



**AGROTEC**  
Revista Agropecuária Técnica  
Since 1981

ISSN impresso 0100-7467 - ISSN online 2525-8990

AGRARIAN SCIENCE AND TECHNOLOGY

## Uso de leveduras não convencionais na produção de cervejas de baixo teor alcoólico

Angélica Cristina de Souza<sup>1</sup>; Gabriel Gerber Hornink<sup>2\*</sup>

### Resumo

O aumento da conscientização em saúde e bem-estar tem levado consumidores a buscarem mais cervejas de baixo teor alcoólico. Este trabalho revisa o uso de leveduras não convencionais na produção de cervejas de baixo teor alcoólico. Entre os métodos físicos e biológicos disponíveis, os físicos tendem a ser mais dispendiosos; assim, abordagens biológicas, nas quais as leveduras fermentam apenas parte dos açúcares do mosto, despontam como alternativa promissora para microcervejarias. Destacam-se leveduras incapazes de fermentar maltose e/ou maltotriose, principais açúcares do mosto, reduzindo a formação de etanol. Foram identificadas 39 espécies, sendo 95% não-*Saccharomyces* e 5% *Saccharomyces*. Essa diversidade pode gerar perfis distintos de sabor, aroma e outras características desejáveis, ampliando a variedade de cervejas disponíveis. Contudo, a maioria das espécies ainda se encontra em estágios iniciais de estudo, exigindo investigações adicionais sobre segurança, impacto sensorial e viabilidade de aplicação em escala industrial.

**Palavras-chave:** Cerveja sem álcool, Cerveja com baixo teor alcoólico, Método biológico, Leveduras não convencionais

### Abstract

**Use of unconventional yeasts in the production of low-alcohol beers.** Increased awareness of health and well-being has led consumers to seek out more low-alcohol beers. This paper reviews the use of unconventional yeasts in the production of low-alcohol beers. Among the physical and biological methods available, physical methods tend to be more expensive; thus, biological approaches, in which yeasts ferment only part of the sugars in the wort, are emerging as a promising alternative for microbreweries. Of particular note are yeasts that are unable to ferment maltose and/or maltotriose, the main sugars in wort, reducing the formation of ethanol. Thirty-nine species have been identified, 95% of which are non-*Saccharomyces* and 5% *Saccharomyces*. This diversity can generate distinct flavor profiles, aromas, and other desirable characteristics, expanding the variety of beers available. However, most species are still in the early stages of study, requiring further investigation into safety, sensory impact, and feasibility of industrial-scale application.

**Keywords:** Non-alcoholic beer, Low-alcohol beer, Biological method, Unconventional yeasts

---

Submetido em 12/08/2025;

<sup>1</sup>Tecnologia e Qualidade em Produção de Alimentos. Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Minas Gerais, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Bioquímica, Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Federal de Alfenas, Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL, Alfenas – MG. 37130000

Email: [gabriel.hornink@unifal-mg.edu.br](mailto:gabriel.hornink@unifal-mg.edu.br) \* (Autor correspondente)

## Introdução

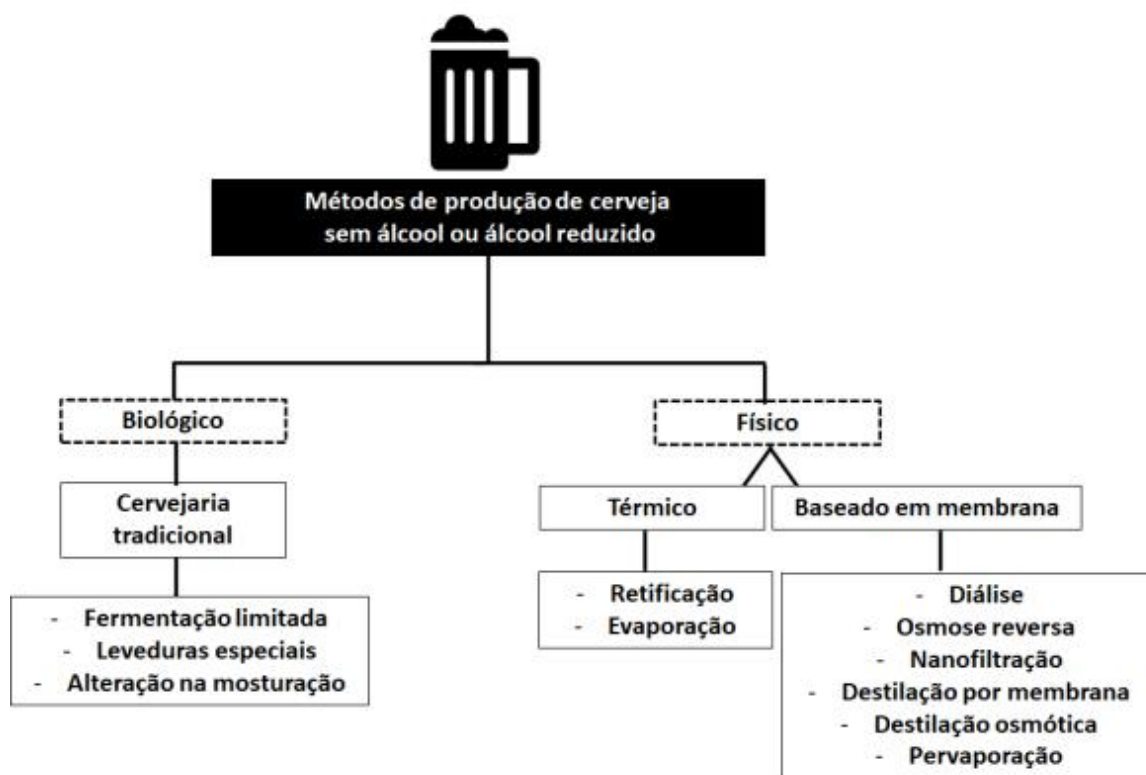
Cerveja é uma bebida fermentada elaborada principalmente de malte de cevada, lúpulo, água e leveduras. Podem ser utilizados adjuntos, outros insumos vegetais, mel, aditivos e coadjuvantes de tecnologia de produção (Brasil, 2019). Em termos nutricionais, a cerveja possui diversos compostos bioativos com propriedades funcionais, incluindo compostos fenólicos e ácidos orgânicos, além de ser uma boa fonte de fibras alimentares, minerais e vitaminas do complexo B (esses componentes variam com o preparo e estilo da cerveja). Uma vantagem das cervejas com baixo teor alcoólico ou sem álcool é oferecer a possibilidade de desfrutar do sabor e das características da cerveja, mas com uma quantidade reduzida de etanol. Isso é especialmente vantajoso para pessoas que desejam evitar os efeitos do álcool em excesso ou que tenham restrições relacionadas ao consumo de bebidas alcoólicas (Bamforth, 2002). No Brasil, a legislação (Brasil, 2019) define: cerveja de teor alcoólico reduzido ou baixo teor aquelas com etanol maior que 0,5% v/v e menor ou igual a 2,0% v/v; cerveja sem álcool ou desalcoholizada com etanol inferior a 0,5% v/v, sendo que, para ser chamada de zero álcool (0,0% ou similares), somente com até 0,05% v/v. Produziu-se na União Europeia em 2019 cerca de 1,38 bilhão de litros de cerveja sem álcool (incluindo cerveja contendo até  $\leq 0,5\%$  de álcool), representando 3,8% de todo o volume de cerveja e 4,1% (Kokole; Llopis; Anderson, 2022). No Brasil, a produção de cerveja sem álcool e com baixo teor alcoólico correspondeu a 5,3% do total produzido em 2024, representando um aumento de 536,9% em relação a 2023 (Brasil, 2025).

As estratégias para produção de cervejas com baixo teor alcoólico ou sem álcool podem ser categorizadas em dois grupos principais (Figura 1): processos físicos e biológicos, cada um com suas subcategorias. Os métodos físicos envolvem a remoção do álcool da cerveja, como por métodos térmicos (evaporação ou retificação) ou baseados em membrana (diálise, nanofiltração etc.) e, geralmente, requerem um investimento significativo em equipamentos especializados para extração do álcool. O processo de remoção na indústria vem sendo otimizado, gerando cervejas com boa qualidade sensorial. Uma vantagem dos métodos físicos é a capacidade de reduzir os níveis de etanol na cerveja a valores extremamente baixos, até menores que 0,05% (Catarino e Mendes, 2011). Os processos biológicos englobam os métodos centrados principalmente na fermentação controlada. Esses métodos incluem o uso de leveduras especiais (geralmente maltose negativa), modificações no processo de mosturação e regulação da capacidade fermentativa. Uma vantagem significativa dos métodos biológicos é a sua viabilidade de implementação em cervejarias menores, sem a necessidade de equipamentos especializados adicionais (Muller *et al.*, 2020).

Na produção de cerveja, destacam-se as espécies de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (cervejas Ale) e *Saccharomyces pastorianus* (cervejas Lager), sendo que ambas são capazes de fermentar glicose, frutose, sacarose, maltose e maltotriose, convertendo esses açúcares em álcool etílico e dióxido de carbono durante o processo de fermentação (Hornink, 2022), dessa forma, não sendo adequadas, no geral, para uso exclusivo na produção de cerveja de baixo teor alcoólico. Assim, o uso de leveduras não convencionais, incluindo as não-*Saccharomyces*, com habilidades limitadas para utilizar os açúcares do mosto, ou seja, leveduras maltose-negativas, representam uma alternativa bastante atrativa para obter cervejas com baixo teor alcoólico, e que produzem vários compostos responsáveis pelos sabores e aromas característicos encontrados na cerveja (Capece *et al.*, 2018).

O significativo crescimento do mercado de cervejas com baixo teor alcoólico ou sem álcool, que no Brasil aumentou mais de 500% entre 2023 e 2024, aliado à diversidade de leveduras não-*Saccharomyces* ainda pouco exploradas comercialmente, configura um cenário promissor para a geração e consolidação de novos conhecimentos na área. Contudo, persiste uma lacuna relevante entre o avanço das pesquisas acadêmicas, especialmente no que se refere ao potencial aromático dessas leveduras, e sua efetiva aplicação no setor produtivo, em grande parte devido à falta de estudos padronizados, comparativos e focados na aplicação industrial. Portanto, justifica-se a presente revisão como um esforço para sintetizar as evidências disponíveis sobre o uso dessas leveduras na produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico, identificando avanços,

limitações e prioridades de pesquisa que possam acelerar a inovação segura no setor. Neste sentido, objetivou-se compreender como as leveduras não convencionais ou não-*Saccharomyces* podem ser utilizadas para produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico a partir de uma revisão ampla focada na temática.



**Figura 1.** Métodos mais comuns de produção de cerveja sem álcool ou baixo teor alcoólico. Fonte: Autoria própria adaptado de BRÁNYIK et al., (2012).

## 2. Leveduras não-*Saccharomyces*: potencial e critérios de escolha

Nos últimos anos, tem-se observado um crescente interesse na exploração das aplicações de leveduras não-*Saccharomyces* na indústria cervejeira. Esse momento apresenta o potencial de introduzir sabores novos e distintos na produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico, sem a necessidade de equipamentos especiais. As leveduras não convencionais isoladas de diferentes substratos exibem um enorme potencial na produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico, oferecendo uma ampla diversidade de sabores que podem ser alcançados por meio de sua aplicação. Esta revisão sistemática destaca que a utilização de leveduras não-*Saccharomyces* pode conferir características sensoriais atrativas às bebidas, enfatizando a importância de adequar o processo à cepa específica de levedura para evitar comprometer a qualidade do produto final devido à possível sensibilidade a certos parâmetros.

