: Redação - rascunho original; R. B. S. L.: Redação - rascunho original; K. V. M. V.: Administração projetual, Supervisão. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não têm interesses conflitantes.

Referências

Abreu, J. A. S. de, Rovida, A. F. da S., & Pamphile, J. A. (2015). Fungos de interesse: aplicações biotecnológicas. *Uningá Review*, *21*, 55–59. https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1613/1224

Aduan Junior, R., Barbosa, D. A., Campos, H. B., de Maria, Y. N. L. F., Berlofa, M. V. C., Oliveira, R. C. de, Nunes, L. R., Jabes, D. L., & Menegidio, F. B. (2025). Contaminação microbiológica na produção de cerveja: mecanismos de degradação, impactos na qualidade e abordagens de controle. In *Métodos Microbiológicos Tradicionais e Avançados para a Segurança de Alimentos* (pp. 32–51). Editora Científica Digital. https://doi.org/10.37885/241018047

Albuquerque, A. P., Rodrigues, T. J. A., Cavalcante Neto, J. L., & Rocha, A. P. T. (2021). Utilização de polpa de frutas em pó carregadoras de probióticos como alimento funcional: aspectos gerais e perspectivas. *Brazilian Journal of Food Technology*, *24*. https://doi.org/10.1590/1981-6723.31019

Al-Kharousi, Z. S. (2025). Highlighting lactic acid bacteria in beverages: Diversity, fermentation, challenges, and future perspectives. *Foods*, *14*(12), 2043. https://doi.org/10.3390/foods14122043

Almeida, A. da R., & Conto, L. C. de. (2024). Lúpulo no Brasil: Uma cultura promissora em ascensão. *Food Science Today*, *3*(1), 1–7. https://doi.org/10.58951/fstoday.2024.001

Almeida, L. V. A. de, & Ribeiro, J. S. (2024). O tema cerveja artesanal utilizado para o ensino de bioquímica no ensino médio através da degradação enzimática da cevada cervejeira. *Revista Ifes Ciência*, *10*(2), 01–11. https://doi.org/10.36524/ric.v10i2.2389

Almeida, V. S. de, Silva, T. V. A. da, & Hornink, G. G. (2024). Leveduras não-Saccharomyces alternativas na produção cervejeira. In *Série Microrganismos*. UNIFAL. https://www.unifalmg.edu.br/lme/cervejacomciencia/materiais/boletins

Araújo, G. S. (2016). *Elaboração de uma cerveja Ale utilizando melão de caroá [Sicana odorifera (Vell.) Naudim] como adjunto do malte*. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia. Acesso em 10 de maio 2025.Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/20139>.

Assis, M. J. de, & Marioto, D. M. da S. (2024). Efeitos do uso de *Saccharomyces boulardii* em doenças inflamatórias intestinais: uma revisão integrativa. *CPAH Science Journal of Health*, *7*(2), 1–16. https://doi.org/https://doi.org/10.56238/cpahjournalv7n2-001

Basso, R. F. (2019). *Caracterização de leveduras não convencionais para produção de cervejas*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Piracicaba. https://doi.org/10.11606/D.11.2019.tde-04092019-104704

Batista, E. L. de A. (2021). Cerveja artesanal: uma revisão sobre o seu processo de produção e seu potencial antioxidante. 2021. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/32568>. Acesso em 09 de julho 2025.

Betancur, M. I., Motoki, K., Spence, C., & Velasco, C. (2020). Factors influencing the choice of beer: A review. *Food Research International*, *137*, 109367. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109367

Borowsky, A. M. (2025). Avaliação da ocorrência de multi-micotoxinas no leite e na dieta de vacas leiteiras na região Sudeste do Brasil. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens). Universidade de São Paulo. https://doi.org/10.11606/T.11.2025.tde-05052025-171842

Brasil. (2024). ANVISA. *Agência Nacional de Vigilância Sanitária*. Acesso em 09 de julho 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/orgaos/agencia-nacional-de-vigilancia-sanitaria>.

Brasil. (2024). *Anuário da Cerveja 2024: ano de referência 2023* (Ministério da Agricultura e Pecuária & Secretaria de Defesa Agropecuária, Eds.). Ministério da Agricultura e Pecuária.

