

LEVEDURAS NÃO-SACCHAROMYCES NA PRODUÇÃO DE CERVEJA SEM ÁLCOOL E COM BAIXO TEOR ALCOÓLICO. UMA REVISÃO

NON-SACCHAROMYCES YEASTS IN THE PRODUCTION OF NON-ALCOHOLIC AND LOW-ALCOHOL BEER. A REVIEW

LEVADURAS NO SACCHAROMYCES EN LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA SIN ALCOHOL Y CON BAJO CONTENIDO ALCOHÓLICO. UNA REVISIÓN

Pérsio Alexandre da Silva¹, Ninive Florêncio Bezerra², Mateus Ribeiro Costa³, Erik Jonne Vieira de Melo⁴, Norma Buarque de Gusmão⁵, Jaciana dos Santos Aguiar⁶

DOI: 10.54899/dcs.v23i86.4329

Recibido: 22/12/2025 | Aceptado: 16/01/2026 | Publicación en línea: 23/01/2026.

RESUMO

A indústria cervejeira tem testemunhado um crescimento significativo no mercado de Cervejas Sem Álcool (NAB) e com Baixo Teor Alcoólico (LAB) (NABLAB), impulsionado pela maior preocupação dos consumidores com a saúde e o consumo responsável. Tradicionalmente, a produção de cerveja depende de leveduras *Saccharomyces*. Para a produção de NABLABs, métodos convencionais como a desalcoholização física ou a limitação da fermentação por *Saccharomyces* frequentemente resultam em perdas de componentes aromáticos, desenvolvendo sabores indesejáveis. A utilização de leveduras Não-Saccharomyces surge como uma estratégia biológica promissora e viável para contornar esses desafios. Essas leveduras possuem capacidade reduzida de metabolizar açúcares complexos do mosto, como maltose e maltotriose, restringindo naturalmente a formação de etanol. Em contrapartida, elas são capazes de produzir compostos aromáticos desejáveis, conferindo perfis sensoriais frutados e complexos sem os defeitos sensoriais tipicamente associados às cervejas com baixo teor alcoólico. Cepa promissoras, como *Saccharomycodes ludwigii*, *Pichia kluyveri* e *Torulaspora delbrueckii*, demonstram potencial para limitar o álcool e, ao mesmo tempo, contribuir com ésteres frutados e acidez agradável. Apesar do potencial inovador, o uso de leveduras Não-Saccharomyces requer considerações rigorosas de segurança alimentar. A falta de um histórico de uso seguro amplamente documentado exige avaliação de patogenicidade, resistência antifúngica e produção de toxinas como aminas biogênicas e carbamato de etila.

¹ Mestre em Biotecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.
E-mail: persiosilva@gmail.com

² Mestre em Biotecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.
E-mail: ninive.florencio@gmail.com

³ Bacharel em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Garanhuns, Pernambuco, Brasil. E-mail: mateus.rcosta@ufpe.br

⁴ Doutor em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.
E-mail: erikjonne@gmail.com

⁵ Doutora em Farmácia, Université de Grenoble I, Grenoble, França. E-mail: normagusmao@gmail.com

⁶ Doutora em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.
E-mail: jaciana.aguiar@ufpe.br

Palavras-chave: Leveduras Não-Saccharomyces. Cerveja Sem Álcool. Perfil Aromático. Segurança Alimentar.

ABSTRACT

The brewing industry has witnessed significant growth in the Non-Alcoholic (NAB) and Low-Alcohol (LAB) (NA-BLAB) beer markets, driven by increased consumer concern for health and responsible consumption. Traditionally, beer production relies on *Saccharomyces* yeasts. For the production of NABLABs, conventional methods such as physical dealcoholization or limiting fermentation with *Saccharomyces* often result in losses of aromatic components, developing undesirable flavors. The use of non-saccharomyces yeasts emerges as a promising and viable biological strategy to overcome these challenges. These yeasts have a reduced capacity to metabolize complex sugars in the wort, such as maltose and maltotriose, naturally restricting ethanol formation. Conversely, they are capable of producing desirable aromatic compounds, conferring fruity and complex sensory profiles without the sensory defects typically associated with low-alcohol beers. Promising strains, such as *Saccharomyces ludwigii*, *Pichia kluyveri*, and *Torulaspora delbrueckii*, demonstrate potential to limit alcohol while contributing fruity esters and pleasant acidity. Despite the innovative potential, the use of non-saccharomyces yeasts requires rigorous food safety considerations. The lack of a widely documented history of safe use necessitates evaluation of pathogenicity, antifungal resistance, and the production of toxins such as biogenic amines and ethyl carbamate.

Keywords: Non-Saccharomyces Yeasts. Non-Alcoholic Beer. Aroma Profile. Food Safety.

RESUMEN

La industria cervecera ha experimentado un crecimiento significativo en el mercado de cervezas sin alcohol (NAB) y de bajo contenido alcohólico (LAB) (NABLAB), impulsado por la creciente preocupación de los consumidores por la salud y el consumo responsable. Tradicionalmente, la producción de cerveza se basa en levaduras *Saccharomyces*. Para la producción de NABLAB, los métodos convencionales, como la desalcoholización física o la fermentación limitada con *Saccharomyces*, suelen provocar pérdidas de componentes aromáticos, lo que genera sabores indeseables. El uso de levaduras no *Saccharomyces* surge como una estrategia biológica prometedora y viable para superar estos desafíos. Estas levaduras tienen una capacidad reducida para metabolizar azúcares complejos del mosto, como la maltosa y la maltotriosa, lo que restringe naturalmente la formación de etanol. En cambio, son capaces de producir compuestos aromáticos deseables, lo que confiere perfiles sensoriales afrutados y complejos sin los defectos sensoriales típicamente asociados a las cervezas de bajo contenido alcohólico. Cepas prometedoras, como *Saccharomyces ludwigii*, *Pichia kluyveri* y *Torulaspora delbrueckii*, demuestran potencial para limitar el alcohol, a la vez que aportan ésteres frutales y una acidez agradable. A pesar de su potencial innovador, el uso de levaduras no *Saccharomyces* requiere rigurosas consideraciones de seguridad alimentaria. La falta de un historial ampliamente documentado de uso seguro requiere la evaluación de la patogenicidad, la resistencia a los antifúngicos y la producción de toxinas como las aminas biógenas y el carbamato de etilo.

