

# TECNOLOGIA CERVEJEIRA: PESQUISAS E ANÁLISES COM SUBPRODUTOS DA CERVEJARIA

## BEER TECHNOLOGY: RESEARCH AND ANALYSIS WITH BREWERY BY-PRODUCTS

Carlos Alfredo Franco Cardoso; Leandro Vairo; Leandro Teixeira de Oliveira; Luiz Marcelo Oliveira Taixeirão; Laryssa Jordão do Carmo Botelho; José Eduardo Santos da Silva; Nicolle Pereira Silva; Priscila Figueiredo Corrêa

### RESUMO

O objetivo central deste estudo é estabelecer usos viáveis para os subprodutos gerados pelas cervejarias locais, visando alcançar um descarte ambientalmente sustentável. Para atingir essa meta, foram exploradas duas abordagens distintas. Primeiramente, ocorreu a experimentação da produção de um couro vegano utilizando celulose bacteriana (CB) como matéria-prima, contribuindo para a substituição do couro animal e promovendo uma alternativa sustentável. Nesse contexto, a CB foi sintetizada a partir de subprodutos da cervejaria, representando uma utilização inovadora para esses resíduos. Além disso, também houve foco na reutilização eficiente de leveduras, um componente fundamental na produção cervejeira, com o intuito de reduzir custos e minimizar desperdícios. Avaliamos a viabilidade do congelamento de células de levedura e sua posterior reutilização em lotes de produção. Os resultados obtidos revelaram possibilidades promissoras para ambas as abordagens, contribuindo para uma abordagem mais sustentável na indústria cervejeira e no aproveitamento de seus subprodutos. Em conjunto, esta pesquisa busca não apenas definir novos usos para esses resíduos, mas também alinhar-se aos princípios da economia circular, contribuindo para práticas mais conscientes e responsáveis.

**Palavras-chave:** Couro-vegano; Sustentabilidade; Levedura; Congelamento; Cervejaria

### Abstract

*The main objective of this study is to establish viable uses for by-products generated by local breweries, aiming for environmentally sustainable disposal. To achieve this goal, two distinct approaches were explored. Firstly, experimentation involved the production of vegan leather using bacterial cellulose (BC) as a raw material, contributing to the replacement of animal leather, and promoting a sustainable alternative. In this context, BC was synthesized from brewery by-products, representing an innovative use for these residues. Additionally, there was a focus on the efficient reutilization of yeast, a fundamental component in brewing production, to reduce costs and minimize waste. We assessed the viability of yeast cell freezing and subsequent reuse in production batches. The obtained results revealed promising possibilities for both approaches, contributing to a more sustainable approach in the brewing industry and the utilization of its by-products. Overall, this research aims not only to define new uses for these residues but also to align with the principles of the circular economy, fostering more conscious and responsible practices.*

**Keywords:** Vegan leather; Sustainability; Yeast; Freezing; Brewery

## INTRODUÇÃO

A presença da cerveja no Brasil deve-se inicialmente aos holandeses no século XVII pela Companhia das Índias Ocidentais, mas seu consumo entrou em decadência com o fim da colonização holandesa (1634-1654), porém com a chegada da família real em 1808, D. João VI através da abertura dos portos as nações amigas possibilitou a entrada da cerveja em território brasileiro pelas mãos dos ingleses. Isso permitiu a instalação de vinte e sete cervejarias em menos de cem anos. Esse avanço da indústria se deu pelos fatos de bom clima e qualidade, aumentando assim o consumo constante o ano inteiro (Santos, S.P, 2004; Martins; Fuzioka; Silva, 2014).

Com o grande crescimento do mercado cervejeiro no Brasil, faz-se notório que este é um elemento que se faz presente na vida de quase todos os cidadãos, até mesmo de quem não é consumidor. Seja em propagandas na televisão, cartazes na rua, receitas culinárias, visitas às fábricas ou de outras formas, a maioria das pessoas já teve contato com esta bebida. Assim, o tema tornou-se alvo da curiosidade de muitos pelas variedades e métodos de fabricação, caseiros ou não da bebida (SEBRAE, 2020).

De acordo com a legislação brasileira, mais especificamente o decreto nº 6871, de 4 de junho de 2009, “Cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro.”. Em outras palavras, a cerveja é uma bebida alcoólica, elaborada a partir de 4 ingredientes principais: água, malte, lúpulo e levedura, podendo ou não possuir outros ingredientes em sua formulação. Apesar de ser conhecida principalmente pelas grandes marcas da indústria, atualmente o mercado de cervejas artesanais vem ganhando espaço ao agradar sensorialmente o consumidor brasileiro com a apresentação de diversos estilos.