BrewHive. (2025). The Importance of Water in Brewing: Quality and Chemistry. BrewHive. Disponível em: <https://www.brew-hive.co.uk/brewhive-blog-water-quality/>. Acesso em 09 de Julho 2025.

Britton, S. J., & Hill, A. E. (2025). Microbiological quality control in non- and low-alcoholic beer manufacturing: A comprehensive review of microbial contaminants and strategies for spoilage prevention. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 1–18. https://doi.org/10.1080/03610470.2025.2508612

Câmara, C. N., & Guimarães, C. C. (2024). Fermentação alcoólica: um estudo de caso sobre as ações adotadas para a otimização deste processo. *Ciência & Tecnologia*, *16*(1), e16102. https://doi.org/10.52138/citec.v16i1.333

Canonico, L., Agarbati, A., Zannini, E., Ciani, M., & Comitini, F. (2022). lentil fortification and non-conventional yeasts as strategy to enhance functionality and aroma profile of craft beer. *Foods*, *11*(18), 2787. https://doi.org/10.3390/foods11182787

Canonico, L., Zannini, E., Ciani, M., & Comitini, F. (2021). Assessment of non-conventional yeasts with potential probiotic for protein-fortified craft beer production. *LWT*, *145*, 111361. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111361

Carvalho, J. F. S., & Carvalho, J. P. S. (2018). Tendências de inovações e investimentos em microcervejarias. In J. F. S. Carvalho, V. J. Curtts, & J. L. C. de Oliveira (Eds.), *Percursos Interdisciplinares em Inovação, Ciência e Tecnologia* (pp. 39–51). Vox Salvatoris Editora.

Ciont, C., Epuran, A., Kerezsi, A. D., Coldea, T. E., Mudura, E., Pasqualone, A., Zhao, H., Suharoschi, R., Vriesekoop, F., & Pop, O. L. (2022). Beer safety: New challenges and future trends within craft and large-scale production. *Foods*, *11*(17), 2693. https://doi.org/10.3390/foods11172693

Costa, M. A. (2023). *Perfil do consumidor de cerveja sem álcool*. 2023. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Centro Universitário União das Américas – UniAmérica Descomplica, São José dos Pinhais. Acesso em 02 de julho de 2025. Disponível em: <https://pleiade.uniamerica.br/index.php/bibliotecadigital/article/view/1101/1301>.

Costa, P. S. P. (2019) *Estudo da fermentação de cervejas Ale e Lager*. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas. Acesso em 06 de maio de 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/27832>.

Cruz, H. R. (2021). *Avaliação da relação C/N no desempenho da levedura Saccharomyces cerevisiae CAT-1*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. https://doi.org/10.11606/D.11.2021.tde-21052021-165055

Domenico, A. S. Di, Danner, M. A., Busso, C., Christ, D., & Coelho, S. R. M. (2015). Análise de trilha da contaminação por aflatoxinas em grãos de milho armazenados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *50*(6), 441–449. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000600002

Durello, R., Silva, L., & Bogusz Jr., S. (2019). Química do lúpulo. *Química Nova*. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170412

DVKSP. (2017). Understand Ale vs Lager yeast fermentation with DVKSP a premium yeast supplier for craft beers. Acesso em 08 de julho de 2025. Disponível em: <https://www.dvksp.com/ale-vs-lager-yeast-understanding-beer-fermentation-secrets-with-dvksp/>.

Franco, A. A., Tostes, E. F., Martins, H. C., Ângelo, R. de C., Ferreira, M. S. Â., Vieira, L. F., Godinho, L. A. de C., & Nomura, M. (2024). Beba sem moderação! Análise empírica do trade marketing, da decisão de compra e do consumidor de cerveja no Brasil e outros países. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, *22*(4), e4078. https://doi.org/10.55905/oelv22n4-043

Fu, X., Guo, L., Li, Y., Chen, X., Song, Y., & Li, S. (2024). Transcriptional analysis of mixed-culture fermentation of *Lachancea thermotolerans* and *Saccharomyces cerevisiae* for natural fruity sour beer. *Fermentation*, *10*(4), 180. https://doi.org/10.3390/fermentation10040180

Goyal, A., Shukla, G., Mishra, S., Mallik, S., Singh, A., & Dubey, M. (2023). Beer production by fermentation process: A review. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, e9532. https://doi.org/10.55251/jmbfs.9532