Os principais critérios para selecionar cepas de levedura na produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico de acordo com Bellut e Arendt (2019) e Yabaci Karaoglan *et al.* (2022) são:

- **Maltose-Negativa:** A cepa de levedura deve ter capacidade limitada ou nenhuma capacidade de fermentar a maltose, que é o açúcar primário encontrado nos grãos de malte usados na fabricação de cerveja. Essa característica auxilia na redução do teor alcoólico do produto final. A incapacidade de fermentar maltose e maltotriose indica a ausência de um transportador de maltose e a enzima maltase (Day *et al.*, 2002).
- **Baixa capacidade de fermentação:** A cepa de levedura deve apresentar capacidade de fermentação reduzida, resultando em menor consumo de açúcar e menor produção de álcool.

Ao usar essas cepas, é possível criar uma bebida com sabores e aromas mais sutis em comparação com as cervejas totalmente fermentadas. Isso pode ajudar a manter a experiência sensorial e a complexidade da cerveja tradicional, mesmo em versões sem álcool

- **Elegância Volátil:** A cepa de levedura selecionada deve contribuir para a preservação dos compostos voláteis. Não deve exibir comportamento POF (*phenolic off-flavours*) positivo. Os sabores fenólicos (POF) são produzidos pela descarboxilação de ácido ferúlico, ácido cumárico e ácido cinâmico, que estão presentes no mosto da cerveja. O ácido ferúlico é usado pelas leveduras como precursor do 4-vinil-guaiacol, que é descrito como tendo um aroma de cravo. O ácido cumárico é descarboxilado em 4-vinilfenol, com sabor semelhante ao de solvente, e o ácido cinâmico torna-se 4-vinilestireno, com sabor semelhante ao do isopor;
- **Características de floculação:** A capacidade de floculação da levedura é considerada uma característica importante para alguns processos industriais fermentativos e para produção de cerveja sem álcool as leveduras devem ser capazes de flocular facilmente;
- **Crescimento em meio com lúpulo:** Devem ser capazes de crescer na presença de iso- $\alpha$ -ácidos derivados do lúpulo;

Portanto, é possível produzir cervejas não alcoólicas ou baixo teor alcoólico, utilizando cepas de levedura que atendem a esses critérios e oferecem uma experiência sensorial satisfatória, remanescente de cervejas convencionais, mantendo um teor alcoólico mais baixo e minimizando sabores indesejáveis. Leveduras não-*Saccharomyces* representam uma alternativa muito atraente para a produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico (Yabaci Karaoglan *et al.*, 2022).

### 3. Diversidade de leveduras utilizadas em cervejas de baixo teor alcoólico

A produção de cervejas com baixo teor alcoólico, com teor de álcool até 0,5%, por via biológica, impulsionou pesquisas sobre uma ampla diversidade de leveduras com potencial fermentativo distinto daquele observado nas cepas cervejeiras convencionais. Entre os microrganismos estudados, destacam-se principalmente espécies não-*Saccharomyces*, apesar de que algumas espécies do gênero *Saccharomyces* também foram estudadas em condições específicas. Essa diversidade de leveduras é relevante pois os diferentes gêneros, espécies e cepas podem apresentar perfis distintos de utilização de açúcares, produção de etanol, formação de compostos voláteis e impacto sensorial, impactando diretamente a viabilidade tecnológica e a qualidade final da bebida. A identificação das leveduras estudadas (Tabela 1) pode permitir compreender quais destes têm maior potencial, assim como identificar tendências, lacunas e oportunidades para o avanço da produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico.

### 4 Principais espécies utilizadas na produção de cervejas de baixo teor alcoólico

Apesar da ampla variedade de leveduras estudadas, somente parte das espécies avaliadas apresentou nos artigos resultados promissores para a produção de cervejas de baixo teor alcoólico (Tabela 2). As diferenças entre as espécies são multifatoriais, incluindo capacidade de limitar a formação de etanol, o impacto sobre o perfil sensorial, capacidade de utilização dos diferentes carboidratos no mosto, assim como a viabilidade tecnológica (Tabela 2). As principais leveduras não-*Saccharomyces* que foram identificadas para a produção de cervejas não alcoólicas ou com baixo teor alcoólico a partir dos 15 artigos selecionados, com informações sobre as linhagens de leveduras utilizadas com seus respectivos autores e anos de publicação (Tabela 2). Dessa forma, a análise individual das principais espécies fornecerá dados para uma visão mais ampla das possibilidades, limitações e perspectivas de uso na produção cervejeira.

**Tabela 1.** Gêneros de leveduras utilizados na produção de cervejas de baixo teor alcoólico

Gênero	Nº de espécies	% do total	Nº de estudos	ABV (%)
<i>Cyberlindnera</i>	6	15,4	5	1,02
<i>Pichia</i>	6	15,4	8	0,54
<i>Hanseniaspora</i>	3	7,7	3	1,03
<i>Zygosaccharomyces</i>	3	7,7	3	1,08
<i>Candida</i>	2	5,1	2	0,48
<i>Kluyveromyces</i>	2	5,1	2	0,69
<i>Lachancea</i>	2	5,1	4	2,51
<i>Saccharomyces</i>	2	5,1	1	1,5
<i>Trigonopsis</i>	2	5,1	1	0,3
<i>Kazachstania</i>	1	2,6	3	0,46
<i>Kregervanrija</i>	1	2,6	1	0,1
<i>Metschnikowia</i>	1	2,6	1	0,06
<i>Meyerozyma</i>	1	2,6	1	0,61
<i>Mrakia</i>	1	2,6	2	0,75
<i>Saccharomycodes</i>	1	2,6	5	0,47
<i>Saccharomycopsis</i>	1	2,6	1	0,47
<i>Schizosaccharomyces</i>	1	2,6	2	0,38
<i>Starmerella</i>	1	2,6	1	0,27
<i>Torulaspora</i>	1	2,6	5	0,57
<i>Wickerhamomyces</i>	1	2,6	1	2,13

Fonte: Compilação de dados da revisão pelos autores.

#### 4.1 *Saccharomycodes ludwigii* (NCBI:txid36035)

A levedura *Saccharomycodes ludwigii* é a espécie mais popular e tem sido utilizada comercialmente para produção de cerveja sem álcool por muitos anos (Capece *et al.*, 2018). Em relação ao consumo de açúcar, *S. ludwigii* pode fermentar glicose, sacarose e rafinose, porém costuma apresentar baixo desempenho fermentativo de maltose e maltotriose. Também é capaz de assimilar glicerina, cadaverina e etilamina, embora não assimile nitratos (Fugelsang e Edwards, 2007). Dependendo da cepa pode produzir quantidades elevadas de álcoois superiores e ésteres sensorialmente ativos (Francesco *et al.*, 2015). A cepa comercial WLP618 (*Saccharomycodes ludwigii*) tem sido considerada útil na produção de cerveja com baixo teor alcoólico.

Para produzir cervejas sem álcool tradicionais e *sour*, (Adamenko *et al.*, 2020) utilizaram a levedura *Saccharomycodes ludwigii* WSL 17 (SL), combinada com a adição de suco de cereja de Cornalina (*Cornus mas* L.), conhecida por seu sabor e aroma naturalmente azedos. O teor de álcool etílico nas cervejas fabricadas variou de 0,41% v/v nas cervejas tradicionais sem álcool a 0,43% v/v nas cervejas *sour* sem álcool. Além disso, apresentaram baixo valor energético, variando entre 232 a 296 kcal por litro de cerveja, o que corresponde a aproximadamente metade do valor calórico das cervejas regulares. A tecnologia descrita neste estudo possibilitou a produção de cervejas com baixo teor alcoólico, propriedades físico-químicas favoráveis, incluindo teor de extrato, teor alcoólico, grau de fermentação, calorias, densidade, amargor, bem como valores de pH, IBU, maior potencial antioxidante e características sensoriais únicas. Essas características tornam essas cervejas uma alternativa valiosa em comparação a outras bebidas não alcoólicas adoçadas e com menor valor nutricional.

Tabela 2. Principais espécies não convencionais utilizadas na produção de cerveja sem álcool ou com baixo teor alcoólico

Autores/Ano	Leveduras não convencionais	AB V	Consumo de açúcar			
			Glc	Fru	Suc	Mal
Adamenko <i>et al.</i> (2020)	<i>Saccharomyces ludwigii</i> WSL 17	0.43	+	+	ni	-
Bellut <i>et al.</i> (2018)	<i>Hanseniaspora valbyensis</i> KBI 22.1	0.35	+	+	-	-
	<i>Hanseniaspora vineae</i> KBI 7.1	0.34	+	+	-	-
	<i>Torulaspora delbrueckii</i> KBI 22.2	0.50	+	+	+	-
	<i>Zygosaccharomyces Bailii</i> KBI 25.2	0.42	+	+	+	-
	<i>Zygosaccharomyces kombuchaensis</i> KBI5.4	0.48	+	+	+	-
	<i>Saccharomyces ludwigii</i> TUM SL 17	0.50	+	+	+	-
Bellut <i>et al.</i> (2019a)	<i>Lachancea fermentati</i> KBI 12.1	2.21	+	+	+	+
Bellut <i>et al.</i> (2019b)	<i>Cyberlindnera fabianii</i> NT Cyb	0.63	+	ni	+	+
	<i>Cyberlindnera jadinii</i> L.1	0.66	+	ni	+	+
	<i>Cyberlindnera mrakii</i> CBS 1707	0.54	+	ni	-	v
	<i>Cyberlindnera misumaiensis</i> 837A	0.55	+	ni	-	-
	<i>Cyberlindnera subsufficiens</i> C6.1	0.63	+	ni	+	-
	<i>Cyberlindnera subsufficiens</i> CBS 5763T	0.67	+	ni	+	v
Bellut <i>et al.</i> (2020)	<i>Lachancea fermentati</i> KBI 1.2	3.73	+	+	+	+
	<i>Lachancea fermentati</i> KBI 3.2	3.63	+	+	+	+
	<i>Lachancea fermentati</i> KBI 5.3	3.76	+	+	+	+
	<i>Lachancea fermentati</i> KBI 12.1	2.96	+	+	+	+
Francesco <i>et al.</i> (2018)	<i>Mrakia gelida</i> DBVPG 5952	1.16	+	+	+	-
Johansson <i>et al.</i> (2021)	<i>Cyberlindnera fabianii</i> VTT C-191028	0.9	ni	ni	ni	-
	<i>Hanseniaspora uvarum</i> VTT C-191029	0.8	ni	ni	ni	-
	<i>Kazachstania servazzii</i> VTT C-191027	1.0	ni	ni	ni	-
	<i>Kluyveromyces Marxianus</i> VTT C-191030	0.9	ni	ni	ni	-
	<i>Kluyveromyces marxianus</i> VTT C-191031	1.0	ni	ni	ni	-
	<i>Pichia fermentans</i> VTT C-191032	0.9	ni	ni	ni	-
	<i>Pichia fermentans</i> VTT C-191033	0.8	ni	ni	ni	-
	<i>Pichia kudriavzevii</i> VTT C-191034	0.8	ni	ni	ni	-
	<i>Torulaspora delbrueckii</i> VTT C-191035	0.8	ni	ni	ni	-
	<i>Torulaspora delbrueckii</i> VTT C-191036	1.0	ni	ni	ni	-
Krogerus <i>et al.</i> (2022)	<i>Wickerhamomyces anomalus</i> P-2.4	2.13	+	+	ni	-
	<i>Pichia manshurica</i> P-5.2	0.04	-	v	ni	-
	<i>Trigonopsis variabilis</i> P-5.8	0.02	-	v	ni	-
	<i>Trigonopsis cantarellii</i> P-69	0.58	+	v	ni	-
	<i>Kregervanrija delftensis</i> R-7	0.10	v	-	ni	-
	<i>Meyerozyma caribbica</i> T-31	0.61	+	+	ni	-
	<i>Candida sojae</i> T-39	0.50	+	v	ni	-
Linnakoski <i>et al.</i> (2023)	<i>Mrakia gelida</i> YGW 70	0.75	ni	ni	ni	ni
	<i>Mrakia gelida</i> YGW 132	0.71	ni	ni	ni	ni
	<i>Mrakia gelida</i> YGW 150	0.70	ni	ni	ni	ni
	<i>Mrakia gelida</i> YGW 172	0.75	ni	ni	ni	ni