A produção de cerveja envolve o uso de diversas matérias-primas essenciais para conferir características únicas à bebida. O malte, obtido a partir de cevada ou outros grãos maltados, é a fonte de açúcares fer-

mentáveis, representando um dos principais custos na produção. O lúpulo, responsável por fornecer amargor, aroma e sabor, também tem um impacto significativo no custo final da cerveja, variando de acordo com o tipo e a origem. E por fim, a levedura, elemento crucial para a fermentação, pode ser adquirida em diferentes cepas, cada uma com seus respectivos custos e características.

É importante ressaltar que durante o processo de produção de cerveja, podem ser gerados subprodutos de grande relevância. Um exemplo notável é o bagaço de malte, o qual, em épocas de baixa produção nas microcervejarias, costuma ser descartado em volumes significativos, variando de aproximadamente 250 kg a 400 kg mensalmente. Além disso, menciona-se a “lama cervejeira”, um subproduto formado ao final da fermentação, composto em sua maioria por leveduras, muitas delas ainda vivas e em condições para serem prontamente reutilizadas (Marsarioli, 2019).

A partir deste problema, segue-se a busca pela exploração de alternativas de reutilização dos subprodutos da cervejaria de forma a reduzir os custos do processo e ampliar o campo de possibilidades, contribuindo assim para uma abordagem mais sustentável no setor cervejeiro.

Com possibilidades de aproveitar esses resíduos de maneira sustentável e econômica, foram desenvolvidas duas linhas de pesquisa: a confecção de um couro vegano por meio da biossíntese de celulose bacteriana, e o processo de congelamento para reaproveitamento das leveduras.

A celulose bacteriana (CB) é um biopolímero sintetizado por bactérias em um meio rico em sacarídeos, acompanhada apenas por células microbianas, açúcares e outros metabólitos secundários removidos por um tratamento alcalino suave (Duarte *et al.*, 2019). Ao final do processo, obtém-se um produto com elevado grau de pureza e polimerização, baixa densidade, alta capacidade de absorção e retenção de água, e elevada resistência mecânica, o que apresenta diversas possibilidades de utilização.

Este material ganhou os holofotes recentemente por suas propriedades, como elevada resistência mecânica, biocompatibilidade e capacidade de absorção de água, além da possibilidade de ser moldada em estruturas tridimensionais durante a sua síntese. Além disso, destaca-se pelas vantagens de sua produção,

tais como o baixo custo de infraestrutura, facilidade de obtenção, produção alheia de condições climáticas e reutilização de matérias-primas regionais (Da Silva Junior *et al.*, 2022; Gottschalk, *et al.*, 2013).

Entretanto, a produção industrial e aplicação comercial da celulose bacteriana enfrentam desafios devido a certos custos relacionados aos insumos e nutrientes. Com o objetivo de encontrar meios de cultivo mais econômicos, vários resíduos ou subprodutos da agroindústria foram avaliados como fonte de carbono e demais nutrientes para a produção de CB, incluindo subprodutos da produção cervejeira, como demonstrado nos estudos de Ha *et al.* (2008) e Lin *et al.* (2014). Sabe-se que o uso de tais produtos traz benefícios, lidando com o problema do descarte de materiais orgânicos e influenciando na biossíntese e nas propriedades do polímero, às vezes até mesmo aumentando sua produção (Duarte, E. B. *et al.*, 2019).

O couro vegano, além de ser uma opção fácil e econômica, apresenta-se como uma boa alternativa para as pessoas adeptas do veganismo, que evitam o uso de couro devido à sua origem animal, optando por produtos mais alinhados com suas preocupações ambientais e de bem-estar animal. Esse material sintético, formado a partir da síntese de celulose bacteriana, é uma alternativa ao couro convencional que não apenas cumpre o papel de material, mas também não apresenta os altos custos associados à indústria do agronegócio ou à indústria da moda. Além disso, é biodegradável e adaptado a métodos de tintura menos poluentes, contribuindo para a redução do impacto ambiental e evitando a participação nos maus-tratos aos animais dentro do agronegócio (Da Silva Junior *et al.*, 2022).

Quanto ao armazenamento de leveduras, observa-se que pode ser realizado de diversas formas, mas faz-se necessário avaliar a viabilidade das células em três diferentes cenários de armazenamento: congelador, resfriamento da geladeira e temperatura ambiente, todas possíveis para cervejarias de pequeno porte, pois não exige estrutura e investimento extra. A pesquisa busca compreender de que forma essas condições distintas afetam a integridade e o desempenho da levedura, fornecendo *insights* valiosos para cervejeiros artesanais que buscam aprimorar seus processos sem comprometer a qualidade do produto final.