Grover, N., Nehra, M., & SK, G. (2022). Non alcoholic beers: Review and methods. *Madridge Journal of Food Technology*, *7*(1), 200–206. https://doi.org/10.18689/mjft-1000130

Hornik, G. G. (2024). *Princípios da produção cervejeira e as enzimas na mosturação* (2nd ed.). Edição do autor. https://www.unifal-mg.edu.br/lme/cervejacomciencia/materiais/ebooks

Horst, G. B., & Salles, L. B. (2015). *Avaliação da eficiência da levedura Saccharomyces cerevisiae (W-34/70) reaproveitada na produção de cerveja*. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. Acesso em 10 de maio de 2025. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16693>.

Iorizzo, M., Coppola, F., Letizia, F., Testa, B., & Sorrentino, E. (2021). Role of yeasts in the brewing process: Tradition and innovation. *Processes*, *9*(5), 839. https://doi.org/10.3390/pr9050839

Iwase, C. H. T. (2022). *Diversidade de Fusarium spp. e perfil da contaminação por micotoxinas em cevada cultivada e selvagem do Brasil*. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Acesso em 06 de julho de 2025. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1244807>.

Kilmanoglu, H., Yigit Cinar, A., & Durak, M. Z. (2024). Evaluation of microbiota-induced changes in biochemical, sensory properties and volatile profile of kombucha produced by reformed microbial community. *Food Chemistry: X*, *22*, 101469. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101469

Kirin Holdings. (2023). *Global beer consumption by country in 2024*. Tóquio: Kirin Holdings Company. Acesso em 8 de julho de 2025. Disponivel em: <https://www.kirinholdings.com/en/newsroom/release/2024/1219_01.htm>.

Lahue, C., Madden, A. A., Dunn, R. R., & Smukowski Heil, C. (2020). History and domestication of *Saccharomyces cerevisiae* in bread baking. *Frontiers in Genetics*, *11*. https://doi.org/10.3389/fgene.2020.584718

Lasanta, C., Durán-Guerrero, E., Díaz, A. B., & Castro, R. (2021). Influence of fermentation temperature and yeast type on the chemical and sensory profile of handcrafted beers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*(3), 1174–1181. https://doi.org/10.1002/jsfa.10729

Lengeler, K. B., Stovicek, V., Fennessy, R. T., Katz, M., & Förster, J. (2020). Never change a brewing yeast? Why not, there are plenty to choose from. *Frontiers in Genetics*, *11*. https://doi.org/10.3389/fgene.2020.582789

Lentz, M. (2018). The impact of simple phenolic compounds on beer aroma and flavor. *Fermentation*, *4*(1), 20. https://doi.org/10.3390/fermentation4010020

Lima, B. de. (2022). *Fabricação de cerveja artesanal utilizando Saccharomyces cerevisiae var. boulardii como agente fermentador*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão. Acesso em 9 de julho de 2025. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29186>.

Lima, O. R. (2024). *Avaliação de leveduras viáveis e não viáveis em diferentes fases da fermentação no processo de produção de cerveja*. 107 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, São Paulo. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/entities/publication/aa161994-8cf8-433e-b852-894ec58d7615

Lin, C. L., García-Caro, R. de la C., Zhang, P., Carlin, S., Gottlieb, A., Petersen, M. A., Vrhovsek, U., & Bond, U. (2021). Packing a punch: understanding how flavours are produced in lager fermentations. *FEMS Yeast Research*, *21*(5). https://doi.org/10.1093/femsyr/foab040

Liu, J., Huang, T.-Y., Liu, G., Ye, Y., Soteyome, T., Seneviratne, G., Xiao, G., Xu, Z., & Kjellerup, B. V. (2022). Microbial Interaction between *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*: Transcriptome level mechanism of cell-cell antagonism. *Microbiology Spectrum*, *10*(5). https://doi.org/10.1128/spectrum.01433-22

Lourenci, R. N. (2017). *Efeito da cerveja sobre a doença periodontal induzida em ratos Wistar*. 55 f. Dissertação (Mestrado em Clínica Odontológica - Periodontia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Acesso em 10 de maio de 2025. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/179645>.

