

TECNOLOGIA CERVEJEIRA: PESQUISAS E ANÁLISES COM SUBPRODUTOS DA CERVEJARIA

BEER TECHNOLOGY: RESEARCH AND ANALYSIS WITH BREWERY BY-PRODUCTS

*Carlos Alfredo Franco Cardoso, carlosalfredo@unifeso.edu.br (coordenador do projeto),
docente do curso de medicina e coordenador do curso de Biomedicina - Unifeso*

Leandro Vairo, docente dos cursos de Medicina e Biomedicina – Unifeso

Leandro Teixeira de Oliveira, docente dos cursos de Medicina e Biomedicina – Unifeso

Roberto Xavier de Almeida, docente dos cursos de Farmácia, Nutrição e Biomedicina – Unifeso

José Eduardo Santos da Silva, discente do curso de Biomedicina (estudante bolsista)

Laryssa Jordão do Carmo Botelho, discente do curso de Biomedicina (estudante voluntária)

Priscila Figueiredo Corrêa, discente do curso de Biomedicina (estudante bolsista)

PICPq - Plano de Iniciação Científica e Pesquisa

RESUMO

Este estudo investiga o aproveitamento de subprodutos da indústria cervejeira para a produção de couro vegano a partir da celulose bacteriana (CB). Diante da crescente demanda por alternativas sustentáveis, foram avaliados materiais como o extrato de malte seco (DME) e outros resíduos do processo cervejeiro como possíveis substratos de cultivo. Neste semestre, o foco foi o processo de secagem, etapa essencial para assegurar a resistência mecânica e a qualidade final do material. Buscou-se desenvolver técnicas simples, eficazes e acessíveis, adequadas também a pequenos produtores. Os resultados reforçam o potencial de reaproveitamento dos resíduos cervejeiros na bioprodução de materiais alternativos, destacando-se como solução inovadora e sustentável para a indústria.

Palavras-chave: Couro vegano; Sustentabilidade; Celulose bacteriana; Indústria cervejeira; Secagem; Reaproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

This study investigates the use of by-products from the brewing industry to produce vegan leather from bacterial cellulose (BC). Given the growing demand for sustainable alternatives, materials such as dry malt extract (DME) and other brewing residues were evaluated as potential cultivation substrates. This semester, the focus was on the drying process, an essential step to ensure the mechanical strength and final quality of the material. The goal was to develop simple, effective, and accessible techniques, suitable even for small producers. The results reinforce the potential of reusing brewing residues in the bioproduction of alternative materials, standing out as an innovative and sustainable solution for the industry.

Keywords: Vegan leather; Sustainability; Bacterial cellulose; Brewing industry; Drying; Waste recycling.

1. INTRODUÇÃO

O setor cervejeiro brasileiro tem apresentado uma expressiva expansão nos últimos anos, consolidando-se como parte relevante da cultura e do consumo nacional. Esse crescimento pode ser observado tanto pela diversidade de rótulos disponíveis quanto pela valorização das cervejas artesanais, que oferecem uma ampla gama de estilos e conquistam um público cada vez mais exigente (SEBRAE, 2022). Conforme a legislação vigente, a cerveja é caracterizada como a bebida resultante da fermentação alcoólica de mosto preparado a partir de malte, lúpulo, água potável e leveduras, podendo ainda incorporar adjuntos cervejeiros (MAPA, 2020).

Apesar da expansão do mercado, a produção de cerveja exige matérias-primas de alto custo, como o malte e o lúpulo, que desempenham papel fundamental na definição das propriedades sensoriais da bebida (Medeiros *et al.*, 2020). Além disso, o processo industrial gera grandes quantidades de subprodutos, entre os quais se destacam o bagaço de malte e a borra proveniente da fermentação, que muitas vezes são descartados de forma inadequada, representando um problema ambiental (Santos *et al.*, 2021).