Palabras clave: Levaduras no *Saccharomyces*. Cerveza sin Alcohol. Perfil Aromático. Seguridad Alimentaria.



INTRODUÇÃO

A indústria cervejeira tem experimentado um crescimento e uma diversificação notáveis nos últimos anos, devido a demanda crescente por produtos inovadores e de alta qualidade. O mercado de cervejas sem álcool (non alchohol beer-NAB, até 0,5% v/v de etanol) e com baixo teor alcoólico (low alchohol beer-LAB, 0,5% a 2% v/v de etanol) (NABLAB) vem acompanhado de forma significativa esse crescimento, refletindo uma maior preocupação dos consumidores com a saúde, com a ingestão calórica e com o consumo responsável. Assim, impulsionando a busca por inovações e abordagens alternativas na produção de cervejas NABLAB (Bellut; Arendt, 2019).

Tradicionalmente, a produção de cerveja depende predominantemente de leveduras do gênero *Saccharomyces*, especialmente *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces pastorianus*, reconhecidas por sua alta capacidade fermentativa, boa produção de etanol e resistência a condições adversas. Contudo, a busca por diferenciação tem levado à exploração de leveduras não-*Saccharomyces*, que oferecem um vasto potencial para inovar e personalizar as características sensoriais das cervejas especiais (Larroque *et al.*, 2021).

Essas leveduras compreendem um grupo heterogêneo de microrganismos que, embora historicamente considerados como contaminantes na produção de cerveja, têm demonstrado um vasto potencial para diversificar o mercado cervejeiro. O uso de leveduras não-*Saccharomyces* vem sendo adotada como uma estratégia para introduzir novos sabores às cervejas NABLAB sem a necessidade de equipamentos especiais (Simon; Vuylsteke; Collin, 2023)

Comumente as cervejas com baixo teor alcoólico são produzidas a partir de métodos físicos, como retificação, evaporação ou uso de membranas, ou parâmetros biológicos, limitando a fermentação da levedura por controle de temperatura ou remoção rápida da biomassa. No entanto, esses métodos podem trazer prejuízos significativos aos componentes aromáticos e desenvolver sabores indesejáveis de mosto ou inferir um caráter "aguado" (Brányik, T. *et al*, 2012).

Desse modo, a utilização de leveduras não-*Saccharomyces* aparece como uma estratégia viável para contornar esses desafios, fazendo com que a produção de cervejas com menor teor

alcoólico mantenham um perfil organoléptico agradável e complexo. Essas leveduras podem ser responsáveis em produzir sabores frutados distintivos sem os defeitos sensoriais, que são frequentemente associados às cervejas sem álcool (Capece *et al.*, 2018).

Diante do exposto, esta revisão da literatura relata o cenário global e brasileiro da utilização de leveduras não-*Saccharomyces* na produção de cerveja sem álcool e suas propriedades fisiológicas. Ainda, expõe a diversidade de perfis de aromas e sabores, o potencial antioxidante e aspectos de segurança alimentar.

PRODUÇÃO DE CERVEJA SEM ÁLCOOL: CENÁRIO GLOBAL E BRASILEIRO

A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no mundo, mesmo apresentado queda de 0,3% na produção total entre 2024 e 2023, tendo a China, Estados Unidos e Brasil como os maiores produtores. No Brasil, a produção de cerveja, em 2024, ultrapassou 15 bilhões de litros. A região Sudeste detém a maior concentração de cervejarias registradas (45,6%), enquanto a região Nordeste apresenta o maior crescimento relativo (16,4%) (Mapa, 2025).

O setor cervejeiro tem mostrado um avanço constante, com um crescimento anual de mais de 19,6%, em 2019, e 320 novas cervejarias registradas, tornando a cerveja o produto mais registrado junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa, 2019). Em 2024, o Brasil contava com 43.176 registros de cervejas, sendo São Paulo o estado com o maior número, com 12.803 registros. O modelo de "cervejarias ciganas", onde mestres cervejeiros produzem suas receitas em instalações alugadas, exemplifica a dinamização do setor. Salientando que no Brasil não há definição legal para termos como "cervejaria artesanal", "microcervejaria" ou "brewpub" (Mapa, 2025).

A exportação de cerveja brasileira cresceu 43,4% em 2024, atingindo 332.540.021 litros, sendo o Paraguai o principal destino (66,5% do volume). Apesar do superávit na balança comercial (US\$ 195.031.000 em 2024), o preço médio da cerveja exportada (0,61 US\$/L) é inferior ao da importada (1,24 US\$/L) (Mapa, 2025). A demanda por cervejas "artesaniais" e marcas premium impulsionou o crescimento do mercado global, com consumidores buscando experiências sensoriais diferentes e inovadoras (Almeida, 2021).

Devido a crescente procura por cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico, impulsionada por um público preocupado com um estilo de vida mais saudável (Mordor Intelligence, 2019; Radu et al, 2024), o mercado global desse setor de cervejas vem aumentando

constantemente. Em 2019, as cervejas sem álcool (contendo até 0,5% de etanol) representavam 3,8% do volume europeu e 3% do mercado global, com expectativas de crescimento contínuo (BarthHaas, 2025).