Mafia, M. V. (2024). *Uso de levedura Kveik para a fabricação de cervejas não convencionais*. Trabalho de Conclusão de Curso (Lato Sensu- Tecnologia Cervejeira) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara. Acesso em 10 de maio de 2025. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/257329>.

Maicas, S. (2020). The role of yeasts in fermentation processes. *Microorganisms*, *8*(8), 1142. https://doi.org/10.3390/microorganisms8081142

Medeiros, H. G. de A. (2023). *Bioestímulo de solo de milhocultura com resíduo de malte de cevada oriundo do setor cervejeiro artesanal*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Acesso em 24 de junho de 2025. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/29796.

Melo, L. (2021). *Capacidade biossortiva de leveduras Saccharomyces cerevisiae em contato com corante violeta cristal e viabilidade de uso na indústria têxtil*. 74 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Acesso em 10 mai. 2025 Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.664>.

Melo, V. M. de. (2023). Saccharomyces, principais parâmetros e sua importância no ambiente cervejeiro. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas. Acesso em 19 de junho de 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/38407>.

Menezes, M. C. R. C. de. (2019). *Controle de qualidade em uma cervejaria artesanal : análise de contaminantes do processo de fabricação e eficácia do sistema*. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns. Acesso em 10 de julho de 2025. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/1412>.

Mori, L. T. (2024). *Avaliação de compostos com atividade antioxidante em células mutantes de Saccharomyces cerevisiae Gtt1*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias em Biociências) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo. Acesso em 10 de maio de 2025. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/34379>.

Mulero-Cerezo, J., Briz-Redón, Á., & Serrano-Aroca, Á. (2019). *Saccharomyces Cerevisiae* var. *boulardii*: Valuable probiotic starter for craft beer production. *Applied Sciences*, *9*(16), 3250. https://doi.org/10.3390/app9163250

Muller, C., Neves, L. E., Gomes, L., Guimarães, M., & Ghesti, G. (2020). Processes for alcohol-free beer production: a review. *Food Science and Technology*, *40*(2), 273–281. https://doi.org/10.1590/fst.32318

Nikulin, J., Vidgren, V., Krogerus, K., Magalhães, F., Valkeemäki, S., Kangas-Heiska, T., & Gibson, B. (2020). Brewing potential of the wild yeast species *Saccharomyces paradoxus*. *European Food Research and Technology*, *246*(11), 2283–2297. https://doi.org/10.1007/s00217-020-03572-2

Oldham, R. C., & Held, M. A. (2023). Methods for detection and identification of beer-spoilage microbes. *Frontiers in Microbiology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1217704

Parapouli, M., Vasileiadi, A., Afendra, A.-S., & Hatziloukas, E. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS Microbiology*, *6*(1), 1–32. https://doi.org/10.3934/microbiol.2020001

Penha, G. F. C., Corassin, C. H., Rosim, R. E., & Oliveira, C. A. F. (2025). Occurrence and exposure assessment of mycotoxins from beers commercially traded in Brazil. *Beverages*, *11*(3), 82. https://doi.org/10.3390/beverages11030082

Piacentini, K. C. (2015). *Fungos e micotoxinas em grãos de cevada (Hordeum vulgare L.) cervejeira, descontaminação pelo gás ozônio e segurança de cervejas artesanais* 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Acesso em 23 de junho 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/158849>.

Pimenta, L. B., Rodrigues, J. K. L. A., Sena, M. D. D., Corrêa, A. L. A., & Pereira, R. L. G. (2020). A história e o processo da produção da cerveja: uma revisão. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, *37*(3), 26715. https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26715

Pina, R. L., Cruz, D. C. P., & Martelli, M. C. (2022). Avaliação da influência de aromas gerados por leveduras não convencionais utilizadas na produção de cerveja: uma revisão. *Research, Society and Development*, *11*(17), e43111738868. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i17.38868

Piornos, J. A., Koussissi, E., Balagiannis, D. P., Brouwer, E., & Parker, J. K. (2023). Alcohol-free and low-alcohol beers: Aroma chemistry and sensory characteristics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *22*(1), 233–259. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13068

Pires, N. A. (2020). *Desenvolvimento e validação de um método para análise simultânea de agrotóxicos e micotoxinas em cervejas, insumos e subprodutos*. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências-Química) - Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Acesso em 01 julho de 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/35768>.