Nesse contexto, estratégias de reaproveitamento têm sido cada vez mais estudadas, visando agregar valor a esses resíduos e reduzir impactos ambientais. Uma alternativa inovadora é a utilização desses subprodutos para a biossíntese de celulose bacteriana, material com propriedades que permitem sua aplicação como couro vegano. Essa abordagem contribui para práticas produtivas mais sustentáveis e oferece novas possibilidades econômicas, especialmente para pequenos produtores, alinhando-se às demandas de responsabilidade socioambiental e à economia circular (Ferreira *et al.*, 2021).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção de couro vegano a partir da CB depende do conhecimento detalhado dos processos de biossíntese dessa biopolímero, fundamental para transformar subprodutos da indústria cervejeira em um material funcional e sustentável. A compreensão desses mecanismos possibilita o desenvolvimento de uma alternativa ao couro convencional, aproveitando resíduos que seriam descartados.

A síntese da CB é realizada pela inoculação de microrganismos em um meio de cultura rico em nutrientes essenciais, como fontes de carbono, nitrogênio, fósforo e oligoelementos. O crescimento bacteriano pode ocorrer em condições estáticas ou agitadas. No cultivo estático, forma-se uma película gelatinosa na interface líquido-ar, enquanto o cultivo agitado gera fibras com formatos e dimensões variadas (Duarte *et al.*, 2019).

Diversos gêneros bacterianos são capazes de produzir CB, incluindo *Acetobacter*, *Komagataeibacter*, *Gluconacetobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Sarcina*, sendo o gênero *Komagataeibacter* destacado por sua elevada eficiência e versatilidade no uso de diferentes fontes de carbono (Yamada *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2014; Hassan *et al.*, 2015).

Para este estudo, foi utilizado o SCOPY, definido como uma cultura simbiótica que combina acetobactérias (*Komagataeibacter* sp., *Acetobacter* sp., *Gluconobacter* sp.), bactérias lácticas (*Lactococcus* sp., *Lactobacillus* sp.) e leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Zygosaccharomyces bailii*, *Schizosaccharomyces pombe*) (Villarreal-Soto *et al.*, 2020). A escolha se justifica pela facilidade de manutenção, reprodução e capacidade de estabilizar o meio de cultivo, favorecendo a formação consistente da CB.

A CB apresenta propriedades distintas da celulose vegetal, como estrutura fibrosa nanométrica, elevada cristalinidade, pureza e alta resistência mecânica. Sua morfologia tridimensional, composta por microcanais, proporciona grande área superficial e durabilidade (Duarte *et al.*, 2019; Gottschalk *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2014; Silva, 2012). Essas características tornam a CB adequada para o desenvolvimento de produtos similares ao couro.

No entanto, comparada ao couro animal, a CB ainda apresenta limitações, principalmente na resistência mecânica, embora possua capacidade de absorção de água semelhante (Meyer *et al.*, 2021; Nam & Lee, 2019). Mesmo assim, representa uma alternativa funcional e sustentável, atendendo às demandas de veganos e produtores interessados em soluções ecologicamente responsáveis. O aproveitamento de resíduos cervejeiros, especialmente o malte, na síntese de CB permite explorar novas formas de produção e valorizar materiais que seriam descartados, promovendo inovação e sustentabilidade industrial.

Uma das etapas cruciais deste projeto foi o estudo aprofundado do processo de secagem da celulose bacteriana, essencial para garantir a resistência mecânica do material e viabilizar seu uso como substituto do couro. A secagem influencia diretamente na qualidade final da película, tanto em termos de durabilidade quanto de manuseio. Além disso, considerando que o projeto busca oferecer uma alternativa acessível e aplicável a pequenos produtores, foi necessário desenvolver técnicas de secagem que fossem simples, eficazes e que não demandassem tempo ou equipamentos complexos.