Ao analisar os resultados obtidos, espera-se contribuir significativamente para uma melhor compreensão das melhores práticas de armazenamento da levedura, auxiliando as cervejarias a tomarem decisões mais assertivas. Isso permitirá a maximização dos recursos disponíveis.

## JUSTIFICATIVA

Levando em conta o crescimento de cervejarias artesanais na nossa região, uma das maiores preocupações dos pequenos produtores é em cima das matérias primas utilizadas para a produção de cervejas, sendo o custo altíssimo e, muitas vezes, desperdícios em grande escala.

Com o objetivo de enfrentar esses desafios e promover uma abordagem mais sustentável e econômica no setor cervejeiro, a pesquisa se concentra no reaproveitamento de subprodutos advindos da produção de cervejas. A utilização dos subprodutos, como o bagaço de malte e a lama cervejeira, busca não somente reduzir os custos, mas também minimizar o impacto ambiental através da diminuição dos resíduos gerados pelas cervejarias.

Ao explorar a possibilidade de reutilização desses subprodutos, a pesquisa contribui para a implementação de práticas mais sustentáveis dentro das cervejarias artesanais, que são uma parte importante da economia regional. Além disso, o estudo busca incentivar a adoção de processos de produção mais eficientes e responsáveis, levando em consideração o cenário atual de preocupação com a preservação do meio ambiente.

Dessa forma, a pesquisa sobre o reaproveitamento de subprodutos da cervejaria tem o potencial de beneficiar tanto os pequenos produtores, ao reduzir seus custos de produção, quanto o meio ambiente, ao diminuir o impacto dos resíduos gerados pela indústria cervejeira. Com essa abordagem mais sustentável, a pesquisa visa contribuir para o crescimento contínuo das cervejarias artesanais em nossa região, mantendo-as competitivas no mercado e alinhadas às demandas por produtos mais responsáveis e conscientes.

## OBJETIVOS

### Objetivo geral

O principal objetivo desta pesquisa é estabelecer utilizações práticas e sustentáveis para os subprodutos gerados pelas cervejarias locais. A abordagem do trabalho se concentra no reaproveitamento de materiais cervejeiros, como levedura e bagaço de malte, com a finalidade de fornecer informações de qualidade que possam ser compartilhadas em publicações científicas. Além disso, busca se disponibilizar esses dados para as cervejarias locais, permitindo-lhes adotar práticas mais sustentáveis, alcançar benefícios econômicos e aprimorar a qualidade de seus produtos. Ao atingir esse objetivo, é pretendido contribuir tanto para a comunidade científica quanto para o setor cervejeiro, promovendo a adoção de medidas sustentáveis e impulsionando o aprimoramento contínuo da indústria.

### Objetivos específicos

- Definir utilizações viáveis para os subprodutos da cervejaria produzidos pelas cervejarias locais, de modo a se ter um descarte sustentável;
- Promover a sustentabilidade com a reutilização de material orgânico;
- Comparar a viabilidade em três cenários distintos de armazenagem;
- Utilizar o SCOBY (symbiotic culture of bacteria and yeast), como microrganismo modelo para a produção da celulose utilizando resíduos da produção cervejeira.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No que se refere ao couro vegano, a linha de pensamento partiu da necessidade de compreender as bases do processo da síntese de celulose bacteriana, para posteriormente aplicar sua possibilidade na formação do couro vegano por CB, utilizando os subprodutos desejados.

A síntese de CB ocorre pela inoculação do microrganismo em um meio de cultura adequado, contendo fontes de fósforo, nitrogênio, carbono, oligoelementos e outros elementos essenciais para o crescimento bacteriano. O cultivo e a síntese podem

ser realizados por dois métodos: cultivo estático e cultivo agitado. No cultivo estático, a CB é sintetizada na interface ar/líquido do meio de cultura, formando uma película gelatinosa, enquanto no método de cultivo agitado, obtém-se celulose com tamanhos e formas variados (Duarte *et al.*, 2019).

A celulose bacteriana pode ser biossintetizada por várias espécies de bactérias pertencentes aos gêneros *Acetobacter*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Escherichia*, *Komagataeibacter* (por exemplo, *Gluconacetobacter*) (Yamada *et al.*, 2012), *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Sarcina* (Huang *et al.*, 2014; Hassan *et al.*, 2015). Com o gênero *Komagataeibacter* sendo identificado como um dos mais eficientes em na produção da CB, podendo sintetizar o biopolímero a partir de diferentes fontes de carbono.