Autores/Ano	Leveduras não convencionais	AB V	Consumo de açúcar			
			Glc	Fru	Suc	Mal
	<i>Mrakia gélida</i> YGW 180	0.73	ni	ni	ni	ni
	<i>Mrakia gélida</i> YGW 184	0.70	+	v	ni	-
	<i>Mrakia gélida</i> YGW 279	0.72	ni	ni	ni	ni
	<i>Mrakia gélida</i> YGW 321	0.71	ni	ni	ni	ni
	<i>Mrakia gélida</i> YGW 322	0.75	ni	ni	ni	ni
	<i>Mrakia gélida</i> YGW 335	0.69	ni	ni	ni	ni
	<i>Mrakia gélida</i> YGW 344	0.71	ni	ni	ni	ni
	<i>Mrakia gélida</i> YGW 352	0.73	ni	ni	ni	ni
Methner <i>et al.</i> (2022)	<i>Cyberlindnera fabianii</i> CBS 5640	0.33	+	v	+	+
	<i>Cyberlindnera fabianii</i> CBS 5650	0.43	+	v	+	+
	<i>Cyberlindnera misumaiensis</i> TUM 238	0.32	+	+	v	-
	<i>Cyberlindnera misumaiensis</i> YH 837A-3D4	0.31	+	+	v	-
	<i>Cyberlindnera saturnus</i> TUM 247	0.36	+	v	+	-
	<i>Cyberlindnera saturnus</i> CBS 4549	0.28	+	v	+	-
	<i>Cyberlindnera saturnus</i> YHMH 22AA-3H1	0.46	+	v	+	-
	<i>Kazachstania servazzii</i> YHMH 47B-3C4	0.33	+	v	-	-
	<i>Kluyveromyces lactis</i> TUM G9K	0.49	+	+	+	-
	<i>Kluyveromyces marxianus</i> TUM 653	0.37	+	v	+	-
	<i>Lachancea kluyveri</i> CBS 3082 T	0.55	+	v	+	-
	<i>Pichia kluyveri</i> YHA K1A-3I1	0.26	+	+	-	-
	<i>Saccharomycodes ludwigii</i> TUM SL17	0.50	+	+	+	-
	<i>Saccharomycopsis fibuligera</i> PI S 6 Lu27	0.47	v	v	v	+
	<i>Schizosaccharomyces pombe</i> TUM G10S	0.40	+	v	+	v
<i>Torulasporea delbrueckii</i> YH824A-116	0.54	+	v	+	v	
Nikulín <i>et al.</i> (2022)	<i>Torulasporea delbrueckii</i> Tdel8	0,02	ni	ni	ni	-
	<i>Kazachstania servazzii</i>	0.06	ni	ni	ni	-
	<i>Pichia fermentans</i>	0.11	ni	ni	ni	-
Durga Prasad <i>et al.</i> (2022)	<i>Pichia myanmarensis</i>	0.48	+	+	ni	-
Simões <i>et al.</i> (2023)	<i>Hanseniaspora valbyensis</i> NCYC 328	2.62	v	v	ni	+
	<i>Pichia fermentans</i> NCYC 336	0.40	+	+	-	-
	<i>Cyberlindnera mrakii</i> ( <i>Lindnera mrakii</i> ) NCYC 500	nd	+	+	v	-
	<i>Saccharomycodes ludwigii</i> NCYC 730	nd	+	v	+	-
	<i>Zygosaccharomyces rouxii</i> NCYC 1508	0.72	v	v	ni	v
	<i>Candida spandovensis</i> NCYC 2546	0.46	+	+	+	v
	<i>Pichia kluyveri</i> NEER	nd	+	+	v	-
Vaštík <i>et al.</i> (2020)	<i>Saccharomycodes ludwigii</i> CCY 34-1-2	0.46	+	ni	+	-
	<i>Schizosaccharomyces pombe</i> NRRL Y-12796	0.36	+	ni	+	+
	<i>Lachancea fermentati</i> CBS 4506	0.76	+	ni	+	+
	<i>Pichia angusta</i> CBS 7073	0.14	+	ni	+	+
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> W303-1A G418R	0.38	+	ni	+	-
	<i>Saccharomyces eubayanus</i> PYCC121	2.63	+	ni	+	+
	Hybrid ( <i>SCP</i> × <i>SEP</i> )	1.02	+	ni	+	-
Vaštík <i>et al.</i> (2022)	<i>Starmerella bombicola</i> CCY029-180-002	0.27	+	ni	+	-
	<i>Cyberlindnera saturnus</i> ( <i>Lindnera saturnus</i> ) CCY 038-004-007	5.2	+	ni	+	-

Autores/Ano	Leveduras não convencionais	AB V	Consumo de açúcar			
			Glc	Fru	Suc	Mal
	<i>Zygosaccharomyces rouxii</i> CCY021-002-003	2.7	+	ni	+	-
	<i>Torulasporea delbrueckii</i> CCY041-018-006	nd	+	ni	+	+
	<i>Pichia kluyveri</i> CCY 029-009-046	1.5	+	ni	+	-
	<i>Metschnikowia pulcherrima</i> CCY 029-002-138	0.06	+	ni	+	-
	<i>Cyberlindnera jadinii</i> ( <i>Lindnera jadinii</i> ) CCY 029-038-042	4.1	+	ni	+	-

Glc = Glicose; Fru = Frutose; Suc = Sacarose; Mal = Maltose.

nd – Não detectado. ni= Não informado. V= variável capacidade para fermentar o sacarídeo. + = capacidade positiva para fermentar o sacarídeo. - = Incapacidade de fermentar sacarídeo.

Fonte: Compilação de dados da revisão pelos autores.

Em um estudo conduzido por Bellut *et al.*, (2018) *Saccharomyces ludwigii* TUM SL 17, uma levedura maltose-negativa que é aplicada comercialmente na produção de cervejas sem álcool, foi utilizada na comparação de cinco cepas não-*Saccharomyces* isoladas de kombucha. A cepa produziu 0,5% ABV (álcool por volume) em mosto a 6,6<sup>o</sup>P após três dias de fermentação a 25 °C, exibiu baixa produção de álcoois superiores (21 mg/L), éster (0,8 mg/L) e Diacetil (0,03 mg/L). A cerveja sem álcool fermentada com a cepa *S. ludwigii* foi descrita como tendo sabor doce e possivelmente notas de mel e cereais. Em conjunto, esses achados indicam que *S. ludwigii* não apenas atende aos requisitos funcionais para produção de cervejas de baixo teor alcoólico, especialmente por seu fenótipo maltose-negativo, mas também oferece flexibilidade para inovação, seja na produção de estilos clássicos (Bellut *et al.*, 2018) ou na incorporação de frutas e outros ingredientes funcionais (Adamenko *et al.*, 2020).

#### 4.2 *Mrakia gélida* (levedura psicrófila) (NCBI:txid105766)

A maioria das espécies de levedura usadas no processo de fabricação de cerveja está relacionada quase exclusivamente ao filo Ascomycota e são conhecidas por suas características mesófilas, o que significa que crescem melhor em condições de temperatura moderada. As leveduras basidiomicetos, por outro lado, não são muito comuns em bebidas fermentadas, geralmente são consideradas leveduras de baixa ou não fermentação devido à sua maior sensibilidade ao etanol em comparação com as leveduras do filo Ascomycota (Francesco *et al.*, 2018; Di Maro *et al.*, 2007; Yabaci Karaoglan *et al.*, 2022). Como resultado, pouco se sabe sobre as habilidades fermentativas de leveduras basidiomicetos no contexto da fermentação alcoólica (Sannino *et al.*, 2019).

A exploração inicial de leveduras basidiomicetos na fabricação de cerveja foi iniciada por Thomas-Hall *et al.*, (2010), que descreveu novas espécies do gênero *Mrakia* (*M. blollopis*, *M. frigida*, *M. robertii* e *M. gélida*), isolados do solo na Antártica. Em seu estudo, eles demonstraram que *Mrakia blollopis* tinha a capacidade de produzir cerveja usando um kit caseiro, com um extrato de malte comercial (5% de sacarose, 6–15 °C). No primeiro ensaio, a *Mrakia blollopis* produziu uma cerveja com baixo teor alcoólico, atingindo no máximo 2,7% v/v. No entanto, quando uma cepa comercial de *Saccharomyces cerevisiae* foi adicionada sequencialmente ao processo de fermentação, o teor de álcool aumentou para uma faixa de 5-6% v/v.

A temperatura é um parâmetro importante para controlar em uma fermentação de cerveja (Hornink, 2024). A natureza psicrófila de *M. gélida* oferece benefícios práticos em termos de compatibilidade com processos cervejeiros comerciais. Cervejas com baixo teor alcoólico contêm níveis relativamente altos de açúcares, que podem ser suscetíveis ao crescimento microbiano. Além disso, a fermentação em baixas temperaturas pode ter um impacto positivo no sabor do produto final (Linnakoski *et al.*, 2023). Essas características a tornam uma opção interessante para a

produção de cervejas com baixo teor alcoólico.

Em um estudo conduzido por Francesco *et al.* (2018) a levedura psicrófila basidiomiceto *M. gelida* foi investigada quanto ao seu potencial na produção de uma cerveja com baixo teor alcoólico. Os autores utilizaram a cepa *Mrakia gelida* DBVPG 5952 para fermentar um mosto com gravidade inicial de 12 °P à temperatura de 10 °C. O processo fermentativo durou 22 dias, durante os quais a levedura consumiu frutose, glicose e sacarose presentes no mosto. No entanto, apenas pequenas quantidades de maltose foram esgotadas, resultando em baixa produção de álcool. O desempenho fermentativo e as cervejas de baixo teor alcoólico foram comparadas com a levedura comercial *Saccharomyces ludwigii* TUM SL 17 (também conhecido como WSL 17). Ambas as cepas apresentaram padrões semelhantes de utilização de açúcar, e os teores finais de etanol foram 1,16% ABV e 1,23 % ABV para as cervejas fermentadas com *M. gelida* e *S. ludwigii*, respectivamente. No entanto, houve diferenças notáveis nos atributos sensoriais das cervejas. As cervejas fermentadas com *M. gelida* foram avaliadas como significativamente mais frutadas, com descritores sensoriais como damasco, uva e lichia sendo usados pelos painelistas, em comparação com a cerveja produzida com a linhagem comercial de *S. ludwigii* que foi associada principalmente a sabores de damasco. Apesar do baixo grau de fermentação e do alto teor de extrato residual, as amostras fermentadas com *M. gelida* não foram percebidas como excessivamente doces. Os autores concluíram que mais pesquisas são necessárias para explorar e otimizar os parâmetros cervejeiros e as características das cervejas produzidas com *M. gelida*.