3. TIPOS DE SECAGEM

As técnicas de secagem consistem em duas naturezas: física e química. De todo modo, ambos exploram processos de remoção de água por diferença de gradiente, deslocando as relações em equilíbrio no sentido de remover o excesso de umidade do material para fora dele. A seguir são apresentadas as formas possíveis estudadas que foram sequencialmente aplicadas: secagem mecânica (prensagem), difusional, química indireta e por aquecimento.

3.1 Secagem mecânica

A secagem mecânica compreende um conjunto de métodos físicos utilizados para a remoção parcial da umidade de materiais sólidos ou semissólidos, como a celulose bacteriana. Essa etapa é geralmente aplicada antes da secagem térmica, com o objetivo de reduzir o teor de água livre de forma rápida e com baixo custo energético. No entanto, esses métodos não são suficientes para atingir baixos níveis de umidade residual, o que limita sua aplicação como etapa final em materiais que exigem maior estabilidade estrutural. Entre os principais métodos mecânicos estão a prensagem, que consiste na aplicação de força compressiva para expulsar a água; a gravidade, que se baseia no escoamento natural da água por ação gravitacional e é o método menos agressivo à estrutura do material; a torção, que aplica deformações rotacionais para forçar a saída da umidade; e a centrifugação, que utiliza força centrífuga para acelerar a separação da água e apresenta a maior eficiência entre os métodos. A escolha do método deve considerar a fragilidade da celulose bacteriana em sua forma hidratada, que se apresenta como um hidrogel delicado e flexível. Assim, métodos mais brandos, como a drenagem por gravidade, tendem a ser mais compatíveis com a preservação da integridade do material (Ratti, 2001).

Quadro 1: Comparação de umidade residual observada por técnicas de secagem mecânica.

Processo Mecânico de Secagem	Umidade Residual em % (massa/massa)
Prensagem	80 – 120%
Gravidade (peneiras)	50 – 70%
Torção	50 – 60%
Centrifugação	30 – 35%

Fontes: (Hall, 1988; Ratti, 2001)

Na produção de couro vegano à base de celulose bacteriana, é fundamental considerar a fragilidade do material em sua forma hidratada. Por isso, métodos menos agressivos, como a drenagem por gravidade, são preferíveis para preservar sua integridade estrutural.

3.2 Secagem por Difusão

A secagem por difusão envolve a transferência da umidade interna do material para o meio externo, sendo influenciada por fatores como: pressão de vapor da água no material, pressão atmosférica, pressão parcial do vapor de água no ar, superfície de contato do material com o ar e coeficiente do aproveitamento de evaporação (Zhang *et al.*, 2024).

Em regiões de maior altitude, como Teresópolis ($\approx 0,9$ km acima do nível do mar), a pressão atmosférica é menor, o que facilita a evaporação da água. Cálculos baseados na equação de Laplace indicam que a pressão atmosférica em Teresópolis é de aproximadamente 673 mmHg, contra 760 mmHg ao nível do mar — uma redução de cerca de 12%. Isso significa que a água precisa vencer uma menor pressão para evaporar, tornando a secagem naturalmente mais eficiente.

Além disso, a temperatura de ebulição da água também diminui em altitudes elevadas. Usando a equação de Clausius-Clapeyron, foi determinado que em Teresópolis a água ferve a $98,6^{\circ}\text{C}$, em vez de 100°C . Portanto, ambientes como Teresópolis, por terem pressão atmosférica reduzida e menor ponto de ebulição da água, oferecem condições naturalmente mais favoráveis à secagem por difusão, especialmente se o ar estiver seco (baixa umidade relativa), promovendo a migração espontânea da umidade dos materiais para a atmosfera.

3.3 Secagem Química Indireta

Uma abordagem prática e de baixo custo consiste na utilização de agentes higroscópicos, que absorvem a umidade do ambiente sem contato direto com o material. Compostos como sílica gel, cloreto de cálcio, sulfato de magnésio (sal de Epsom), sulfato de sódio anidro e até ácido sulfúrico concentrado são amplamente utilizados em dessecadores para criar ambientes secos e induzir a migração da umidade da celulose para o absorvente. Essa técnica preserva a integridade do material, sendo particularmente interessante para laboratórios ou produções de pequeno porte (Sozcu *et al.*, 2024).