Para a síntese da celulose bacteriana, foi escolhido o SCOBY, definido por Villarreal-Soto *et al.* como uma cultura simbiótica de acetobactérias (*Komagataeibacter sp.*, *Acetobacter sp.* e *Gluconobacter sp.*), bactérias ácido lácticas (*Lactococcus sp.* e *Lactobacillus sp.*) e leveduras (*Zygosaccharomyces bailii*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Schizosaccharomyces pombe*). A opção pelo SCOBY foi motivada pela facilidade de obtenção e reprodução, além de sua capacidade de gerir um meio mais estável para si mesmo, o que facilita a condução do processo.

A celulose biossintetizada por bactérias difere da de origem vegetal em relação à sua estrutura fibrosa, que é essencialmente nanométrica, sua cristalinidade e pureza. Dentre as principais propriedades da CB, destacam-se sua morfologia, caracterizada por uma estrutura tridimensional de rede fibrosa nanométrica, composta por microcanais de tamanho variável. Além disso, apresenta excelente resistência mecânica e elevada área superficial, decorrentes de sua cristalinidade e do pequeno diâmetro das fibras, respectivamente (Duarte, *et al.*, 2019; Gottschalk, *et al.*, 2013; Lee, *et al.*, 2014; Silva, 2012), conforme observada na **tabela 1**.

**Tabela 1:** Características da celulose bacteriana versus celulose vegetal.

Propriedade	Celulose Vegetal	Celulose Bacteriana
Largura da fibra (nm)	14 - 40.000	50 - 80
Cristalinidade (%)	43 - 65	84 - 89
Grau de polimerização	13.000 - 14.000	2.000 - 6.000
Módulo de Young (GPa)	13 - 180	15 - 138
Resistência à tração (MPa)	10 - 250	91 - 260
Quantidade de água (%)	60	98,5

Fonte: Duarte *et al.*, 2019.

No entanto, em relação ao seu uso como “couro”, estudos realizados por Meyer *et al.* (2021) e Nam C.; Lee, Y-A. (2019) evidenciam que a celulose bacteriana como material similar ao couro não atinge todos os padrões do material original e de outros substitutos no mercado. Por exemplo, apresenta valores próximos ao material matriz para absorção de água, mas não possui a mesma resistência mecânica. Ainda assim, oferece um substituto funcional ao couro de origem animal, suprimindo as demandas de mercado dos adeptos do veganismo e de empresas e produtores que buscam alternativas ao couro convencional. Diante desse estudo, é possível traçar um projeto de utilização de resíduos da produção cervejeira (especialmente o malte) como fonte para a síntese de celulose bacteriana e projetar métodos de produção viáveis que possam superar as limitações de ambos os setores.

### Armazenamento de Leveduras

A *Saccharomyces cerevisiae* é uma levedura amplamente utilizada pelas pequenas cervejarias, desempenhando um papel crucial na produção de biocombustíveis e outros produtos biotecnológicos. Essa levedura possui uma notável capacidade de metabolizar os açúcares fermentescíveis presentes no mosto cervejeiro, convertendo-os em etanol e gás carbônico, essenciais para a obtenção de uma cerveja de alta qualidade e com estabilidade sensorial satisfatória (CARVALHO; BENTO; SILVA, 2006).

Através de suas atividades metabólicas, a levedura interage de forma complexa com o ambiente circundante e com outras células. De maneira particular, ela é capaz de obter energia por meio de duas rotas

metabólicas distintas: a respiratória (reação I) e a fermentativa (reação II). Além da conversão de açúcar em etanol e gás carbônico, a levedura também produz outros compostos, como ésteres, álcoois superiores, cetonas, fenóis e ácidos graxos. Esses compostos contribuem significativamente para a formação das características aromáticas da cerveja. Por exemplo, os ésteres conferem notas frutadas, enquanto os fenóis adicionam aromas de especiarias (PICCINI; MORESCO; MUNHOZ, 2002).