Mais recentemente, Linnakoski *et al.* (2023) selecionaram um total de 12 cepas de *M. gelida* isoladas de ambientes florestais finlandeses para testes de fermentação em pequena escala e comparadas com a cepa de referência *Saccharomyces ludwigii* (C-79089- NCYC). Todas as cepas de *M. gelida* demonstraram capacidade de produzir cerveja com teor alcoólico médio de 0,7%, semelhante à cepa controle. Com base em perfis de fermentação favoráveis e na produção de compostos voláteis desejáveis, fermentações em escala piloto (40 L) com *M. gelida* YGW 184 e a cepa controle *S. ludwigii* foram conduzidas por 6 dias a 10 °C. As cervejas resultantes passaram por maturação, filtração, carbonatação e engarrafamento. Nas primeiras 24 h o processo fermentativo foi idêntico, no entanto a cepa selecionada de *M. gelida* YGW 184 superou a *S. ludwigii*, atingindo uma concentração de álcool de 0,61 versus 0,36% ABV no final da fermentação. Ambas as cervejas apresentaram um sabor frutado e uma doçura remanescente. O estudo destacou o potencial das cepas de *M. gelida* na produção de cervejas com baixo teor alcoólico. Sua capacidade de produzir cervejas saborosas com baixo teor alcoólico, com sua resistência a vários fatores ambientais, as torna candidatas promissoras para uma maior exploração na indústria cervejeira.

As evidências sobre *Mrakia gelida* indicam que leveduras basidiomicetos psicrófilas, tradicionalmente negligenciadas na produção de bebidas fermentadas, apresentam vantagens distintas para o segmento de cervejas com baixo teor alcoólico. Três atributos principais as tornam candidatas promissoras: (i) a capacidade de fermentar em baixas temperaturas, compatível com processos Lager industriais; (ii) o perfil de consumo seletivo de açúcares, que limita naturalmente a produção de etanol; e (iii) a contribuição sensorial diferenciada, caracterizada por perfis frutados complexos sem doçura excessiva.

### 4.3 *Lachancea fermentati* (NCBI:txid4955)

O gênero *Lachancea*, especificamente *Lachancea thermotolerans* (anteriormente conhecido como *Zygosaccharomyces thermotolerans*), é um gênero de levedura não convencional, tem ganhado atenção nos últimos anos por sua característica metabólica única de ser capaz de produzir ácido láctico durante a fermentação alcoólica. Esta característica tem levado a investigações sobre o seu potencial uso em fermentações de vinho para reduzir os níveis de pH, aumentar a acidez total e melhorar o perfil sensorial do produto final (Gobbi *et al.*, 2013; Jolly *et al.*, 2014). Comercialmente,

a cepa conhecida como WildBrew Philly Sour (*Lachancea* spp.) pode ser encontrada sendo vendida pela Lallemand Brewing e Outra opção é a cepa conhecida como SOUR3.5 (*Lachancea thermotolerans*), que pode ser encontrada sendo vendida pela Crossmyloof Brew.

Bellut *et al.* (2019a), investigaram o uso de *Lachancea fermentati*, linhagem KBI 12.1, isolada de cultura de kombucha, para produção de cerveja com baixo teor alcoólico utilizando mosto de baixa densidade. *L. fermentati* KBI 12.1 metabolizou efetivamente os monossacarídeos glicose e frutose nas primeiras 24 horas de fermentação, maltose e sacarose se esgotaram completamente após 6 dias. Em contraste, as concentrações de maltotriose permaneceram relativamente constantes ao longo do processo de fermentação, mostrando-se incapazes de utilizar a maltotriose. A cepa não apresentou produção de POF, pouca sensibilidade ao lúpulo, excelente desempenho de propagação e classificada entre “muito floculenta” e “moderadamente floculenta. A concentração final de etanol após 7 dias foi de 2,21% (v/v) e o ácido láctico atingiu 1,3 g/L, resultando em um sabor azedo. Outra característica positiva de *L. fermentati* KBI 12.1 foi a produção de glicerol (1,41 g/L). Na parte descritiva do sensorial, os provadores descreveram o aroma da cerveja como frutado, tipo vinho, tipo cítrico, tipo *shandy* (cerveja e limonada) e maçã. Para concluir, *Lachancea fermentati* KBI 12.1 foi considerada uma levedura adequada para a produção de cerveja, com características promissoras e potencial no que diz respeito à produção de cerveja sem álcool e com baixo teor alcoólico.

Cepas de *Lachancea fermentati* KBI 1.2, KBI 3.2, KBI 5.3 e KBI 12.1 isolados de culturas individuais de kombucha foram investigados por Bellut; Krogerus; Arendt, (2020). Ensaio de fermentação foram conduzidos para investigar as performances das cepas em termos de produção de etanol, ácido láctico e a concentração de subprodutos da fermentação. A glicose e a sacarose foram totalmente consumidas por todas as cepas ao final da fermentação, devido à sua incapacidade de consumir maltotriose, as cepas de *L. fermentati* atingiram atenuações finais entre 55% e 70%. As concentrações de etanol variaram de 2,96% a 3,76% ABV. As leveduras exibiram valores finais de ácido láctico significativamente mais elevados, variando de 1,33 e 3,47 mM. No entanto, esses valores foram ainda abaixo do limiar de sabor relatado de ácido láctico em cerveja de 4,44 mM (400 mg/L). O acetato de etila foi produzido em quantidades significativamente maiores nas cervejas de *L. fermentati*, no entanto a concentração de álcoois superiores apresentou valores abaixo da referência de *S. cerevisiae* WLP001.

No estudo conduzido por Vašítk *et al.* (2020), a levedura *Lachancea fermentati* CBS 4506, foi capaz de fermentar glicose, maltose e sacarose. As cervejas produzidas foram consideradas de baixo teor alcoólico por conterem 0.76% de etanol. Além disso, foram detectados 0.004 mg/L de hexanoato de etila, responsável pelo sabor maçã/banana. *Lachancea fermentati* destaca-se entre as leveduras não-*Saccharomyces* pela coprodução de etanol e ácido láctico, característica que favorece a produção de cervejas com baixo teor alcoólico. Seu consumo seletivo de açúcares limita a formação de etanol, enquanto a acidificação e a produção de ésteres frutados contribuem para um perfil sensorial mais complexo e equilibrado. Resultados consistentes e disponibilidade comercial posicionam o gênero como via promissora para cervejas de baixo teor alcoólico com perfil ácido e frutado.

#### 4.4 *Cyberlindnera* spp. (NCBI:txid604195)

As leveduras como as espécies do gênero *Cyberlindnera* spp. são conhecidas por sua capacidade de produzir altos níveis de ésteres durante a fermentação. Esses ésteres podem incluir compostos como acetato de isoamila (aroma de banana), acetato de etila (aroma frutado) e outros ésteres que contribuem para o perfil aromático geral da bebida fermentada. A capacidade dessa levedura de mascarar o sabor de mosto da cerveja sem álcool produzida por meio de fermentação limitada foi considerada promissora. Isso inclui cepas como *Cyberlindnera saturnus* (anteriormente conhecida

como *Williopsis saturnus*), particularmente a cepa NCYC 500 (Liu e Quek, 2016; Yabaci Karaoglan *et al.*, 2022).

O gênero *Cyberlindnera* foi identificado como um grupo promissor de leveduras não *Saccharomyces* para a produção de cerveja frutada e não alcoólica. Em um estudo conduzido por Bellut *et al.*, (2019b), seis cepas diferentes de *Cyberlindnera* foram caracterizadas e selecionadas usando extrato de mosto. Entre as seis espécies investigadas, quatro produziram um caráter frutado na cerveja, apesar de sua capacidade fermentativa limitada, resultando em baixas concentrações de etanol. Três das espécies, *Cyberlindnera fabianii* NT Cyb, *C. jadinii* L1 e *C. mrakii* CBS 1707 (anteriormente conhecida como *Williopsis saturnus* var. *mrakii*), foram identificadas como cepas "maltose +", o que significa que foram capazes de utilizar a maltose como um açúcar fermentável. As outras três espécies, *Cyberlindnera misumaiensis* 837A, *C. subsufficiens* C6.1 e *C. subsufficiens* CBS 5763T, foram identificadas como cepas "maltose -", indicando sua incapacidade de consumir maltose. Nenhuma das cepas foi capaz de consumir maltotriose, outro açúcar comumente encontrado no mosto. As concentrações de etanol produzidas por essas cepas variaram de 0,54% a 0,67% ABV, indicando sua natureza de baixo teor alcoólico. Duas das cepas, *Cyberlindnera misumaiensis* 837A e *Cyberlindnera fabianii* NT Cyb, acumularam quantidades significativamente maiores de acetaldeído, em 9,7 e 8,1 mg/L, respectivamente, em comparação com a faixa de 2,6 a 3,8 mg/L observada nas outras amostras. O estudo se concentrou ainda na otimização do processo de fermentação usando a cepa mais promissora, *Cyberlindnera subsufficiens* C6.1, por meio da metodologia de superfície de resposta (RSM) e um teste de fermentação em escala piloto (60 L) com avaliação subsequente sensorial. Durante o processo de otimização, baixa temperatura de fermentação e baixa taxa de inóculo foram identificados como fatores que aumentaram o sabor frutado e a aceitação geral da cerveja. O teste de fabricação de cerveja em escala piloto resultou na produção de uma cerveja com um teor alcoólico significativamente reduzido de 0,36% ABV e significativamente mais frutado em comparação com as cervejas comerciais.

As propriedades sensoriais mais interessantes foram encontradas em cervejas fermentadas com *Cyberlindnera jadinii* (*Lindnera jadinii* CCY 029–038–042) e *Cyberlindnera saturnus* (*Lindnera saturnus* CCY 038–004–007) que produziram cervejas com sabor de banana e baixo teor alcoólico. A concentração desejada de etanol (abaixo de 0,5% (v/v)) foi alcançada mesmo a 20 °C após 10 dias de fermentação ( $0,49 \pm 0,02\%$  v/v) para cervejas fermentadas com *Cyberlindnera saturnus* (*Lindnera saturnus* CCY 038–004–007). Enquanto para *Cyberlindnera jadinii* (*Lindnera jadinii* CCY 029–038–042) tempos de fermentação mais curtos e temperaturas mais baixas são recomendados para limitar a produção de etanol e atingir a desejada cerveja com baixo teor alcoólico ou sem álcool. Mesmo depois de fermentar a cerveja por 15 dias a 10 °C, a concentração de etanol atingiu apenas  $0,34 \pm 0,01\%$  (v/v) (Vašík *et al.*, 2022).

As cervejas sem álcool produzidas com três cepas de levedura *Cyberlindnera saturnus* (*C. sat* 247, *C. sat* 4549, *C. sat* CSa1) no estudo de Methner *et al.*, (2022), exibiram perfis de sabor particularmente impressionantes, incluindo doces de menta fresca, pêra e, em alguns casos, sabor de frutas vermelhas. Com um mosto original de 7 °P, uma temperatura de fermentação de 20 °C, tempo de fermentação de 144 h e um teor alcoólico máximo de 0,5% (v/v). O gênero *Cyberlindnera* destaca-se pelo potencial na produção de cervejas com baixo teor alcoólico e perfil sensorial frutado, devido à elevada produção de ésteres que ajudam a mascarar o "sabor de mosto". Apesar do risco de formação de acetaldeído, a seleção adequada de cepas e o controle das condições fermentativas permitem alcançar baixos teores alcoólicos com boa aceitação sensorial, indicando seu potencial para aplicação industrial.