No Brasil, a Instrução Normativa nº 65, de 2019, define cerveja sem álcool aquela com teor alcoólico inferior ou igual a 0,5% (v/v) e cerveja com baixo teor alcoólico entre 0,5% e 2% (v/v) (Mapa, 2025). A região Sudeste é a maior produtora nacional de cerveja, respondendo por 55% do volume declarado em 2024. Curiosamente, apenas 1% das cervejarias produzem quase 50% de todo o volume nacional, indicando alta concentração de mercado. A cerveja Lager Leve Clara, por exemplo, corresponde a 58,3% do volume de produção declarado em 2024 (Mapa, 2025).

LEVEDURAS NÃO-SACCHAROMYCES NA PRODUÇÃO DE NABLAB

A produção de NABLABs pode ser realizada por métodos físicos (remoção do álcool após a fermentação, como retificação, evaporação ou uso de membranas) ou biológicos (limitação da formação de etanol durante a fermentação) (Brányik, T. *et al*, 2012). No entanto, os métodos físicos, embora eficazes na remoção do álcool, frequentemente resultam em perdas significativas de compostos aromáticos e na geração de off-flavours, como o acetaldeído, comprometendo o sabor, a cor e o aroma da cerveja. Além disso, não são energeticamente viáveis em muitos aspectos (Canonico *et al.*, 2019).

Nesse contexto, o uso de leveduras não-*Saccharomyces* vem se mostrando uma alternativa promissora. Essa abordagem biológica é mais fácil de implementar, pois exige apenas ajustes no fermento e não requer grandes mudanças nos equipamentos da cervejaria (Almeida *et al*, 2024). O princípio parte da seleção de leveduras com capacidade reduzida de metabolizar açúcares do mosto, principalmente, a maltose e a maltotriose que compreendem as maiores porções de açúcares fermentáveis, enquanto ainda são capazes de produzir compostos aromáticos desejáveis. Fazendo que desta forma o teor de álcool seja naturalmente restrito (Yeo; Liu, 2014), (Klimczak; Cioch-Skoneczny; Poreda, 2024).

Cepas Promissoras

Diversas espécies de leveduras não-Saccharomyces têm sido investigadas e demonstraram potencial para a produção de NABLABs:

- *Saccharomyces ludwigii*: É amplamente reconhecida por sua ineficiência em fermentar maltose e maltotriose, resultando em baixas concentrações de álcool (variando de 0,51% a 1,36% v/v em alguns estudos) e significativa produção de ésteres e álcoois superiores, que contribuem para um perfil frutado e floral. Não produz off-flavours fenólicos (POF-). Sua atenuação é baixa (cerca de 20%), e fermenta glicose, sacarose e frutose entre 20 e 24 °C (Bellut; Arendt, 2019) (Simões *et al.*, 2023)
- *Pichia kluyveri*: Demonstrou ser mais adequada que *S. ludwigii* em alguns estudos para cervejas de baixo teor alcoólico, produzindo menos álcool e maior quantidade de ésteres desejáveis. Sua atenuação é muito baixa (5% a 10%), e utiliza apenas glicose, convertendo-a em alta concentração de compostos aromatizantes específicos, como acetato de isoamila e álcool isoamílico, butirato de etila, hexanoato de etila e octanoato de etila (Saerens e Swiegers, 2014).
- *Hanseniaspora vineae*: Pode ser direcionada para a produção de cervejas sem álcool. Em um estudo, produziu cervejas com teor de etanol abaixo de 0,5% (v/v). Fermenta apenas glicose e frutose, sem usar sacarose, maltose ou maltotriose (Bellut *et al.*, 2018).
- *Dekkera bruxellensis* (*Brettanomyces bruxellensis*): Embora possa ser usada para cervejas de baixo teor alcoólico, e seja conhecida por metabolizar todas as fontes de açúcar testadas e tolerar 12% v/v de etanol, a sua principal contribuição é para cervejas tipo sour e Lambics, com um perfil organoléptico complexo, acidogênico e notas fenólicas, de "suor de cavalo", "couro" e "medicinal". É POF+ e produz 4-etil-fenol e 4-etil-guaiacol (Steensels *et al.*, 2015)
- *Torulaspora delbrueckii*: Mostrou potencial para cervejas de baixo teor alcoólico. Não fermenta maltose, maltotriose e celobiose, mas produz alta quantidade de ésteres e potencializa 4-vinil-guaiacol (notas de cravo) e álcool amílico (notas frutadas), sendo resiliente a condições de estresse (Methner *et al.*, 2022).
- *Cyberlindnera spp.* (incluindo *C. saturnus*, *C. misumaiensis*, *C. fabianii*, *C. mrakii*, *C. subsufficiens*): Várias espécies deste gênero demonstraram potencial. *C. saturnus* pode oferecer aromas de menta fresca, frutas vermelhas, maçã, pera e banana. *C. mrakii* resulta

em aroma frutado distinto, semelhante ao da banana, com altos níveis de ésteres. *C. fabianii* é utilizada em cervejas com menor teor de etanol, com potencial para cervejas frutadas. Todas as cepas investigadas no estudo por Methner *et al.*, (2022) sendo consideradas adequadas para produzir cervejas sem álcool.