### METODOLOGIA

Foram realizados dois grupos de experimentos ao longo do projeto, o primeiro optou pelo cultivo estático com o SCOBY, onde foi utilizado um meio à base de DME (extrato de malte seco) dissolvido em água destilada e fervido. Em seguida, ocorreu a inoculação de 10% (v/v) do microrganismo no meio de cultura. O cultivo foi realizado em temperatura ambiente por aproximadamente 15 dias em diferentes recipientes que variaram em volume de 25 ml, 250 ml, 500ml e 2 L. Foram realizados dois modos distintos de lavagem e purificação: purificação em água destilada e purificação em solução de NaOH. Na primeira abordagem, a CB foi submersa em um banho de água destilada a 80°C por 1 hora, sendo o processo repetido se necessário. Na segunda técnica, a CB foi inicialmente lavada em água destilada e, em seguida, purificada ao ser imersa em uma solução de 0.5 M de NaOH a 70°C por uma hora, seguida da neutralização do pH através de lavagem em água destilada e submersão em solução de ácido acético. Sendo a secagem

realizada em estufa a 70°C e secagem em temperatura ambiente, com as peças de celulose sendo pesadas em intervalos de tempo até alcançarem peso constante.

No segundo experimento foi verificada a viabilidade da levedura, inicialmente, realizando uma diluição de 121x, o que resultou em uma concentração de  $9,3 \times 10^8$  células/ml. Em seguida, foi dividida a levedura em duas situações distintas: um grupo foi mantido em temperatura ambiente, enquanto outro foi mantido em água refrigerada. Além disso, foi preparada uma solução contendo 60% de água e 40% de glicerol para armazenamento no congelador (aproximadamente -20°C). Para monitorar a viabilidade das células em cada ambiente, foram realizadas contagens em quatro momentos diferentes: imediatamente após a preparação das amostras e, posteriormente, em intervalos de 1 dia, 8 dias e 22 dias após o início do experimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Couro Vegano

Mensurou-se o meio inicial utilizando um refratômetro, resultando em uma concentração de 10 Brix e 1039 OG. Após 5 dias, a concentração reduziu para 9 Brix e 1035 OG, acompanhado pelo crescimento inicial da película de celulose. Ao final dos 15 dias, não ocorreu queda adicional na concentração desde a última medição, porém, constatou-se um crescimento significativo da película de celulose.

Com o processo de produção da CB estabelecido, repetido e observado, o próximo passo foi o processo de secagem buscando a obtenção de um material de maior pureza, sendo avaliada a viabilidade, método e tempo. Inicialmente, foi realizada a purificação pela alcalinização da CB, objetivando neutralizar o produto e facilitar a secagem, seguido de secagem na estufa até alcançar o peso constante. Nas figuras de 1 a 4 se observa as etapas da produção da celulose.

**Figura 1:** Celulose Bacteriana em meio DME.



**Figura 2:** Celulose Bacteriana em processo de secagem após alcalinização.



Também foi testada a purificação por hidrólise em água destilada, seguida de secagem em temperatura ambiente. Durante a purificação, foi evidenciada maior degradação da CB. No entanto, em relação ao processo de secagem, ao excluir o uso de temperatura elevada, não foram observadas diferenças significativas no produto final.

**Figura 3:** Celulose Purificada em hidrólise alcalina durante a secagem.



**Figura 4:** Celulose purificada em hidrólise e seca.









vadas na geladeira tiveram um total de  $5,3 \times 10^8$  células por ml e uma viabilidade de 98%. A levedura armazenada no congelador teve um total de  $6,2 \times 10^8$  células por ml e viabilidade 76%.

A terceira contagem foi realizada após 22 dias de armazenagem e nos trouxe a luz os seguintes números. Amostras armazenadas em temperatura ambiente  $2,3 \times 10^8$  células por ml e uma viabilidade de 99%. Amostras armazenadas na geladeira  $3,7 \times 10^8$  células por ml e uma viabilidade de 100%. E por último as amostras congeladas obtiveram um total de  $6,2 \times 10^8$  células por ml e uma viabilidade de 59%.