#### 4.5 *Torulaspora delbrueckii* (NCBI:txid4950)

*Torulaspora delbrueckii* é uma importante espécie de levedura comumente encontrada no meio

ambiente no mundo da fermentação, particularmente na produção de cerveja e vinho, e seu uso tem um longo significado histórico. É conhecida por sua capacidade de contribuir com características sensoriais específicas para bebidas fermentadas e é considerada uma das espécies de leveduras tradicionais usadas na produção de certos estilos de cerveja e vinho (Van Breda *et al.*, 2013). A cepa comercial WLP603 (*Torulaspora delbrueckii*), tem sido considerada para a produção de cervejas tradicionais e tem se mostrado útil na produção de cervejas com baixo teor alcoólico.

Embora tenha sido considerado por décadas um contaminante comum nos ambientes cervejeiros. *T. delbrueckii* tem ganhado destaque na indústria cervejeira devido à sua capacidade de realçar o sabor, por produzir altos níveis de aromas frutados como álcool amílico e 2-feniletanol, e a vantagem adicional de ser resistente às várias “estresses” encontrados durante a fabricação de cerveja (Capece *et al.*, 2018; King e Dicknson, 2000). Uma das razões para sua adequação na produção de cerveja com baixo teor alcoólico é a atividade de sua enzima invertase, o que significa que ela pode utilizar a sacarose hidrolisando-a em glicose e frutose. No entanto, a capacidade de utilização da maltose depende da cepa. Algumas cepas de *T. delbrueckii* podem ter uma capacidade limitada de fermentar a maltose, enquanto outras podem possuir as enzimas necessárias para utilizar o dissacarídeo de forma eficaz (Michel *et al.*, 2016). Além de suas habilidades de utilização de açúcar, *T. delbrueckii* é conhecida por sua tolerância ao etanol e resistência à atividade antimicrobiana relacionada ao lúpulo (Varela, 2016). Essas características desejáveis contribuem para a adequação geral de *T. delbrueckii* como uma espécie de levedura para a produção de cerveja, particularmente para estilos de cerveja com baixo teor alcoólico (Canónico *et al.*, 2016).

A levedura *Torulaspora delbrueckii* isolada de culturas “sourdough” foi utilizada para produção de cervejas com baixo teor alcoólico por meio da fermentações de contato a frio no estudo conduzido por Nikulin, Aisala e Gibson, (2022). O objetivo do estudo foi também avaliar a capacidade dessa levedura em reduzir os aldeídos do mosto a uma baixa temperatura de fermentação de  $1,0 \pm 0,5$  °C. Aldeídos são compostos voláteis que podem contribuir para sabores desagradáveis na cerveja e a redução deste composto é realizada principalmente pela levedura durante a fermentação. Os resultados destacam o potencial da *Torulaspora delbrueckii* como opção de levedura não convencional para a produção de cervejas com baixo teor alcoólico e sem álcool. Sua capacidade de reduzir os sabores indesejáveis do aldeído e sua sensibilidade a baixas temperaturas o tornam um candidato promissor para esta aplicação.

Em um estudo conduzido por Bellut *et al.* (2018) verificou-se que a cepa de levedura *T. delbrueckii* foi capaz de fermentar apenas glicose, frutose e sacarose, enquanto não apresentou capacidade de fermentar maltose ou maltotriose. Para avaliar sua atividade fermentativa, foi realizado um teste de fermentação utilizando um mosto de malte de cevada com um teor de 6,6°P e um volume de 1,5 litro. A fermentação ocorreu a uma temperatura de 25 °C. Ao final do processo, a cerveja produzida atingiu um teor alcoólico de 0,50% ABV. Curiosamente, *T. delbrueckii* demonstrou a capacidade de crescer em mostos altamente lupulados, contendo até 100 mg/L de ácidos iso-alfa. Os níveis de éster, álcoois superiores e diacetil foram considerados baixos. Com relação às características sensoriais, *T. delbrueckii* conferiu um caráter pouco frutado à cerveja. No entanto, as cervejas produzidas com essa cepa foram descritas como tendo cheiro de erva e sabor doce. *T. delbrueckii*, uma levedura não-*Saccharomyces*, é amplamente reconhecida como a cepa que mais se assemelha à levedura de referência *S. cerevisiae* em termos de fermentação alcoólica. Suas habilidades de fermentação foram avaliadas por Vaštik *et al.* (2022), revelando sua capacidade de fermentar os açúcares glicose, sacarose e maltose. No estudo, todas as cervejas fermentadas por *T. delbrueckii* a temperaturas acima de 10 °C apresentaram concentrações de etanol superiores a 0,5% (v/v), mesmo após apenas 5 dias de fermentação. A produção de cerveja sem álcool, com teor de etanol de  $0,48 \pm 0,01$ % (v/v), foi obtida somente a 10 °C após 15 dias de fermentação. Em temperaturas mais elevadas, *T. delbrueckii* apresentou crescimento vigoroso, resultando em um aumento significativo na concentração de etanol, especialmente devido à fermentação da maltose. *Torulaspora delbrueckii* é uma espécie versátil, cujo desempenho em cervejas de baixo teor alcoólico depende

fortemente da cepa e das condições fermentativas, especialmente da temperatura. Temperaturas mais elevadas podem aumentar o teor alcoólico, exigindo fermentação em baixas temperaturas para atender aos limites regulatórios. Apesar disso, sua resistência ao lúpulo e capacidade de melhorar o perfil sensorial a tornam uma alternativa promissora.

#### 4.6 *Pichia* spp. (NCBI:txid4919)

Diferentes espécies do gênero *Pichia*, podem exibir variações em suas habilidades de fermentação e assimilação de carboidratos. As variações nas habilidades de fermentação e assimilação de carboidratos entre diferentes espécies de *Pichia* destacam a diversidade metabólica dentro do gênero. Essas diferenças podem ter implicações em sua aplicação em vários processos biotecnológicos, como fermentação e produção de compostos específicos (Walker, 1998). *Pichia kluyveri* foi identificada como uma espécie de levedura com potencial para produzir cervejas com baixo teor alcoólico ou sem álcool. Possui uma capacidade limitada de fermentar a glicose, o que pode contribuir para a redução do teor alcoólico do produto (Saerens e Swiegers, 2014). Além disso, é conhecida por produzir níveis médios de ésteres e altas quantidades de álcoois superiores durante a fermentação (Holt *et al.*, 2018). Os ésteres são responsáveis pelos aromas frutados e florais, enquanto os álcoois superiores podem contribuir para a complexidade do perfil de sabor da cerveja. Esses compostos ativos de sabor podem fornecer características sensoriais desejáveis para as cervejas sem álcool resultantes produzidas usando *P. kluyveri* (Gutiérrez *et al.*, 2018). Frootzen® é um produto inovador da empresa Chr. Hansen, que representa a primeira levedura comercialmente disponível da espécie *Pichia kluyveri*.

O estudo conduzido por Durga Prasad *et al.* (2022) teve como objetivo investigar a viabilidade e o efeito de diferentes concentrações de quinoa (0%, 10%, 20% e 30%) nas propriedades físico-químicas e funcionais na produção de cerveja sem álcool fermentada por *Pichia myanmarensis*. O presente estudo demonstrou que o aumento da concentração de quinoa como adjunto permitiu a produção de cerveja com um teor reduzido de etanol. Utilizando a levedura *P. myanmarensis* para fermentar a cerveja com malte puro, o teor de etanol obtido foi de 0,48% (v/v), o que é inferior em comparação com a cerveja controle que continha 3,36% (v/v) de etanol. Especificamente, a concentração de 30% de quinoa na cerveja (PQ3) resultou em uma menor concentração de etanol, atingindo 0,27% (v/v). Todas as amostras de cerveja produzidas apresentaram uma concentração de etanol abaixo de 0,5% (v/v), indicando que eram consideradas cervejas sem álcool. Adicionalmente, as amostras de cerveja produzidas com quinoa apresentaram maior concentração de compostos voláteis, que contribuem para o sabor e aroma da cerveja.

Simões *et al.* (2023) investigou o potencial cervejeiro de espécies não convencionais para a produção de uma bebida com baixo teor de etanol a temperatura de 14 °C. As cepas de *Pichia* utilizadas foram *Pichia kluyveri* (comercial) e *Pichia fermentans*. Durante um período de fermentação de 10 a 12 dias, tanto *Pichia kluyveri* quanto *Pichia fermentans* apresentaram uma redução lenta da gravidade e do extrato real (ER). Ambas as cepas foram capazes de fermentar glicose e frutose, porém não foram capazes de fermentar sacarose e maltose. Ao final da fermentação, *Pichia fermentans* alcançou uma atenuação de 5,63%, enquanto *Pichia kluyveri* apresentou uma atenuação de 2,18%. Consequentemente, as concentrações de etanol acompanharam esse padrão, com *P. fermentans* atingindo 0,52% (v/v) e *P. kluyveri* atingindo 0,17% (v/v) de teor alcoólico. *Pichia kluyveri* também exibiu uma concentração de 32,59 mg/L de acetato de etila e 9,06 mg/L de acetato de isoamila, ambos acima do limite de detecção. As cervejas produzidas pelas cepas de *Pichia* demonstraram predominantemente uma intensidade de aroma elevada para os atributos adocicado (lembrando o mosto não fermentado), maltado e com características semelhantes a cereais.

*Pichia fermentans* e *Pichia kudriavzevii*, isoladas de fermento natural conhecido como "sourdough",

foram incluídas no estudo de Johansson *et al.* (2021). O desempenho de fermentação desses isolados de “sourdough” foi avaliado inicialmente em escala de 2 litros, utilizando um mosto de 12 °Plato. Nessa fase inicial, as leveduras foram consideradas maltose negativas, resultando em um teor alcoólico relativamente baixo durante a fermentação. Após 162 horas de fermentação, as cepas apresentaram um teor alcoólico entre 0,8% e 0,9% em volume (ABV). Em um segundo experimento de fermentação, a cepa *Pichia fermentans* C-191032, com a cepa de referência *Saccharomyces ludwigii* C-181010, foram utilizadas para inoculação, de 8 litros de mosto com 8 °Plato em fermentadores cônicos de aço inoxidável de 10 litros. Após 6 dias de fermentação, os teores alcoólicos alcançados foram de 0,52% e 0,68% ABV para *P. fermentans* e *Saccharomyces ludwigii* respectivamente. Além disso, observou-se que *P. fermentans* produziu um aroma semelhante ao cravo (4-vinilguaiacol), característica geralmente ausente em leveduras utilizadas na produção de cervejas com baixo teor alcoólico. Isso sugere que *P. fermentans* poderia ser utilizada na produção de cervejas de trigo ou saison com baixo teor alcoólico. O gênero *Pichia* destaca-se pela diversidade metabólica e pelo potencial já consolidado de algumas espécies, como *P. kluyveri*. Enquanto *P. kluyveri* e *P. fermentans* apresentam perfis complementares, com baixa produção de etanol e contribuição aromática distinta, outras espécies, como *P. myanmarensis*, ampliam as possibilidades de aplicação. De modo geral, esse gênero representa uma alternativa promissora e já bem estabelecida para a produção de cervejas com baixo teor alcoólico.