Postigo, V., García, M., & Arroyo, T. (2023). Study of a first approach to the controlled fermentation for lambic beer production. *Microorganisms*, *11*(7), 1681. https://doi.org/10.3390/microorganisms11071681

Ranjha, M. M. A. N., Shafique, B., Batool, M., Kowalczewski, P. Ł., Shehzad, Q., Usman, M., Manzoor, M. F., Zahra, S. M., Yaqub, S., & Aadil, R. M. (2021). Nutritional and Health Potential of probiotics: A review. *Applied Sciences*, *11*(23), 11204. https://doi.org/10.3390/app112311204

Raposo, M. S. (2022). *Interação entre leveduras e bactérias láticas no contexto da fermentação alcoólica brasileira: fisiologia, proteômica e metabolômica*. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Acesso em 10 de maio de 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2022.tde-14022023-105525>.

Rettberg, N., Lafontaine, S., Schubert, C., Dennenlöhr, J., Knoke, L., Diniz Fischer, P., Fuchs, J., & Thörner, S. (2022). Effect of production technique on Pilsner-style non-alcoholic beer (NAB) chemistry and flavor. *Beverages*, *8*(1), 4. https://doi.org/10.3390/beverages8010004

Ribeiro, M. M. N. de C. (2022). *Métodos de controlo de qualidade na produção de cerveja artesanal*. 24 f. Dissertação de Mestrado (Tecnologia e Segurança Alimentar) - Universidade NOVA de Lisboa, Portugal, 2022. Acesso em 10 de maio de 2025. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/176175>. Acesso em 06 mai 2025

Romero-Rodríguez, R., Durán-Guerrero, E., Castro, R., Díaz, A. B., & Lasanta, C. (2022). Evaluation of the influence of the microorganisms involved in the production of beers on their sensory characteristics. *Food and Bioproducts Processing*, *135*, 33–47. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.06.004

Roselli, G. E., Kerruish, D. W. M., Crow, M., Smart, K. A., & Powell, C. D. (2024). The two faces of microorganisms in traditional brewing and the implications for no- and low-alcohol beers. *Frontiers in Microbiology*, *15*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1346724

Salanță, L. C., Coldea, T. E., Ignat, M. V., Pop, C. R., Tofană, M., Mudura, E., Borșa, A., Pasqualone, A., & Zhao, H. (2020). Non-alcoholic and craft beer production and challenges. *Processes*, *8*(11), 1382. https://doi.org/10.3390/pr8111382

Salari, R., & Salari, R. (2017). Investigation of the best *Saccharomyces cerevisiae* growth condition. *Electronic Physician*, *9*(1), 3592–3597. https://doi.org/10.19082/3592

Santos, A. da S., Jesus, A. C. de, Silva, Á. P. Q., & Coelho, D. de G. (2021). Aplicação da fermentação mista na produção de cervejas artesanais. *Diversitas Journal*, *6*(1), 783–800. https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i1-1585

Santos, D., Barreiros, L., Jesus, Â., Silva, A. L., Martins, J. P., Oliveira, A. I., & Pinho, C. (2024). Beer with probiotics: Benefits and challenges of their incorporation. *Beverages*, *10*(4), 109. https://doi.org/10.3390/beverages10040109

Santos, I. M. G.. *Principais impactos na qualidade da fermentação cervejeira*. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Universidade Federal Da Paraíba, João Pessoa, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/25006>. Acesso em 06 mai. 2025

Silva, M. de B., Pellizzaro, E. R., & Lima, M. P. de. (2023). *Mapeamento dos avanços científicos na produção de cerveja sem álcool* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/25903

Silva, S. A. da. (2017). *Contaminantes microbianos no processo de produção de cerveja*. 50 f. Monografia de Especialização (Microbiologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ICBB-BDAN2J>. Acesso em 26 jun. 2025

Souza, M. L. de C. (2024). *Uma revisão da literatura sobre a produção de cerveja sem glúten*. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/43134>. Acesso em 23 jun. 2025

Staniszewski, A., & Kordowska-Wiater, M. (2021). Probiotic and potentially probiotic yeasts—Characteristics and food application. *Foods*, *10*(6), 1306. https://doi.org/10.3390/foods10061306

Tadei, N. S., Silva, N., Iwase, C., & Rocha, L. (2020). *Fusarium* mycotoxins in beer production: Characteristics, toxicity, incidence, legislation, and control strategies. *Scientia Agropecuaria*, *11*(2), 247–256. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.13