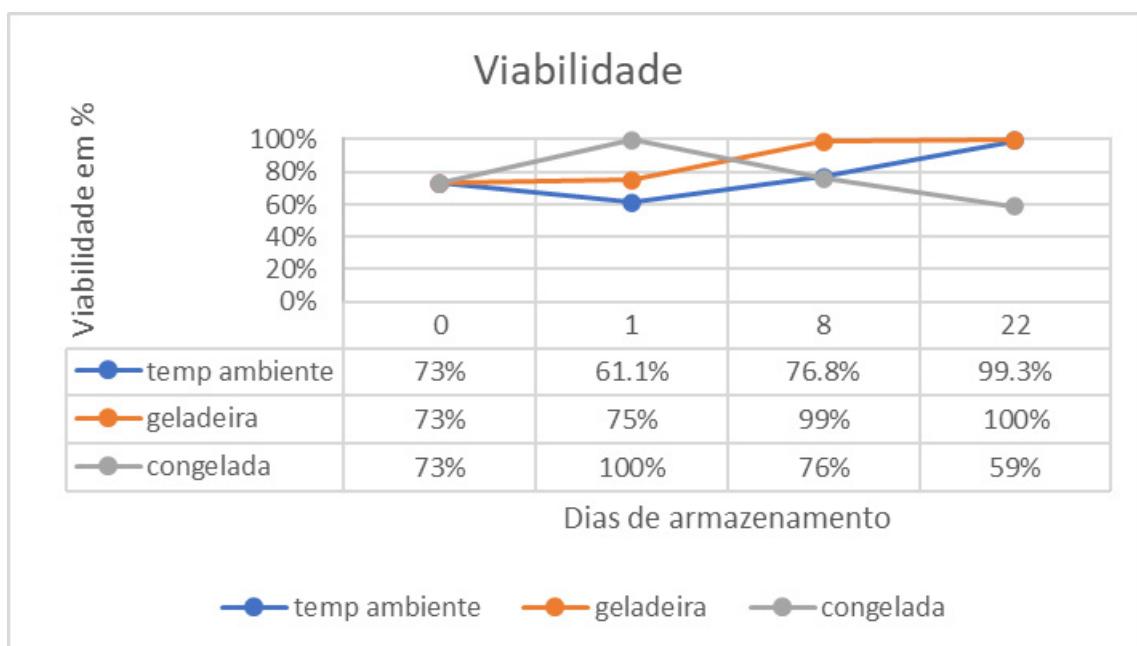
A escolha do glicerol como crioprotetor foi baseada em um estudo de R. SIDARI sobre congelamento de leveduras para vinhos onde o autor utilizou o glicerol (frequentemente usado para preservar culturas de levedura durante o armazenamento em freezer; Schmidt *et al.* 1991) como crioprotetor para diminuir o ponto de congelamento de água e fluidos biológicos por ação coligativa até  $-46\text{ }^\circ\text{C}$ , evitando assim a cristalização eutética (Hubalek 2003). Desenvolvendo um novo meio de armazenamento à base de glicerol que permanecesse líquido a  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ; R. SIDARI *et al* 2009.

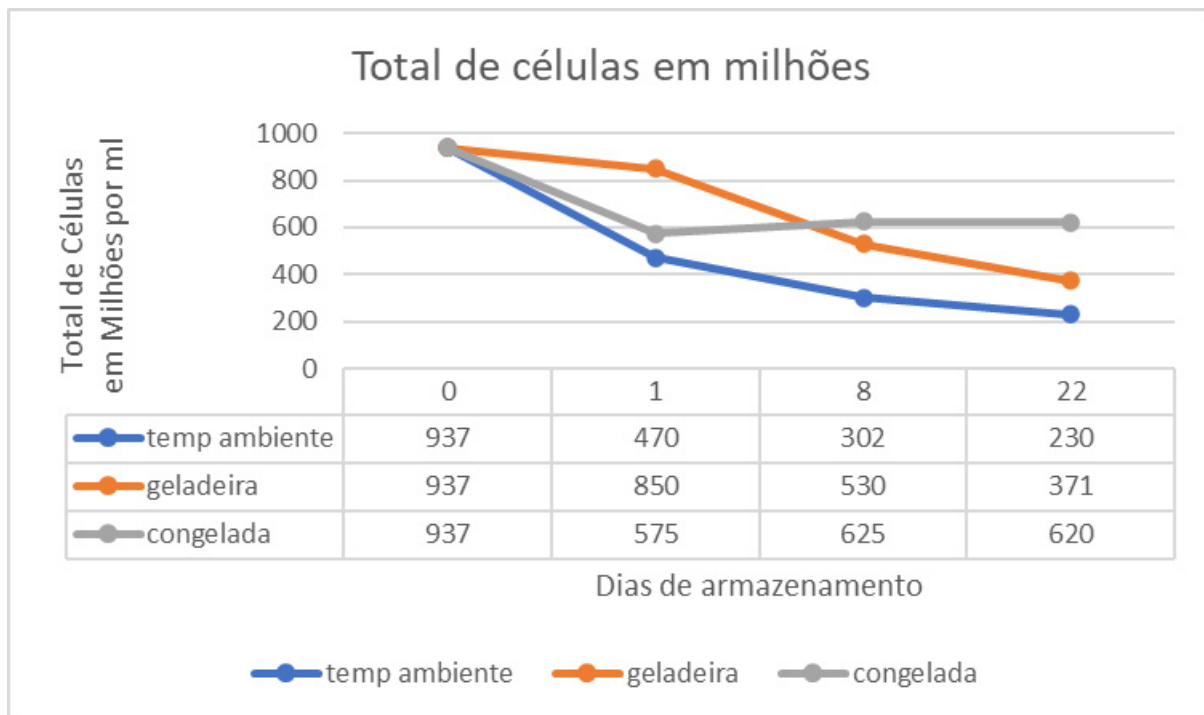
Os gráficos apresentam os resultados do experimento, demonstrando o comportamento das células sob diferentes condições de armazenamento. As células mantidas em temperatura ambiente exibiram uma perda constante no número total ao longo do período analisado. Por outro lado, as células armazenadas na geladeira apresentaram uma perda menor no primeiro dia, mas experimentaram uma diminuição vertiginosa nos dias seguintes. Em contraste, as células congeladas mantiveram um número constante até a data analisada (**figura 6**).