#### 4.7 *Hanseniaspora* spp. (NCBI:txid29832)

As leveduras pertencentes ao gênero *Hanseniaspora*, particularmente a *Hanseniaspora uvarum*, estão entre as leveduras apiculadas mais comuns. Eles podem ser encontrados em vários ambientes, incluindo frutas, flores e cascas, que servem como habitats primários. Os insetos também podem atuar como vetores para sua dispersão, podendo o solo servir de reservatório para essas leveduras (Matraxia *et al.*, 2021). no contexto da vinificação, o gênero *Hanseniaspora* é um dos principais grupos de leveduras isoladas de uvas. Estas leveduras têm a capacidade de produzir ácido acético e seus ésteres em concentrações relativamente altas, principalmente durante os estágios iniciais da fermentação. Esta atividade metabólica contribui para o perfil aromático e desenvolvimento global do sabor do vinho (Fugelsang e Edwards, 2007). A cepa YH2 *Hanseniaspora uvarum* comercializada pela Wild Pitch Yeast tem sido relatada como uma boa opção para produzir cervejas com um sabor agradavelmente ácido e picante. No estudo realizado por Simões *et al.* (2023) e Johansson *et al.* (2021), as leveduras *Hanseniaspora valbyensis* e *Hanseniaspora uvarum* foram incluídas, respectivamente. Em Simões *et al.* (2023), a *Hanseniaspora valbyensis* foi capaz de fermentar glicose, frutose e maltose. Além disso, ela produziu mais de 1,2 g/L de etanol, o que indica que essa cepa não é adequada para a produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico. Por outro lado, a *Hanseniaspora uvarum*, isolada por Johansson *et al.* (2021), foi considerada maltose negativa, ou seja, não fermentou maltose. Ela foi capaz de fermentar um mosto com densidade original de 12°P, resultando em um teor alcoólico entre 0,8% e 1,0% em volume (ABV) após 162 horas. A cerveja produzida com essa cepa apresentou um aroma característico de cravo, devido à presença do composto 4-vinilguaiacol. Esses resultados indicam que a *Hanseniaspora uvarum* pode ser uma opção interessante para a produção de cervejas com baixo teor alcoólico, enquanto a *Hanseniaspora valbyensis* não é adequada para esse fim.

No estudo de Bellut *et al.* (2018), foram estudadas duas cepas de *Hanseniaspora*: *Hanseniaspora valbyensis* e *Hanseniaspora vineae*. Durante a caracterização dessas leveduras, verificou-se que elas são capazes de fermentar apenas glicose e frutose, não sendo capazes de utilizar sacarose, maltose ou maltotriose como fonte de carbono para a fermentação. Em um experimento de fermentação com 1,5 L de mosto a uma temperatura de 25 °C, os teores finais de etanol alcançaram 0,35% e 0,34% ABV para *Hanseniaspora valbyensis* e *Hanseniaspora vineae*, respectivamente. Os níveis de

ésteres produzidos por essas leveduras foram baixos, com concentrações de 0,9 mg/L e 6,0 mg/L, respectivamente. Da mesma forma, os níveis de álcoois superiores também foram relatados como baixos, variando entre 20 e 23 mg/L. Vale destacar que *H. valbyensis* produziu diacetil em uma concentração de 0,2 mg/L, valor acima do limite de detecção estabelecido em 0,1 mg/L. Essas observações estão em concordância com a análise sensorial realizada, na qual foi percebido um caráter de diacetil na cerveja produzida com *H. valbyensis*, enquanto *H. vineae* foi associada a atributos sensoriais como "chá preto" e "semelhante a caramelo". Os resultados indicam que o gênero *Hanseniaspora* apresenta potencial promissor para cervejas com baixo teor alcoólico, condicionado à escolha adequada de espécie e cepa. *H. valbyensis* demonstra inconsistências e produção de diacetil, enquanto *H. uvarum* e *H. vineae* se destacam por baixa produção de etanol e perfis sensoriais diferenciados. Apesar do reconhecimento comercial, ainda são necessários estudos padronizados para consolidar sua aplicação tecnológica.

#### 4.8 *Zygosaccharomyces* spp. (NCBI:txid4953)

*Zygosaccharomyces* é um gênero de levedura frequentemente considerado como sinônimo de deterioração de alimentos. Características gerais desse gênero são: capacidade de fermentar açúcares, alta osmotolerância, resistência a conservantes como sulfito, ácido sórbico e etanol, formação de ascósporos termorresistentes e preferência pela frutose conhecida como frutosefilia. *Zygosaccharomyces* compreende alguns dos organismos mais osmotolerantes conhecidos, como *Zygosaccharomyces rouxii* capazes de suportar concentrações de conservantes de alimentos que excedem em muito os níveis típicos ou legalmente permitidos. Os alimentos que são particularmente vulneráveis à deterioração por leveduras *Zygosaccharomyces* são aqueles com condições ácidas, tipicamente variando de pH 2 a 5 e contendo altas concentrações de açúcares fermentáveis (Steels *et al.*, 1999). Atualmente a cepa WLP686 *Zygosaccharomyces lentus* tem sido comercializada pela White Labs e é especialmente indicada para a produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico.

O estudo conduzido por Bellut *et al.* (2018) incluiu duas cepas de *Zygosaccharomyces bailii* (KBI25.1) e *Zygosaccharomyces kombuchaensis* (KBI 5.4). Estas cepas foram caracterizadas como negativas para maltose e foram submetidas à fermentação em mosto a 6,6 °P a uma temperatura de 25 °C por um período de 4 dias. As concentrações finais de etanol alcançadas pelas cepas foram 0,42% ABV (*Z. bailii*) e 0,48% ABV (*Z. kombuchaensis*). A produção de ésteres foi muito baixa, medindo 1mg/L, enquanto a produção de álcool atingiu 23 mg/L (*Z. bailii*) e 22 mg/L (*Z. kombuchaensis*) respectivamente. Quando *Z. bailii* foi usada para produzir cerveja sem álcool, as avaliações sensoriais a descreveram como tendo um perfil frutado moderado, lembrando características de mosto, mel, grama, frutas e vinho branco. Por outro lado, amostras fermentadas com *Z. kombuchaensis* apresentaram caráter diacetil, com valores de diacetil medidos a 0,15 mg/L, ultrapassando o limiar de sabor. Em comparação com outras cervejas sem álcool produzidas no estudo, a cerveja produzida com *Z. bailii* foi percebida como menos doce. Devido a essas observações, *Z. bailii* foi selecionada como uma potencial cepa de levedura nativa adequada para a produção de cerveja com baixo teor alcoólico.

*Zygosaccharomyces rouxii*, uma cepa de levedura isolada de substratos de plantas e frutas, foi avaliada quanto ao seu potencial na produção de cerveja sem álcool por Vašík *et al.*, (2022). Inicialmente, quando submetido a uma temperatura de 20 °C, *Z. rouxii* apresentou capacidade de fermentação limitada. No entanto, curiosamente, quando a levedura fermentava o mosto com uma concentração de 10 °P a uma temperatura de 25 °C durante 10 dias, a cerveja resultante continha uma concentração de etanol de 0,54 ± 0,07% (v/v). Em contraste, um estudo de Simões *et al.* (2023) *Z. rouxii* foi capaz de fermentar glicose, frutose e 81% de maltose, resultando na produção de mais de 0,7% de etanol. No entanto, foi posteriormente excluído de uma investigação mais aprofundada na produção de cerveja sem álcool por uma abordagem biológica. O gênero *Zygosaccharomyces*

revela como características tradicionalmente associadas à deterioração de alimentos podem ser reposicionadas como vantagens tecnológicas para cervejas de baixo teor alcoólico. *Z. bailii* apresenta desempenho consistente, com perfis sensoriais favoráveis e baixa produção de etanol, enquanto *Z. rouxii* ainda requer maior investigação devido a resultados divergentes. A disponibilidade comercial de *Z. lentus* WLP686 reforça esse potencial, embora a padronização de protocolos e a avaliação sistemática de cepas ainda sejam necessárias para sua consolidação tecnológica.

#### 4.9 Outras espécies não convencionais

Oito espécies de leveduras não-*Saccharomyces* foram avaliadas quanto ao seu potencial na produção de cerveja não alcoólica, no estudo de Vašítk *et al.* (2022). Entre elas, a levedura *Starmerella bombicola*, conhecida pela produção industrial de biossurfactantes, foi utilizada pela primeira vez na produção de cerveja sem álcool. A levedura foi considerada maltose negativa e capaz de produzir etanol abaixo de 0,5% v/v mesmo em temperaturas mais altas, como 20 °C e 25 °C, durante uma fermentação mais curta de 5 dias sendo oferecer vantagens em termos de eficiência energética e redução de custos de resfriamento dos tanques de fermentação. Além disso, a cerveja sem álcool fermentada com *S. bombicola* apresentou um perfil aromático neutro, o que significa que não teve nenhum impacto distinto ou negativo nas propriedades sensoriais da cerveja. No entanto, é importante ressaltar que mais pesquisas e testes práticos seriam necessários para confirmar a viabilidade comercial e as características sensoriais das cervejas produzidas com *S. bombicola* nessas condições específicas

Outras espécies pouco exploradas na produção de cerveja sem álcool não citadas anteriormente foram incluídas no estudo de Methner *et al.*, (2022) dentre elas *Kazachstania servazzii*, *Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Saccharomycopsis fibuligera* e *Schizosaccharomyces pombe*. A capacidade de metabolizar frutose, glicose, sacarose, maltose e maltotriose variou entre as cepas. *K. lactis* G9K foi a única cepa de levedura a metabolizar 100% da glicose, frutose e sacarose presentes no mosto, enquanto maltose e maltotriose não foram utilizadas. *K. marxianus* e *S. pombe* converteram 100% da sacarose e um pouco mais que 75% da glicose foi consumida. *K. servazzii* foi incapaz de hidrolisar a sacarose em seus monossacarídeos, devido à falta de invertase extracelular (provável razão pela qual a sacarose não pode ser metabolizada). *S. fibuligera* metabolizou a maltose, embora lentamente e pode ser atribuído a uma glicoamilase extracelular. A concentração de etanol se manteve abaixo de 0,5% (v/v) e permaneceu dentro da regulamentação alemã para cervejas sem álcool durante um período de fermentação de seis dias em um mosto original de 7°P. O estudo constatou que as cervejas fermentadas com as leveduras *Kluyveromyces marxianus* e *Scheffersomyces fibuligera* exibiram uma ampla diversidade de sabor com falhas sensoriais mínimas. Os sabores observados nessas cervejas incluíam frutas vermelhas, mel, frutas de caroço e maçã. Isso sugere que essas cepas de levedura têm a capacidade de produção de cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico com sabores desejáveis e o mínimo de sabores estranhos ou defeitos sensoriais.