- *Lachancea fermentati*: Produz quantidades significativas de ácido láctico e exibe baixa produção de etanol, sendo ideal para cervejas com baixo teor alcoólico, com um aroma limpo e toques sutis de frutas ((Bellut; Arendt, 2019)) (De Almeida; Tallis Vinícius Araújo Da Silva; Hornink, 2024).
- *Lachancea thermotolerans*: Fermenta maltose, possui alta atenuação (70% a 76%) e alta tolerância alcoólica (9% ABV). É resistente ao lúpulo e produz ácido láctico, o que a torna adequada para cervejas sour sem a necessidade de bactérias lácticas. Aumenta os níveis de lactato de etila (pêssego, maçã vermelha) e possui maior atividade da enzima β -glicosidase (Domizio *et al.*, 2016) (De Almeida; Tallis Vinícius Araújo Da Silva; Hornink, 2024).
- *Wickerhamomyces anomalus*: Algumas cepas promovem baixa atenuação do mosto, tornando-se uma alternativa para a produção de cervejas de baixo teor alcoólico, além de possíveis aplicações em cervejas sours. Possui boa adaptação a fatores de estresse e resistência à pressão osmótica e álcool (Canonico *et al.*, 2019) (Osburn *et al.*, 2018).
- *Zygosaccharomyces rouxii*: Demonstrou produção de etanol de 0,93% (v/v) e características aromáticas positivas. Algumas cepas podem utilizar maltose, outras muito pouco (Simões *et al.*, 2023)
- *Kluyveromyces lactis*: Junto com *Pichia kluyveri*, demonstrou melhorar os sabores desejáveis da cerveja e ser adequada para NABLABs. Apresentou alta atividade de β -glicosidase, o que pode influenciar positivamente o aroma (Klimczak; Cioch-Skoneczny; Poreda, 2024), (Methner *et al.*, 2022).
- *Saccharomycopsis fibuligera*: Apresenta sabores atrativos de ameixa e frutas vermelhas e potencial para cervejas de baixo teor alcoólico, embora sua fermentação seja mais lenta que a de leveduras tradicionais (Methner *et al.*, 2022).

PROPRIEDADES FISIOLÓGICAS DAS LEVEDUARS NÃO-SACCHAROMYCES

As leveduras não-*Saccharomyces* podem apresentar uma vasta diversidade fisiológica e metabólica que as diferencia das leveduras convencionais, permitindo uma variedade de aplicações na produção de cervejas especiais.

Metabolismo de Açúcares e Capacidade Fermentativa

As leveduras *Saccharomyces* já são conhecidas por ter a capacidade consumir uma ampla variedade de fontes de carbono com boa habilidade fermentativa (Russell, 2006), muitas leveduras não-*Saccharomyces* demonstram capacidade limitada de metabolizar açúcares complexos como maltose e maltotriose (Yeo; Liu, 2014).

As cepas do gênero *Pichia* investigadas em um estudo não apresentaram capacidade fermentativa significativa (Saerens, S.; Swiegers, J. H, 2014). Por outro lado, cepas de *Dekkera bruxellensis* conseguem metabolizar diversas fontes de carboidratos (Steensels *et al.*, 2015). Já algumas leveduras não-convencionais, como *Lachancea thermotolerans*, são capazes de fermentar maltose (Vicente *et al.*, 2021).

Assim, a ineficiência em assimilar um açúcar isolado não é um fator excludente, pois o mosto cervejeiro é um meio nutricionalmente complexo e essa característica pode ser direcionada para a produção de cervejas de baixo teor alcoólico ou em fermentações sequenciais (Steensels *et al.*, 2015)

Como por exemplo, as leveduras do gênero *Brettanomyces/Dekkera* possuem atividade amilolítica (enzimas α -glicosidase) que as permite fermentar diversas fontes de carbono, incluindo açúcares complexos, resultando em cervejas "superatenuadas" e, conseqüentemente, com menos açúcares residuais. Contudo, isso pode levar a níveis mais elevados de etanol, exigindo a remoção do álcool para atingir o objetivo de baixa caloria (Steensels *et al.*, 2015) (Capece *et al.*, 2018)

Tolerância ao Etanol e a Condições de Estresse

Embora varie por espécie, as leveduras não-*Saccharomyces* geralmente demonstram boa tolerância a condições de estresse, como temperatura, acidez do meio e etanol (De Almeida; Tallis

Vinícius Araújo Da Silva; Hornink, 2024). Em relação a tolerância ao etanol, no estudo de Mukherjee *et al* (2017), *Torulaspora delbrueckii* e *Pichia kudriavzevii* toleraram 13% v/v de álcool, enquanto *Dekkera bruxellensis* cresceu em 12% v/v. Já a maioria das cepas estudadas por Klimczak, K. *et al*, (2024), conseguiram crescer em um ambiente de até 4,5% de etanol e resistir a concentrações elevadas de iso- α -ácidos do lúpulo (até 90 IBU). No entanto, algumas leveduras como *Metschnikowia pulcherrima*, apresentaram menor tolerância ao etanol.

Produção de Sulfeto de Hidrogenio (H₂S) e Natureza Acidogênica

A capacidade de produzir sulfeto de hidrogênio (H₂S), que pode conferir odores desagradáveis de "ovo podre" em excesso, varia significativamente entre as espécies e cepas de leveduras não-Saccharomyces e é influenciada pelo mosto e pelas condições de fermentação. A avaliação dessa característica é importante para evitar impactos negativos na qualidade organoléptica da cerveja (Oka *et al.*, 2008); (Laudaud; Helinck; Bonnarme, 2008)

Algumas leveduras não-Saccharomyces são conhecidas por sua capacidade de acidificar o meio. As cepas de *Dekkera bruxellensis* (SYL-1 e CCA077), por exemplo, apresentaram os menores valores de pH e as maiores quantidades de acidez total titulável, confirmando sua natureza acidogênica (De Barros Pita *et al.*, 2019) (Lewis; Young, 2002). A produção de ácido láctico por espécies como *Lachancea fermentati* e *Lachancea thermotolerans* é também um diferencial, permitindo a produção de cervejas sour com uma única etapa de fermentação, sem a adição de bactérias lácticas (Bellut; Arendt, 2019).