O gráfico da **figura 7** revela que a viabilidade das células armazenadas em temperatura ambiente e na geladeira aparenta ser maior do que as células congeladas. No entanto, é importante destacar que essa aparente maior viabilidade se deve, em parte, ao fato de que as células mortas das amostras em temperatura ambiente e geladeira perderam sua integridade. A morte celular ocorre quando o processo de lesão celular é considerado irreversível. A membrana plasmática da célula perde a integridade e ocorre a fragmentação do núcleo celular, caracterizando esse processo (KROEMER *et al.* 2009), tornando-as inviáveis para visualização na microscopia.

A partir da contagem de células da *Saccharomyces cerevisiae*, obtivemos o seguinte resultado:

**Figura 7:** Gráfico de viabilidade em cada cenário.



**Figura 8:** Gráfico com total de células por cenário em milhões por ml.


## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas informações apresentadas neste trabalho sobre a tecnologia cervejeira e o reaproveitamento de subprodutos da cervejaria, é possível concluir que a pesquisa e análise desses resíduos oferecem uma oportunidade valiosa para reduzir custos e promover a sustentabilidade na indústria cervejeira.

A reutilização dos subprodutos para a produção de celulose bacteriana como substituto do couro mostrou-se uma abordagem promissora para mitigar o desperdício e oferecer uma alternativa ecológica ao couro de origem animal. Embora a celulose bacteriana ainda não atinja todos os padrões do couro tradicional, ela representa uma opção funcional e ética para os adeptos do veganismo e para empresas e produtores comprometidos com práticas mais responsáveis.

Da mesma forma, a pesquisa sobre a reutilização e armazenamento de leveduras demonstrou ser relevante para reduzir os custos de produção das cervejarias e evitar o desperdício desses microrganismos valiosos. A reutilização das leveduras pode resultar em economia significativa e contribuir para a criação de cervejas com perfis sensoriais mais consistentes e distintos.

Ao considerar o crescente mercado de cervejas artesanais e a conscientização sobre a importância da sustentabilidade, a implementação dessas duas linhas de pesquisa pode proporcionar benefícios tanto econômicos quanto ambientais. A produção de celulose bacteriana a partir de resíduos cervejeiros e o uso eficiente das leveduras resultantes da fermentação representam passos importantes em direção a uma indústria cervejeira mais responsável e inovadora.

Esses estudos não apenas abordam questões cruciais de aproveitamento de subprodutos, mas também abrem caminho para futuras pesquisas e aplicações mais amplas. A contínua exploração dessas linhas de pesquisa pode levar a avanços ainda mais significativos, fortalecendo a indústria cervejeira de forma sustentável e econômica.

Dessa forma, é evidente que a tecnologia cervejeira, aliada à pesquisa e análise de subprodutos, desempenha um papel fundamental na busca por uma indústria mais eficiente, inovadora e ecologicamente consciente. Com a continuidade desses esforços, o setor cervejeiro poderá se beneficiar de práticas mais responsáveis e atender às demandas de um mercado cada vez mais consciente e exigente.