As leveduras *Kazachstania servazzii* e *Kluyveromyces marxianus* isoladas de fermento natural, conhecido como “sourdough”, também foram incluídas no trabalho de Johansson *et al.* (2021). Ambas as leveduras foram consideradas maltose negativa, o que resulta em um teor alcoólico relativamente baixo durante a fermentação. Após 162 horas de fermentação, as cepas apresentaram um teor alcoólico entre 0,9% e 1,0% em volume (ABV). A levedura *K. servazzii* foi selecionada para uma avaliação mais detalhada do seu potencial cervejeiro em ensaios de fermentação de 10 litros, seguida de análise sensorial das cervejas produzidas. Após 6 dias de fermentação, a cerveja produzida pela levedura *K. servazzii* apresentou um teor alcoólico de 0,73% ABV e uma concentração de 2-fenil etil acetato de 7,39 mg/L, acima do limite de detecção (3,8 mg/L). O perfil sensorial da cerveja foi caracterizado por um sabor adocicado típico de cervejas com baixo teor

alcoólico devido à baixa atenuação, e foram observadas notas de pera e maçã. Uma vantagem potencial da levedura *K. servazzii* é a sua relativa tolerância ao frio. Essa característica pode ter benefícios práticos quando a levedura é utilizada em aplicações industriais, especialmente em condições de fermentação a baixas temperaturas.

Vários isolados de leveduras, anteriormente considerados contaminantes em cervejarias, foram utilizados de forma benéfica em fermentações de cerveja, com ênfase em cervejas de baixo teor alcoólico. Em um estudo conduzido por Krogerus *et al.*, (2022), várias cepas foram caracterizadas como maltose negativas e produziram aromas desejáveis, sem apresentar sabores estranhos perceptíveis (Tabela 1). Dentre as cepas selecionadas, a levedura *Trigonopsis cantarellii* P-69 e a *Candida sojae* T-39, com uma cepa comercial de referência *Saccharomyces ludwigii* C181010, foram escolhidas para fermentações em larga escala (30 litros). Após uma semana de fermentação, as cervejas produzidas por essas cepas alcançaram teores alcoólicos de 0,29%, 0,48% e 0,68% de álcool por volume, respectivamente, para *Trigonopsis cantarellii* P-69, *Candida sojae* T-39 e *Saccharomyces ludwigii* C181010. Ambas as cepas selecionadas apresentaram um desempenho semelhante à cepa comercial de referência. Um destaque do estudo foi que a cepa de *Trigonopsis cantarellii* (P-69) demonstrou níveis particularmente baixos de sabores desagradáveis e uma produção significativamente maior do álcool monoterpênico desejável, chamado trans-geraniol. Isso indica que essa cepa pode ser uma candidata promissora para a produção de cervejas de baixo teor alcoólico, pois foi capaz de produzir uma cerveja com baixo teor alcoólico e com características sensoriais favoráveis.

Essas informações ampliam o repertório de leveduras não-*Saccharomyces* aplicáveis à produção de cervejas com baixo teor alcoólico, abrangendo espécies oriundas de diferentes nichos, desde produtoras de biossurfactantes (*S. bombicola*) até isolados de fermento natural (*K. servazzii*, *K. marxianus*) e microrganismos anteriormente considerados contaminantes (*T. cantarellii*, *C. sojae*). De modo geral, essas leveduras compartilham características como fenótipo maltose-negativo, baixa produção de etanol e perfis sensoriais complexos. Essa diversidade amplia as possibilidades tecnológicas para o setor cervejeiro e reforça o potencial da prospecção microbiana como estratégia de inovação.

## 5 Perspectivas futuras

O avanço nas técnicas de produção de baixo teor alcoólico e cervejas sem álcool por meios biológicos tende a acelerar na medida em que novas espécies e cepas sejam estudadas e validadas em testes laboratoriais, em escala piloto e industrial. Para tanto, um dos principais fatores envolve a padronização de protocolos (mostos com densidade definida, temperatura/tempo, taxa de inoculação, oxigenação e manejo de maturação), uma vez que pequenas variações de processo podem deslocar significativamente o ABV final e o perfil de voláteis. Além disso, cresce a oportunidade de combinar essas triagens para redução da produção de etanol com a produção de perfis sensoriais diferenciados ou mesmo mais relacionados com cada estilo, a partir das análises de metabólitos e voláteis.

O estudo de uma maior diversidade de microrganismos também potencializa a exploração de novas estratégias de cofermentação (sequencial ou mista) e/ou condicionamento com cepas de baixa fermentação, buscando equilibrar baixo teor alcoólico com complexidade aromática e sensação de corpo, sem aumentar excessivamente a atenuação. Além disso, os estudos voltados à robustez tecnológica (tolerância a iso- $\alpha$ -ácidos, floculação/clarificação, estabilidade de desempenho em reutilização de levedura, e comportamento em diferentes matrizes de mosto e adjuntos) são muito relevantes, visto que um dos desafios práticos não é apenas gerar menos etanol, mas manter previsibilidade e qualidade lote a lote.

Apesar dos estudos e avanços identificados até o momento, há ainda algumas limitações, principalmente pelo fato de muitas das pesquisas acadêmicas serem heterogêneas quanto a desenho experimental, condições de fermentação, métricas analíticas e profundidade de avaliação sensorial, e muitos desses estudos permanecem em escala laboratorial, com pouca evidência de estabilidade ao longo da vida de prateleira. Dessa forma, ainda são necessários trabalhos que (i) comparem cepas sob condições padronizadas e relevantes para a indústria, (ii) executem painéis sensoriais descritivos e testes de aceitação e preferência, (iii) avaliem estabilidade físico-química e sensorial no armazenamento, (iv) investiguem segurança e aspectos regulatórios (incluindo caracterização genômica quando pertinente) e (v) consolidem parâmetros mínimos de desempenho para adoção industrial (ABV alvo, redução de *off-flavours*, repetibilidade, floculação e viabilidade econômica).

## 6 Conclusão

A partir da literatura analisada, demonstra-se que leveduras não convencionais, majoritariamente não-*Saccharomyces*, representam uma alternativa promissora para a produção de com baixo teor alcoólico e cervejas sem álcool, especialmente por sua capacidade limitada de fermentar os principais açúcares do mosto (destaque para maltose) e, ao mesmo tempo, contribuir para a formação de compostos de interesse sensorial. Ao menos 18 gêneros de leveduras não-*Saccharomyces* foram investigados para produção de cervejas de baixo teor alcoólico. Dentre esses, cepas comerciais estão disponíveis para *Saccharomycodes ludwigii* WLP618, *Pichia kluyveri* Frootzen®, *Lachancea Philly Sour*, *Zygosaccharomyces lentus* WLP686, *Torulaspora delbrueckii* WLP603 e *Hanseniaspora uvarum* YH2 e validações em escala piloto (até 60 L) demonstram viabilidade tecnológica. Nesse contexto, o uso dessas leveduras na produção de cerveja vem se consolidando como uma ferramenta inovadora, permitindo o desenvolvimento de distintos perfis aromáticos e de cervejas sem álcool com maior intensidade de sabor, o que tem despertado, cada vez mais, o interesse de pesquisadores e cervejeiros comerciais. Entre os principais avanços do campo, destacam-se a ampliação da diversidade de espécies investigadas, a identificação de cepas com desempenho tecnológico relevante e a possibilidade de obtenção de bebidas com perfil aromático mais complexo do que aquele normalmente associado às abordagens biológicas mais simples.

Os estudos ainda revelam forte variabilidade entre espécies e cepas quanto ao consumo de açúcares, à produção de etanol, ao perfil sensorial e à robustez tecnológica, o que limita generalizações e dificulta a adoção industrial mais ampla. Além disso, parte importante das evidências ainda se concentra em ensaios laboratoriais ou em escala piloto, com menor disponibilidade de dados sobre estabilidade, segurança e desempenho em condições industriais. Diante da diversidade de leveduras não-*Saccharomyces* aplicáveis à produção cervejeira, espera-se uma expansão significativa da presença dessas leveduras no mercado nos próximos anos. Assim, mais do que confirmar o potencial dessas leveduras, esta revisão evidencia que o avanço do campo depende da consolidação de estudos comparativos, padronizados e orientados para aplicação prática. O aprofundamento desse conhecimento poderá ampliar a disponibilidade de cervejas de baixo teor alcoólico com maior qualidade sensorial, diversidade de estilos e viabilidade tecnológica, respondendo de forma mais consistente às demandas atuais do setor e dos consumidores.

## Declaração de Conflitos de Interesses

Os autores declaram não haver interesses financeiros ou relacionamentos pessoais conflitantes conhecidos que possam ter influenciado este trabalho.

## Disponibilidade de dados

Os dados estão disponíveis como material suplementar deste artigo no site de publicação original.

## Referências

- Adamenko, K.; Kawa-Rygielska, J.; Kucharska, A. Z. Characteristics of Cornelian cherry sour non-alcoholic beers brewed with the special yeast *Saccharomyces ludwigii*. **Food Chemistry**, v. 312, p. 125968, 2020. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814619321107>
- Bamforth, C. W. Nutritional aspects of beer—a review. **Nutrition Research**, v. 22, n. 1–2, p. 227–237, 2002. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0271531701003608>
- Bellut, K.; Arendt, E. 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, 2019. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03610470.2019.1569452>
- Bellut, K.; Krogerus, K.; Arendt, E. K. *Lachancea fermentati* Strains Isolated From Kombucha: Fundamental Insights, and Practical Application in Low Alcohol Beer Brewing. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, 2020. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2020.00764/full>
- Bellut, K.; Michel, M.; Hutzler, M.; Zarnkow, M.; Jacob, F.; De Schutter, D. P., Daenen, L.; Lynch, K. M.; Zanini, E.; Arendt, E. K. Investigation into the Potential of *Lachancea fermentati* Strain KBI 12.1 for Low Alcohol Beer Brewing. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 77, n. 3, p. 157–169, 2019a. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03610470.2019.1629227>
- Bellut, K.; Michel, M.; Zarnkow, M.; Hutzler, M.; Jacob, F.; Atzler, J.J.; Hoehnel, A.; Lynch, K.M.; Arendt, E.K. Screening and Application of *Cyberlindnera* Yeasts to Produce a Fruity, Non-Alcoholic Beer. **Fermentation**, v. 5, n. 4, p. 103, 2019b. <https://www.mdpi.com/2311-5637/5/4/103>
- Bellut, K.; Michel, M.; Zarnkow, M.; Hutzler, M.; Jacob, F.; De Schutter, D.P.; Daenen, L.; Lynch, K.M.; Zannini, E.; Arendt, E.K. Application of Non-*Saccharomyces* Yeasts Isolated from Kombucha in the Production of Alcohol-Free Beer. **Fermentation**, v. 4, n. 3, p. 66, 2018. <http://www.mdpi.com/2311-5637/4/3/66>
- Brasil. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Anuário da cerveja 2025**: Ano referência 2025. Brasília: MAPA, 2025. 68p. [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-tem-mais-de-43-mil-cervejas-registradas/anuariodacerveja2025\\_.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-tem-mais-de-43-mil-cervejas-registradas/anuariodacerveja2025_.pdf)
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019. **Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria**. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-65-de-10-de-dezembro-de-2019-232666262>
- Capece, A.; Romaniello, R.; Siesto, G.; Romano, P. Conventional and Non-Conventional Yeasts in Beer Production. **Fermentation**, v. 4, n. 2, p. 38, 2018. <http://www.mdpi.com/2311-5637/4/2/38>
- Catarino, M.; Mendes, A. Non-alcoholic beer—A new industrial process. **Separation and Purification Technology**, v. 79, n. 3, p. 342–351, 2011. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1383586611001705>
- Day, R. E.; Rogers, P. J.; Dawes, I. W.; Higgins, V. J. Molecular Analysis of Maltotriose Transport and Utilization by *Saccharomyces cerevisiae*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 68, n. 11, p. 5326–5335, 2002. <https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.68.11.5326-5335.2002>
- Di Maro, E.; Ercolini, D.; Coppola, S. Yeast dynamics during spontaneous wine fermentation of the Catalanesca grape. **International Journal of Food Microbiology**, v. 117, n. 2, p. 201–210, 2007. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160507002589>