Atividades Enzimáticas

As leveduras não-Saccharomyces possuem um aparato enzimático (Mertens *et al.*, 2017), (Methner *et al.*, 2019). Muitas espécies apresentam atividades enzimáticas como β -glicosidase e α -glicosidase, que são cruciais para a degradação de açúcares de cadeia complexa e a liberação de compostos aromáticos ligados a glicosídeos, o que pode enriquecer o aroma da cerveja (De Almeida; Tallis Vinícius Araújo Da Silva; Hornink, 2024).

Espécies como *Kluyveromyces lactis* e *Torulaspora delbrueckii* demonstraram alta atividade β -glicosidase. Além disso, a presença da enzima hidroxycinamato descarboxilase em leveduras POF+ (Phenolic Off-Flavors positive) permite a conversão de ácidos hidroxicinâmicos

(como p-cumárico e ferúlico) em fenóis voláteis (4-vinilguaiacol, 4-vinilfenol), que conferem aromas de cravo e fenólico, desejáveis em certos estilos de cerveja (Klimczak; Cioch-Skoneczny; Poreda, 2024).

AROMAS E SABORES PRODUZIDOS POR LEVEDURAS NÃO-SACCHAROMYCES

A capacidade das leveduras não-*Saccharomyces* de modular os compostos aromáticos e aprimorar o perfil sensorial das cervejas é uma das suas maiores vantagens. Elas podem produzir uma ampla gama de compostos voláteis, incluindo ésteres, álcoois superiores e fenóis, resultando em perfis sensoriais mais complexos e intensos do que as cervejas tradicionais (Canonico *et al.*, 2019)

Categorias de Compostos Voláteis e Perfis Aromáticos

Ésteres: São um grande grupo de compostos que conferem aromas frutados. Incluem ésteres etílicos de ácidos graxos de cadeia média (como caproato de etila e caprilato de etila, com sabor de maçã) e ésteres de acetato (como acetato de etila, frutado/solvente; acetato de isoamila, banana; e acetato de feniletila, rosas/mel/maçã) (Holt *et al.*, 2018).

Pichia kluyverii e *Cyberlindnera mrakii* são conhecidas por produzirem altos níveis de acetato de isoamila (banana) (Ravasio *et al.*, 2018).

Hanseniaspora guilliermondii favorece aromas de rosa e mel devido à alta concentração de ésteres de acetato e feniletila (De Almeida; Tallis Vinícius Araújo Da Silva; Hornink, 2024).

Torulaspora delbrueckii é um alto produtor de ésteres, contribuindo com notas frutadas (Michel *et al.*, 2016).

Wickerhamomyces anomalus pode aumentar a produção de ésteres etílicos, conferindo um caráter frutado (De Almeida; Tallis Vinícius Araújo Da Silva; Hornink, 2024).

Álcoois Superiores (Fúsel): Contribuem para a complexidade aromática da cerveja, adicionando notas refrescantes, frutadas e florais em concentrações adequadas. Álcoois alifáticos (n-propanol, iso-butanol, álcoois isoamílicos) podem conferir aromas "alcoólicos" ou "solventes" e uma sensação de aquecimento. Álcoois amílicos (2- e 3-metilbutanol) contribuem para sabores "frutados" (Simões *et al.*, 2023)

H. guilliermondii, *Meyerozyma guilliermondii*, *Pichia kudriavzevii*, *P. kluyveri* e *T.*

delbrueckii produzem álcoois como álcool isoamílico (banana) e 2-feniletanol (rosa) (Michel *et al.*, 2016), (Saerens e Swiegers, 2014).

Fenóis: A atividade POF+ em leveduras não-*Saccharomyces* (como *Brettanomyces*, *Dekkera* e algumas *S. cerevisiae*, *P. membranifaciens*) converte precursores do mosto em fenóis voláteis (4-vinilguaiaicol e 4-vinilfenol).

O 4-vinilguaiaicol confere notas de cravo, especiarias e baunilha, desejáveis em cervejas de trigo. *Torulaspora delbrueckii* potencializa este composto (Bellut *et al.*, 2018).

O 4-etil-fenol e 4-etil-guaiaicol contribuem para notas picantes e o "Caráter de Brett" (fenólico, suor de cavalo, couro, medicinal), procurados em estilos como as wild ales. Todas as cepas de *D. bruxellensis* avaliadas foram positivas para este aroma (De Barros Pita *et al.*, 2019).

Torulopsis utilis (*Candida utilis*) produz sabor agradável devido ao alto conteúdo de glutamato (sabor umami) (Buerth; Tielker; Ernst, 2016).

Lachancea fermentati pode produzir um aroma limpo com toques sutis de frutas como abacaxi, manga, chá-preto, melão e pera (Methner *et al.*, 2022).

Schizosaccharomyces japonicus produz aroma de frutas doce, maçã, melão, maçã verde, leve defumado e sabores azedos (Osburn *et al.*, 2018).

Cyberlindnera saturnus pode oferecer aromas de menta fresca, frutas vermelhas, maçã, pera e banana (Bellut *et al.*, 2019)

Acetaldeído, em baixas concentrações, contribui com um sabor frutado de maçã e maçã verde. Em altas concentrações, é indesejável (10mg/L como limite), bem como o diacetil que mesmo em baixas concentrações, pode conferir notas amanteigadas (Michel *et al.*, 2016).

Sulfeto de dimetila (DMS), em concentrações elevadas, pode conferir aroma de repolho cozido (James; Stahl, 2014).

PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES EM CERVEJAS

A cerveja, quando consumida em níveis leves a moderados, pode apresentar características nutricionais favoráveis, incluindo vitaminas do complexo B, minerais e antioxidantes (Capece *et al.*, 2018). Polifenóis, metabólitos secundários de plantas encontrados em malte e lúpulo, são os principais responsáveis por muitas características sensoriais (cor, sabor, amargor, adstringência, aroma) e estão associados à prevenção de doenças cardiovasculares e

certos tipos de câncer. O lúpulo, em particular, é conhecido por suas características antioxidantes (Bustos et al., 2019).

A pesquisa tem se concentrado na valorização de subprodutos cervejeiros como o bagaço de malte e a levedura gasta, que são fontes ricas em antioxidantes. Vale ressaltar que extratos fenólicos de palha de cana-de-açúcar e extrato de levedura gasta também mostraram efeitos antioxidantes. Métodos como a hidrólise enzimática e a extração assistida por ultrassom de proantocianidinas do bagaço de malte visam obter peptídeos antioxidantes e outros compostos bioativos (Belardi *et al.*, 2025).

A biotransformação por fermentação láctica também pode melhorar os perfis fenólicos e a capacidade antioxidante de sucos. Além disso, a própria fermentação com leveduras contribui para a formação de um "ambiente antimicrobiano" na cerveja, tornando-a microbiologicamente segura para consumo (Yang *et al.*, 2022)

ASPECTOS DE SEGURANÇA ALIMENTAR

Saccharomyces cerevisiae possui o status de Presunção Qualificada de Segurança (QPS) na Europa e Generally Recognized As Safe (GRAS) nos EUA, devido ao seu extenso histórico de uso seguro. No entanto, o uso de leveduras não-*Saccharomyces* é relativamente novo e menos documentado, exigindo uma avaliação de segurança rigorosa e específica para cada cepa (Efsa-Biohaz Panel, 2007). Desse modo, a introdução de leveduras não-*Saccharomyces* na produção de cerveja, embora promissora para inovação e diversificação, levanta importantes considerações de segurança alimentar (Miguel *et al.*, 2022).

CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA E PREOCUPAÇÕES

Alguns aspectos precisam ser considerados na avaliação de segurança de cepas, tais como a identificação taxonômica precisa da espécie (idealmente por métodos moleculares atualizados) e um estudo de literatura, potencial patogênico, resistência antifúngica, produção de amins biogênicas (BAs) e carbamato de etila (CE), e possíveis reações alérgicas. A avaliação de segurança de leveduras ainda está em sua fase inicial em comparação com a avaliação de bactérias, necessitando de mais pesquisa para definir valores de corte e validar ferramentas de triagem (Miguel et al., 2022).

- **Potencial Patogênico:** Leveduras em geral não são consideradas agentes infecciosos graves transmitidos por alimentos. Contudo, algumas espécies não-*Saccharomyces* podem ser patogênicas para indivíduos imunocomprometidos. Casos de fungemia por *Kluyveromyces marxianus* (uma levedura QPS) e a virulência de certas espécies de *Candida* (como *C. tropicalis* e *C. kefyr*) ressaltam a importância da avaliação da cepa específica (Barnett e Barnett, 2011). Fatores de virulência podem incluir capacidade de crescimento em altas temperaturas (37-42°C), presença de adesinas, crescimento de hifas e secreção de toxinas. A hibridização de leveduras também pode, ocasionalmente, gerar fenótipos virulentos (Edwards-Ingram *et al.*, 2007).
- **Resistência Antifúngica:** É uma preocupação, mas o Painel Efsa-Biohaz considera que genes de resistência antimicrobiana adquiridos não são significativos em leveduras para fins alimentares (Painel Efsa-Biohaz, 2022).
- **Aminas Biogênicas (BAs):** São formadas pela descarboxilação de aminoácidos por atividade microbiana e representam uma preocupação para a saúde. A literatura sugere que a seleção de certas linhagens não-*Saccharomyces* pode diminuir a concentração final de BAs, melhorando a segurança alimentar (Wang *et al.*, 2021). A contaminação por bactérias ácido lácticas (BAL) durante a fabricação de cerveja tem sido associada à formação de BAs (Vincenzini *et al.*, 2009).
- **Carbamato de Etila (CE):** É um contaminante tóxico. O conhecimento sobre a degradação de ureia por leveduras não-*Saccharomyces* pode fornecer informações preliminares sobre a potencial formação de CE. Cepas urease-positivas, como *Schizosaccharomyces pombe*, que degradam ureia, são uma abordagem atraente para diminuir o teor de CE na cerveja (Wu *et al.*, 2017).
- **Acetaldeído:** Em altas quantidades, cria sabor desagradável e é classificado como cancerígeno (Grupo 1). A produção de acetaldeído é dependente da cepa, e a seleção de linhagens que produzam menos pode melhorar a segurança alimentar e a vida útil da cerveja (Miguel *et al.*, 2022).

Reações Alérgicas: Embora raras, algumas reações alérgicas à cerveja e aos fungos nela presentes foram relatadas (Kalac; Krizek, 2003), Zotou e Loukou, 2008).

Desafios e Mitigações

Leveduras não-convencionais, quando introduzidas involuntariamente, podem ser consideradas contaminantes e deteriorantes (Gschaedler, 2017). Contaminações primárias (matéria-prima, equipamentos) e secundárias (engarrafamento, enlatamento) podem resultar em turbidez e off-flavours na cerveja (De Almeida; Tallis Vinícius Araújo Da Silva; Hornink, 2024). Cabe as cervejarias individuais a responsabilidade pela segurança do processo e pela vida útil da cerveja. A implementação de um sistema de gestão de alimentos, como ISO 22000 e ISO 9001, é recomendada (Natarajan, 2017).