## REFERÊNCIAS

- Da Silva Junior, C. J. G. *et al.* Design de um Couro Biotecnológico Naturalmente Tingido e Impermeável a partir de Celulose Reconstituída. *J. Funct. Biomater.* 2022, 13, 49. <https://doi.org/10.3390/jfb13020049>
- Duarte, E. B. *et al.* Celulose Bacteriana: Propriedades, Meios Fermentativos e Aplicações. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2019.
- Gottschalk, L. M. F. *et al.* Produção de celulose bacteriana pela cepa *Gluconacetobacter hansenii* Atcc 1431 com diferentes fontes de nitrogênio. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2013.
- Ha, J. H. *et al.* Produção de celulose bacteriana por meio de cultura estática utilizando resíduos do caldo de cultura de cerveja. *Korean J. Chem. Eng.* 25, 812 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11814-008-0134-y>
- Hassan, E. A.; Abdelhady, H. M.; El-Salam, S. S. A.; Abdullah, S. M. Caracterização de celulose bacteriana produzida por *Acetobacter xylinum* e *Komagataeibacter saccharovorans* em condições de fermentação otimizadas. *British Microbiology Research Journal*, v. 9, n. 3, p. 1-13, 2015.
- Hestrin, S.; Schramm, M. Síntese de celulose por *Acetobacter xylinum*. Micrométodo para a determinação de celuloses. *Biochemical Journal*, Londres, v. 56, p. 163-166, 1954.
- Huang, Y.; Zhu, C.; Yang, J.; Nie, Y.; Chen, C.; Sun, D. Avanços recentes na Celulose Bacteriana. *Cellulose, Houten*, v. 21, p. 1-30, 2014.
- HUBÁLEK Z.: Protectantes utilizados na criopreservação de microorganismos. *Cryobiology* 46, 205–229 (2003).
- Lee, K. Y.; Buldum, G.; Mantalaris, A.; Bissmarck, A. Mais do que aparenta na celulose bacteriana: Biossíntese, bioprocessamento e aplicações em compósitos de fibra avançados. *Macromolecular Bioscience*, v. 14, n. 1, p. 10-32, 2014.
- Lin, D. *et al.* Produção de celulose bacteriana por *Gluconacetobacter hansenii* CGMCC 3917 usando apenas levedura de cerveja como fonte de nutrientes. *Biore-source Technology*, Volume 151, 113-119, 2014.
- Marsarioli, Maurício. Identificação e Avaliação da Geração de Resíduos no Processo de Produção de Cerveja em Microcervejaria e Proposta de Reutilização. [s.l.]: UNIVATES, 2019. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/76e7e-224-3cf7-4394-ac6b-36b5928f2a4c/content>.
- Martins, Izadora F., Fuzioka, Pâmela U., Silva, Alessandro M. Processo de Produção da Cerveja. II Simpósio da Assistência Farmacêutica, Centro Universitário São Camilo, 2014.
- Meyer, M. *et al.* Comparação do Desempenho Técnico de Couro, Couro Artificial e Alternativas Modernas. *Coatings* 2021, 11, 226. <https://doi.org/10.3390/coatings11020226>
- Nam, C. ; Lee, Y-A. Material Celulósico Multicamada como Alternativa ao Couro na Indústria de Calçados. *Clothing and Textiles Research Journal*. 2019;37(1):20-34. doi:10.1177/0887302X18784214
- R. SIDARI, A. CARIDI, Viabilidade de Leveduras Comerciais de Vinho durante o Armazenamento em Freezer em Meio à Base de Glicerol - *Folia Microbiol.* 54(3), 230–232 (2009).
- SANTOS, Sérgio de Paulo. Os primórdios da cerveja no Brasil. Cotia: Ateliê Editorial, 2004. 56p.
- SCHMIDT J.L., DIEZ M., LENOIR J.: Conservação por Congelamento de Leveduras e Mofo de Origem Queijeira. *Sci.Aliment.* 11, 653–672 (1991).
- Silva, H. G. da, Souza, P. G. de, & Pinheiro, C. L. (2021). Estudo da reutilização de leveduras imobilizadas sobre a qualidade da cerveja Cream Ale/ Study on the reuse of immobilized yeasts on the quality of Cream Ale beer. *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 43083–43095.
- Silva, T. R. S. Desenvolvimento de Hidrogéis de Celulose Bacteriana para Cultura de Células e Permeação de Biomoléculas. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SUHRE, Taís. Controle de Qualidade em Microcervejarias: Avaliação da viabilidade, vitalidade e contaminantes em leveduras cervejeiras. 2014. 48.
- Villarreal-Soto, S. A. *et al.* Compreensão da Fermentação do Chá Kombucha: Uma Revisão. *Journal of Food Science*, 83: 580-588. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14068>
- Yamada, Y.; Yukphan, P.; Vu, H. T. L.; Muramatsu, Y.; Ochaikul, D.; Nakagawa, Y. Subdivision of the genus *Gluconacetobacter* Yamada, Hoshino and Ishikawa 1998: The proposal of *Komagatabacter* gen. nov., for strains accommodated to the *Gluconacetobacter xylinus* group in the  $\alpha$ -Proteobacteria. *Annals of Microbiology*, Milan, v. 62, p. 849-859, 2012.