- Durga Prasad, C. G.; Vidyalakshmi R.; Baskaran, N.; Tito-Anand, M. Influence of *Pichia myanmarensis* in fermentation to produce quinoa based non-alcoholic beer with enhanced antioxidant activity. **Journal of Cereal Science**, v. 103, p. 103390, 2022. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521021002319>
- Francesco, G.; Turchetti, B.; Sileoni, V.; Marconi, O.; Perretti, G. Screening of new strains of *Saccharomyces ludwigii* and *Zygosaccharomyces rouxii* to produce low-alcohol beer. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 121, n. 1, p. 113–121, 2015. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jib.185>
- Francesco, G.; Sannino, C.; Sileoni, V.; Marconi, O.; Filippucci, S.; Tasselli, G.; Turchetti, B. *Mrakia gelida* in brewing process: An innovative production of low alcohol beer using a psychrophilic yeast strain. **Food Microbiology**, v. 76, p. 354–362, 2018. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0740002018303009>
- Fugelsang, K. C.; Edwards, C. G. **Yeasts**. In: Wine Microbiology. Boston: Springer, 2007. p. 3–28. E-book. [http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-33349-6\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-33349-6_1)
- Gobbi, M.; Comitini, F.; Domizio, D.; Romani, C.; Lencioni, L.; Mannazzu, I.; Ciani, M.
- Gutiérrez, A.; Boekhout, T.; Gojkovic, Z.; Katz, M. Evaluation of non-*Saccharomyces* yeasts in the fermentation of wine, beer and cider for the development of new beverages. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 124, n. 4, p. 389–402, 2018. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jib.512>
- Holt, S.; Mukherjee, V.; Lievens, B.; Vertrepen, K. J.; Thevelein, J. M. Bioflavoring by non-conventional yeasts in sequential beer fermentations. **Food Microbiology**, v. 72, p. 55–66, 2018. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0740002017303763>
- Hornink, G.G. **Princípios da produção cervejeira e as enzimas na mosturação**. 2 ed. Alfenas: edição do autor, 2024. [https://www.researchgate.net/publication/382651733\\_Principios\\_da\\_producao\\_cervejeira\\_e\\_as\\_enzimas\\_na\\_mosturacao\\_-\\_2\\_ed\\_2024](https://www.researchgate.net/publication/382651733_Principios_da_producao_cervejeira_e_as_enzimas_na_mosturacao_-_2_ed_2024)
- Johansson, L.; Nikulin, J.; Juvonen, R.; Krogerus, K.; Magalhães, F.; Mikkelsen, A.; Nuppenen-Puputti, M.; Sohlberg, E.; de Francesco, G.; Perretti, G.; Gibson, B. Sourdough cultures as reservoirs of maltose-negative yeasts for low-alcohol beer brewing. **Food Microbiology**, v. 94, p. 103629, 2021. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0740002020302185>
- Jolly, N. P.; Varela, C.; Pretorius, I. S. Not your ordinary yeast: non-*Saccharomyces* yeasts in wine production uncovered. **FEMS Yeast Research**, v. 14, n. 2, p. 215–237, 2014. <https://academic.oup.com/femsyr/article-lookup/doi/10.1111/1567-1364.12111>
- King, A.; Dickinson, J. R. Biotransformation of monoterpene alcohols by *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulasporea delbrueckii* and *Kluyveromyces lactis*. **Yeast**, v. 16, n. 6, p. 499–506, 2000. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1097-0061\(200004\)16:6%3C499::AID-YEA548%3E3.0.CO;2-E](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-0061(200004)16:6%3C499::AID-YEA548%3E3.0.CO;2-E)
- Kokole, D.; Llopis, J. E.; Anderson, P. Non-alcoholic beer in the European Union and UK: Availability and apparent consumption. **Drug and Alcohol Review**, v. 41, n. 3, p. 550–560, 2022. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/dar.13429>
- Krogerus, K.; Eerikäinen, R.; Aisala, H.; Gibson, B. Repurposing brewery contaminant yeast as production strains for low-alcohol beer fermentation. **Yeast**, v. 39, n. 1–2, p. 156–169, 2022. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/yea.3674>
- Linnakoski, R.; Jyske, T.; Eerikäinen, R.; Veteli, P.; Cortina-Escribano, M.; Magalhães, F.; Järvenpää, E.; Heikkilä, L.; Hutzler, M.; Gibson, B. Brewing potential of strains of the boreal wild

- yeast *Mrakia gelida*. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, 2023. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2023.1108961/full>
- Liu, S.-Q.; Quek, A. Y. H. Evaluation of Beer Fermentation with a Novel Yeast *Williopsis saturnus*. **Food Technology and Biotechnology**, v. 54, n. 4, 2016. <http://www.ftb.com.hr/images/pdfarticles/2016/October-December/ftb-54-403.pdf>
- Matraxia, M.; Alfonzo, A.; Prestianni, R.; Francesca, N.; Gaglio, R.; Todaro, A.; Alfeo, V.; Perretti, G.; Columba, P.; Settanni, L.; Moschetti, G. Non-conventional yeasts from fermented honey by-products: Focus on *Hanseniaspora uvarum* strains for craft beer production. **Food Microbiology**, v. 99, p. 103806, 2021. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S074000202100071X>
- Methner, Y.; Hutzler, M.; Zarnkow, M.; Prowald, A.; Endres, F.; Jacob, F. 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, 2022. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03610470.2021.2012747>
- Michel, M.; Kopecká, J.; Meier-Dörnberg, T.; Zarnkow, M.; Jacob, F.; Hutzler, M. Screening for new brewing yeasts in the non-*Saccharomyces* sector with *Torulaspora delbrueckii* as model. **Yeast**, v. 33, n. 4, p. 129–144, 2016. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/yea.3146>
- Muller, C.; Neves, L E.; Gomes, L.; Guimarães, M.; Ghesti, G. Processes for alcohol-free beer production: a review. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 273–281, 2020. <https://www.scielo.br/j/cta/a/tbBhQDVMMPJBWdgkk56hbZN/?lang=en>
- Nikulin, J.; Aisala, H.; Gibson, B. Production of non-alcoholic beer via cold contact fermentation with *Torulaspora delbrueckii*. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 128, n. 1, p. 28–35, 2022. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jib.681>
- Paola Domizio. *Lachancea thermotolerans* and *Saccharomyces cerevisiae* in simultaneous and sequential co-fermentation: A strategy to enhance acidity and improve the overall quality of wine. **Food Microbiology**, v. 33, n. 2, p. 271–281, 2013. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0740002012002286>
- Sannino, C.; Mezzasoma, A.; Buzzini, P.; Turchetti, B. Non-conventional yeasts for producing alternative beers. In: Sibirny, A. (eds). **Non-conventional yeasts: from basic research to application**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 361–388. E-book. [http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-21110-3\\_11](http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-21110-3_11)
- Simões, J.; Coelho, E.; Magalhães, P.; Brandão, T.; Rodrigues, P.; Teixeira, J.A.; Domingues, L. Exploiting Non-Conventional Yeasts for Low-Alcohol Beer Production. **Microorganisms**, v. 11, n. 2, p. 316, 2023. <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/2/316>
- Steels, H.; Bond, C.J.; Collins, M.D.; Roberts, I.N.; Stratford, M.; James, S.A. *Zygosaccharomyces lentus* sp. nov., a new member of the yeast genus *Zygosaccharomyces* Barker. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 49, n. 1, p. 319–327, 1999. <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/00207713-49-1-319>
- Thomas-Hall, S.R.; Turchetti, B.; Buzzini, P.; Branda, E.; Boekhout, T.; Theelen, B.; Watson, K. Cold-adapted yeasts from Antarctica and the Italian Alps—description of three novel species: *Mrakia robertii* sp. nov., *Mrakia blollopis* sp. nov. and *Mrakiella niccombsii* sp. nov. **Extremophiles**, v. 14, n. 1, p. 47–59, 2010. <http://link.springer.com/10.1007/s00792-009-0286-7>
- Van Breda, V.; Jolly, N.; Van Wyk, J. Characterisation of commercial and natural *Torulaspora delbrueckii* wine yeast strains. **International Journal of Food Microbiology**, v. 163, n. 2–3, p. 80–88, 2013. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160513001098>
- Varela, C. The impact of non-*Saccharomyces* yeasts in the production of alcoholic beverages.

**Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 100, n. 23, p. 9861–9874, 2016. <http://link.springer.com/10.1007/s00253-016-7941-6>

Vašík, P.; Rosenbergová, Z.; Furdíková, K.; Klemková, T.; Šišmiš, M.; Šmogrovičová, D. Potential of non-*Saccharomyces* yeast to produce non-alcoholic beer. **FEMS Yeast Research**, v. 22, n. 1, 2022. <https://academic.oup.com/femsyr/article/doi/10.1093/femsyr/foac039/6653522>

Vašík, P.; Rosenbergová, Z.; Sulo, P.; Vašík, P.; Rosenbergová, Z.; Špáňik, I. Production and characterisation of non-alcoholic beer using special yeast. **Kvasny Prumysl**, v. 66, n. 5, p. 336–344, 2020. <https://www.kvasnyprumysl.eu/index.php/kp/article/view/227>

Yabaci Karaoglan, S.; Jung, R.; Gauthier, M.; Kinčl, T.; Dostálek, P. Maltose-Negative yeast in non-alcoholic and low-alcoholic beer production. **Fermentation**, v. 8, n. 6, p. 273, 2022. <https://www.mdpi.com/2311-5637/8/6/27>

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE AUTORAL E ORIGINALIDADE


O autor correspondente Prof. Gabriel Gerber Hornink declara, para os devidos fins, que o manuscrito intitulado “**Uso de leveduras não convencionais na produção de cervejas de baixo teor alcoólico**” submetido/publicado na Revista AGROTEC (Agrarian Science and Technology) é de inteira responsabilidade intelectual e ética dos autores, e o mesmo responsabiliza-se pelo conteúdo do texto.

Declaro que o trabalho apresentado é original, inédito e não infringe direitos autorais de terceiros. Garanto que todo o conteúdo textual, gráfico, metodológico e bibliográfico foi devidamente elaborado, citado e referenciado de acordo com as normas científicas e éticas vigentes.

Os autores assumem integral responsabilidade por qualquer ocorrência de plágio, autoplágio, uso indevido de dados, imagens, tabelas, figuras ou qualquer outra violação de propriedade intelectual eventualmente identificada no artigo. Caso sejam constatadas irregularidades dessa natureza, reconhecemos que responderemos individual e coletivamente pelas consequências legais, acadêmicas e editoriais decorrentes.

Isento a Revista AGROTEC, sua equipe editorial, revisores e instituição mantenedora de qualquer responsabilidade relacionada a práticas inadequadas atribuídas ao conteúdo do manuscrito, especialmente no que se refere a plágio ou má conduta científica.

Por esta declaração, reafirmamos nosso compromisso com a integridade científica, a transparência e a ética na produção e divulgação do conhecimento.

Documento assinado digitalmente  
 GABRIEL GERBER HORNINK  
Data: 27/04/2026 14:45:59-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

Prof. Gabriel Gerber Hornink  
Autor correspondente