3.4 Secagem Térmica Convencional

Outra possibilidade amplamente estudada envolve o uso de fontes de calor, como fornos e estufas. Apesar de eficazes, esses métodos requerem avaliação do impacto energético e do risco de daniificação térmica da estrutura da celulose. O uso de fornos elétricos ou a gás pode levar até 48 horas para secagem completa (Pastorini & Bacarin, 2002). Já os fornos de micro-ondas demonstraram resultados promissores, realizando a desidratação de materiais vegetais em menos de 5 minutos, quando operados em potência média e de forma intermitente, garantindo rapidez com menor risco de degradação do material.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos foram organizados de maneira a permitir a coleta das amostras e a aplicação de diferentes métodos de secagem. Essa estratégia possibilitou não apenas a comparação direta entre

os processos, mas também a análise de parâmetros fundamentais, como tempo necessário para a completa secagem, preservação das características morfológicas da amostra, uniformidade do material final e possíveis alterações decorrentes do método empregado.

A adoção de diferentes condições experimentais teve como objetivo identificar qual técnica apresenta maior eficiência, menor risco de degradação do material e melhor aplicabilidade prática em situações de rotina laboratorial. Dessa forma, foi possível observar variações significativas entre os métodos, tanto em relação à velocidade de secagem quanto à integridade estrutural da amostra, fatores que impactam diretamente na qualidade dos resultados subsequentes.

Além disso, a comparação sistemática entre os procedimentos oferece uma base sólida para discutir não apenas a eficácia dos métodos avaliados, mas também suas limitações, permitindo uma reflexão crítica sobre a adequação de cada técnica para diferentes tipos de análise, no **quadro 2**, foi demonstrado as técnicas seguidas das amostras utilizadas.

Quadro 2: Relação das amostras e técnicas utilizadas.

NATUREZA DO MÉTODO	MÉTODOS / AMOSTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FÍSICO	AQUECIMENTO	X									
	VENTILAÇÃO		X								
	SECAGEM POR PRESSIONAMENTO			X							
QUÍMICO DIRETO	CLORETO DE CÁLCIO				X						
	SULFATO DE MAGNÉSIO					X					
	SULFATO DE SÓDIO						X				
	AMIDO DE MILHO							X			
	ARROZ GRÃOS								X		
	ARROZ TRITURADO									X	
QUÍMICO INDIRETO	ACÍDO SULFÚRICO										X

Fontes: Desenvolvida pelos alunos (2025).

Os resultados obtidos referentes à secagem da amostra, seguindo rigorosamente o procedimento realizado, estão apresentados a seguir, possibilitando a avaliação da eficiência de cada método aplicado e a comparação entre as diferentes condições experimentais.

Quadro 3: Medidas de massa e relações sobre as amostras utilizadas.

NATUREZA DO MÉTODO	METODOS / AMOSTRAS	MASSA INICIAL(G)	MASSA FINAL (AGENTE SECANTE)(G)	APÓS 50 MINUTOS			
				MASSA INICIAL (AGENTE SECANTE) (G)	MASSA FINAL(G)	PERDA TOTAL (G)	PERDA TOTAL %
FÍSICO	AQUECIMENTO	7,939	0,000	0,000	5,937	2,002	Redução de 25,22%
	VENTILAÇÃO	7,160	0,000	0,000	5,263	1,897	Redução de 26,49%
	SECAGEM POR PRESSIONAMENTO	4,486	0,000	0,000	1,471	3,015	Redução de 67,21%
QUÍMICO DIRETO	CLORETO DE CÁLCIO	15,525	27,423	16,113	13,810	1,715	Redução de 11,05%
	SULFATO DE MAGNÉSIO	23,876	37,217	32,362	23,439	0,437	Redução de 1,83%
	SULFATO DE SÓDIO	17,502	32,727	31,340	12,371	5,131	Redução de 29,32%
	AMIDO DE MILHO	23,525	30,009	28,654	19,350	4,175	Redução de 17,75%
	ARROZ GRÃOS	11,857	36,504	35,944	10,992	0,865	Redução de 7,30%
	ARROZ TRITURADO	14,372	27,185	26,447	12,832	1,540	Redução de 10,72%
QUÍMICO INDIRETO	ACÍDO SULFÚRICO	não medido	não medido	não medido	não medido	não medido	não medido