Para NABLABs, a pasteurização do produto final é crucial, pois a ausência de etanol e a maior concentração de açúcares residuais tornam a cerveja mais propensa à contaminação microbiana (Bellut; Arendt, 2019). A remoção de leveduras e partículas responsáveis pela turbidez (clarificação) pode ser feita por sedimentação, centrifugação ou filtração. A capacidade de floculação da levedura é uma propriedade desejável que simplifica esse processo (Soares, 2009). Ressaltando que a seleção de cepas que não formem biofilmes é importante para mitigar riscos de contaminação cruzada (De Almeida; Tallis Vinícius Araújo Da Silva; Hornink, 2024).

Embora as ferramentas genômicas para avaliação de segurança de leveduras estejam atrasadas em comparação com as bactérias, elas são promissoras para um melhor entendimento da patogenicidade, resistência antifúngica e desenvolvimento de ferramentas de triagem (Bortolaia *et al.*, 2020)

CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

As leveduras não-*Saccharomyces* podem ser representadas como a inovação na indústria cervejeira, especialmente na produção de cervejas com baixo teor alcoólico ou sem álcool. Com elas, é crescente a capacidade de criar perfis sensoriais complexos e diferenciados, mantendo o processo de fabricação mais limpo sem a necessidade de métodos de desalcoolização caros e que são prejudiciais ao sabor. Cepas como *Saccharomycodes ludwigii*, *Pichia kluyveri*, *Torulaspora delbrueckii* e diversas *Cyberlindnera* e *Lachancea* demonstraram a capacidade de limitar a produção de etanol, no entanto, contribuem com ésteres frutados, fenóis de cravo e acidez agradável.

Contudo, o uso dessas leveduras não está livre de desafios, pois a compreensão de suas

propriedades fisiológicas, incluindo o metabolismo de açúcares, tolerância a estresse e produção de compostos de sabor e off-flavours, tornam-se extremamente importantes para o sucesso da aplicação. Além disso, a segurança alimentar é um ponto de preocupação primordial.

A falta de um histórico de uso seguro amplamente documentado para muitas dessas cepas exige avaliações rigorosas de patogenicidade, resistência antifúngica e produção de compostos tóxicos como aminas biogênicas e carbamato de etila. Processos físicos como a pasteurização e a filtração continuam sendo etapas cruciais para garantir a segurança dos produtos finais, especialmente das NABLABs.

As perspectivas futuras para o uso de leveduras não-*Saccharomyces* são inúmeras. Pesquisas contínuas são necessárias para um maior aprofundamento do conhecimento sobre a fisiologia e o metabolismo dessas leveduras, especialmente em co-fermentações com *Saccharomyces cerevisiae*, onde é possível otimizar a atenuação, o perfil aromático e a segurança de produtos fermentados.

O desenvolvimento de novas ferramentas genômicas e avanços em bioinformática serão muito importantes para uma caracterização mais dinâmica e precisa das cepas, permitindo a seleção de linhagens superiores que não só aprimorem o sabor, mas também contribuam para cervejas mais seguras e saudáveis.

Por fim, a exploração de novas fontes de isolamento de leveduras e a otimização das condições de fermentação (temperatura, níveis de oxigênio, tempo de fermentação) poderá implicar no surgimento de uma gama ainda maior de cervejas especiais com valor agregado, consolidando o papel dessas leveduras como matéria prima impulsionadora da diversidade e inovação na indústria cervejeira global.

REFERÊNCIAS

BELARDI, Ilary *et al.* Advances in the valorization of brewing by-products. **Food Chemistry**, v. 465, p. 141882, fev. 2025.

BELLUT, Konstantin *et al.* Application of Non-Saccharomyces Yeasts Isolated from Kombucha in the Production of Alcohol-Free Beer. **Fermentation**, v. 4, n. 3, p. 66, 17 ago. 2018.

BELLUT, Konstantin *et al.* Screening and Application of Cyberlindnera Yeasts to Produce a Fruity, Non-Alcoholic Beer. **Fermentation**, v. 5, n. 4, p. 103, 17 dez. 2019.

BELLUT, Konstantin; ARENDT, Elke K. Chance and Challenge: Non- *Saccharomyces* Yeasts in Nonalcoholic and Low Alcohol Beer Brewing – A Review. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 77, n. 2, p. 77–91, 3 abr. 2019.

BORTOLAIA, Valeria *et al.* ResFinder 4.0 for predictions of phenotypes from genotypes. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 75, n. 12, p. 3491–3500, 1 dez. 2020.

BUERTH, Christoph; TIELKER, Denis; ERNST, Joachim F. *Candida utilis* and *Cyberlindnera (Pichia) jadinii*: yeast relatives with expanding applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 100, n. 16, p. 6981–6990, ago. 2016.

BUSTOS, Luis *et al.* Brewing of a Porter Craft Beer Enriched with the Plant *Parastrephia lucida*: A Promising Source of Antioxidant Compounds. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 77, n. 4, p. 261–266, 2 out. 2019.

CANONICO, Laura *et al.* Exploitation of Three Non-Conventional Yeast Species in the Brewing Process. **Microorganisms**, v. 7, n. 1, p. 11, 8 jan. 2019.

CAPECE, Angela *et al.* Conventional and Non-Conventional Yeasts in Beer Production. **Fermentation**, v. 4, n. 2, p. 38, 1 jun. 2018.