Testa, B., Coppola, F., Letizia, F., Albanese, G., Karaulli, J., Ruci, M., Pistillo, M., Germinara, G., Messia, M., Succi, M., Vergalito, F., Tremonte, P., Lombardi, S., & Iorizzo, M. (2022). Versatility of *Saccharomyces cerevisiae* 41CM in the brewery sector: Use as a starter for "Ale" and "Lager" craft beer production. *Processes*, *10*(12), 2495. https://doi.org/10.3390/pr10122495

Thesseling, F. A., Bircham, P. W., Mertens, S., Voordeckers, K., & Verstrepen, K. J. (2019). A hands-on guide to brewing and analyzing beer in the laboratory. *Current Protocols in Microbiology*, *54*(1). https://doi.org/10.1002/cpmc.91

Torrezan, G. O. (2022). *Ferramentas de qualidade aplicadas na fabricação industrial da cerveja*. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Faculdade Anhanguera Pitágoras de Jundiaí. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br//handle/123456789/63894>. Acesso em 31 mai. 2025

Trentin, L. S., Raniero, G. Z., Vasques, C. T., Berwig, K. P., Alves, E. da S., Mendes, M. P., & Monteiro, A. R. G. (2021). Produção de maltes especiais de trigo em escala piloto, produção e caracterização de cerveja. *Research, Society and Development*, *10*(3), e3110312879. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.12879

Tricase, C., Amicarelli, V., Lamonaca, E., & Leonardo Rana, R. (2018). Economic analysis of the barley market and related uses. In *Grasses as Food and Feed*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.78967

Tyakht, A., Kopeliovich, A., Klimenko, N., Efimova, D., Dovidchenko, N., Odintsova, V., Kleimenov, M., Toshchakov, S., Popova, A., Khomyakova, M., & Merkel, A. (2021). Characteristics of bacterial and yeast microbiomes in spontaneous and mixed-fermentation beer and cider. *Food Microbiology*, *94*, 103658. https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103658

Vazquez-Cervantes, G. I., Ortega, D. R., Ayala, T. B., de la Cruz, V. P., Esquivel, D. F. G., Salazar, A., & Pineda, B. (2021). Redox and anti-inflammatory properties from hop components in beer-related to neuroprotection. *Nutrients*, *13*(6), 2000. https://doi.org/10.3390/nu13062000

Vignaga, I. R. L. (2017). *Obtenção de etanol a partir da fermentação do permeado de soro de queijo utilizando a levedura Saccharomyces cerevisae*. 104 f. Dissertação (Mestrado em Processos Químicos e Biotecnológicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3362>. Acesso em 27 jun. 2025

Vrînceanu, C.-R., Diguță, F. C., Cudalbeanu, M. D., Ortan, A., Mihai, C., Bărbulescu, I. D., Frîncu, M., Begea, M., Matei, F., & Teodorescu, R. I. (2025). Exploring the potential of *Torulaspora delbrueckii*, *Starmerella bacillaris*, and *Saccharomyces cerevisiae* as a probiotic starter for craft beer production. *Foods*, *14*(9), 1608. https://doi.org/10.3390/foods14091608

Walker, G., & Stewart, G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. *Beverages*, *2*(4), 30. https://doi.org/10.3390/beverages2040030

Xu, Z., Luo, Y., Mao, Y., Peng, R., Chen, J., Soteyome, T., Bai, C., Chen, L., Liang, Y., Su, J., Wang, K., Liu, J., & Kjellerup, B. V. (2020). Spoilage lactic acid bacteria in the brewing industry. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, *30*(7), 955–961. https://doi.org/10.4014/jmb.1908.08069

Zapryanova, P., Gaytanska, Y., Shopska, V., Denkova-Kostova, R., & Kostov, G. (2025). Non-conventional yeasts for beer production—Primary screening of strains. *Beverages*, *11*(4), 114. https://doi.org/10.3390/beverages11040114

ZIPTECH. (2023, October 2). The Importance of Water Chemistry in the Brewing Industry. Acesso em 19 de junho de 2025. Disponível em: <https://ziptech.hu/2023/10/02/the-importance-of-water-chemistry-in-the-brewing-industry/>.