Fontes: Desenvolvida pelos alunos (2025).

Nenhum dos reagentes químicos utilizados foi previamente tratado, então os resultados estão associados às aplicações realizadas dos produtos diretamente dos frascos sobre as amostras, isso justifica a baixa redução da umidade pela aplicação do sulfato de magnésio em comparação ao sódico. Essa decisão foi tomada pela intenção de simular condições comuns e reais de armazenamento em uma indústria ou laboratório, como o próprio onde foi realizado o experimento.

A partir das amostras coletadas, selecionamos aquelas que apresentaram resultados mais expressivos e repetimos as análises com o objetivo de garantir maior confiabilidade e reprodutibilidade dos dados obtidos. Esse processo possibilitou reduzir possíveis erros experimentais e validar os achados de forma mais consistente.

Com base nessa repetição, foi possível realizar uma análise gráfica comparativa, que permitiu visualizar com mais clareza as variações e tendências observadas nas amostras. A utilização de representações gráficas proporcionou um entendimento mais completo e detalhado do comportamento das variáveis analisadas, facilitando a interpretação dos dados e permitindo uma correlação mais robusta com a literatura científica.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a importância da análise quantitativa e qualitativa das amostras, bem como da aplicação de ferramentas estatísticas e gráficas como apoio essencial para

a compreensão dos fenômenos observados. Além disso, a repetição das amostras possibilitou maior segurança na interpretação, tornando os resultados mais sólidos e aplicáveis em futuras pesquisas.

Seis pesagens da amostra foram realizadas em intervalos de dez minutos durante o período de uma hora, a fim de avaliar o tempo necessário para que seu peso se estabilizasse.

A amostra foi inicialmente submetida a uma lavagem alcalina, utilizando-se 200 mL de água destilada contendo 4 g de hidróxido de sódio (NaOH a 0,5 mol/L) permanecendo em contato com a solução por 50 minutos. O hidróxido de sódio atua como agente alcalinizante, promovendo a saponificação de lipídios e a solubilização de compostos orgânicos ácidos, além de auxiliar na remoção de proteínas residuais e outras impurezas presentes.

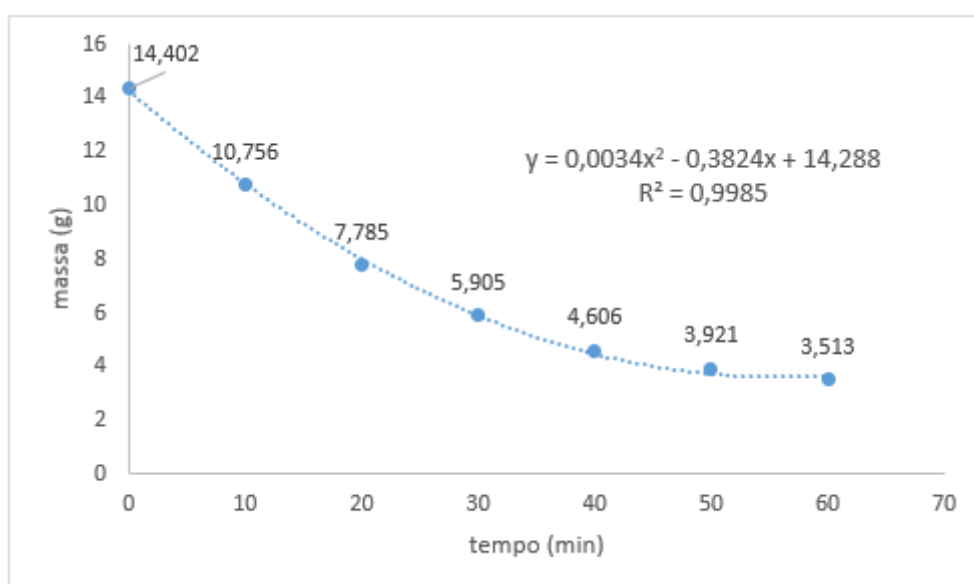
Posteriormente, a amostra passou por uma lavagem com ácido acético diluído, com a finalidade de neutralizar resíduos alcalinos provenientes da etapa anterior. O ácido acético, por meio da protonação de grupos funcionais, restabelece o equilíbrio químico da superfície da amostra.