DE ALMEIDA, Vivian Santana; TALLIS VINÍCIUS ARAÚJO DA SILVA; HORNINK, Gabriel Gerber. **Boletim #5 - Leveduras não-Saccharomyces alternativas na produção cervejeira**. Unpublished, , 2024. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/doi/10.13140/RG.2.2.13922.34246>>. Acesso em: 3 jan. 2026

DE BARROS PITA, Will *et al.* The biotechnological potential of the yeast *Dekkera bruxellensis*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 35, n. 7, p. 103, jul. 2019.

DOMIZIO, P. *et al.* *L. achancea thermotolerans* as an alternative yeast for the production of beer[†]. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 122, n. 4, p. 599–604, out. 2016.

EDWARDS-INGRAM, Laura *et al.* Genotypic and Physiological Characterization of *Saccharomyces boulardii*, the Probiotic Strain of *Saccharomyces cerevisiae*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 73, n. 8, p. 2458–2467, 15 abr. 2007.

GSCHAEDLER, Anne. Contribution of non-conventional yeasts in alcoholic beverages. **Current Opinion in Food Science**, v. 13, p. 73–77, fev. 2017.

HOLT, Sylvester *et al.* Bioflavoring by non-conventional yeasts in sequential beer fermentations. **Food Microbiology**, v. 72, p. 55–66, jun. 2018.

JAMES, N.; STAHL, U. Amino Acid Permeases and their Influence on Flavour Compounds in Beer. *[S.d.]*.

KALAC, Pavel; KRÍZEK, Martin. A Review of Biogenic Amines and Polyamines in Beer. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 109, n. 2, p. 123–128, 2003.

KLIMCZAK, Krystian; CIOCH-SKONECZNY, Monika; POREDA, Aleksander. Evaluation of Non-Saccharomyces Yeast for Low-Alcohol Beer Production. **Applied Sciences**, v. 14, n. 15, p. 6755, 2 ago. 2024.

LANDAUD, Sophie; HELINCK, Sandra; BONNARME, Pascal. Formation of volatile sulfur compounds and metabolism of methionine and other sulfur compounds in fermented food. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 77, n. 6, p. 1191–1205, jan. 2008.

LARROQUE, M. N. *et al.* Effect of Saccharomyces and non-Saccharomyces native yeasts on beer aroma compounds. **International Journal of Food Microbiology**, v. 337, p. 108953, jan. 2021.

MERTENS, Stijn *et al.* Rapid Screening Method for Phenolic Off-Flavor (POF) Production in Yeast. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 75, n. 4, p. 318–323, 1 set. 2017.

METHNER, Yvonne *et al.* Screening for the Brewing Ability of Different Non-Saccharomyces Yeasts. **Fermentation**, v. 5, n. 4, p. 101, 12 dez. 2019.

METHNER, Yvonne *et al.* Investigation of Non- *Saccharomyces* Yeast Strains for Their Suitability for the Production of Non-Alcoholic Beers with Novel Flavor Profiles. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 80, n. 4, p. 341–355, 2 out. 2022.

MICHEL, Maximilian *et al.* Review: Pure non- *Saccharomyces* starter cultures for beer fermentation with a focus on secondary metabolites and practical applications. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 122, n. 4, p. 569–587, out. 2016.

MIGUEL, Gabriela A. *et al.* Non-Saccharomyces yeasts for beer production: Insights into safety aspects and considerations. **International Journal of Food Microbiology**, v. 383, p. 109951, dez. 2022.

NATARAJAN, Dhanasekharan. **ISO 9001 Quality Management Systems**. Cham: Springer International Publishing, 2017.

OKA, Kaneo *et al.* Decrease in hydrogen sulfide content during the final stage of beer fermentation due to involvement of yeast and not carbon dioxide gas purging. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 106, n. 3, p. 253–257, set. 2008.

OSBURN, Kara *et al.* Primary souring: A novel bacteria-free method for sour beer production. **Food Microbiology**, v. 70, p. 76–84, abr. 2018.

RAVASIO, Davide *et al.* Adding Flavor to Beverages with Non-Conventional Yeasts. **Fermentation**, v. 4, n. 1, p. 15, 26 fev. 2018.

SIMÕES, João *et al.* Exploiting Non-Conventional Yeasts for Low-Alcohol Beer Production. **Microorganisms**, v. 11, n. 2, p. 316, 26 jan. 2023.

SIMON, Margaux; VUYLSTEKE, Gaël; COLLIN, Sonia. Flavor Defects of Fresh and Aged NABLABs: New Challenges Against Oxidation. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 81, n. 4, p. 533–543, 2 out. 2023.

SOARES, Eduardo V. Flocculation in *Saccharomyces Cerevisiae*. In: **Beer in Health and Disease Prevention**. [S.l.]: Elsevier, 2009. p. 103–112.

STEENSELS, Jan *et al.* Brettanomyces yeasts — From spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. **International Journal of Food Microbiology**, v. 206, p. 24–38, ago. 2015.

VICENTE, Javier *et al.* High Potential of *Pichia kluyveri* and Other *Pichia* Species in Wine Technology. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 3, p. 1196, 26 jan. 2021.

WANG, Baoshi *et al.* The effect of non-*Saccharomyces* yeasts on biogenic amines in wine. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 1029–1040, out. 2021.

WU, Qun *et al.* Urea production by yeasts other than *Saccharomyces* in food fermentation. **FEMS Yeast Research**, v. 17, n. 7, 1 nov. 2017.

YANG, Nana *et al.* Bioactive compounds, antioxidant activities and flavor volatiles of lager beer produced by supplementing six jujube cultivars as adjuncts. **Food Bioscience**, v. 50, p. 102008, dez. 2022.

YEO, Hui Qi; LIU, Shao-Quan. An overview of selected specialty beers: developments, challenges and prospects. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 49, n. 7, p. 1607–1618, jul. 2014.