Na etapa seguinte, foi preparada uma solução de bicarbonato de sódio (NaHCO_3 a 1,0 mol/L) a partir da dissolução de 2,1 g do reagente em 50 ml de água destilada. A amostra foi então tratada com essa solução, que atuou como agente tamponante, neutralizando o excesso de ácido acético residual e estabilizando o pH próximo à neutralidade. Essa reação libera dióxido de carbono (CO_2) e forma acetato de sódio, garantindo que a amostra final esteja livre de resíduos fortemente ácidos ou básicos.

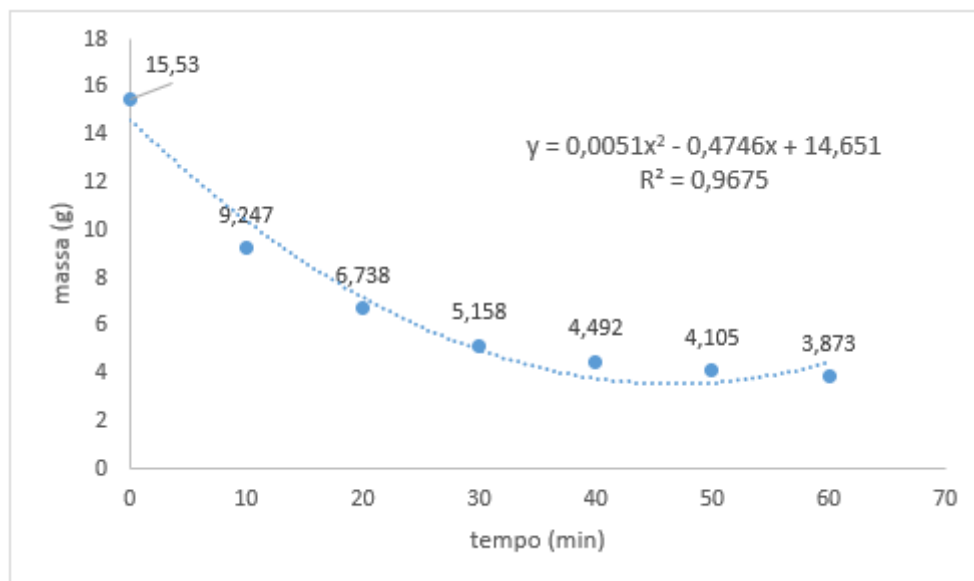
Esse processo sequencial de lavagem com base, ácido e solução tamponante é fundamental para assegurar a integridade da amostra, reduzindo a interferência de contaminantes e preparando-a adequadamente para análises posteriores.

A seguir são apresentados gráficos à perda de massa total da amostra, relativa à remoção da água para as técnicas físicas e químicas mais eficazes, isoladas e combinadas, sendo elas: Prensa em contato com papel absorvente, ventilação artificial (uso de ventilador) e processo osmótico por contato direto com sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4).

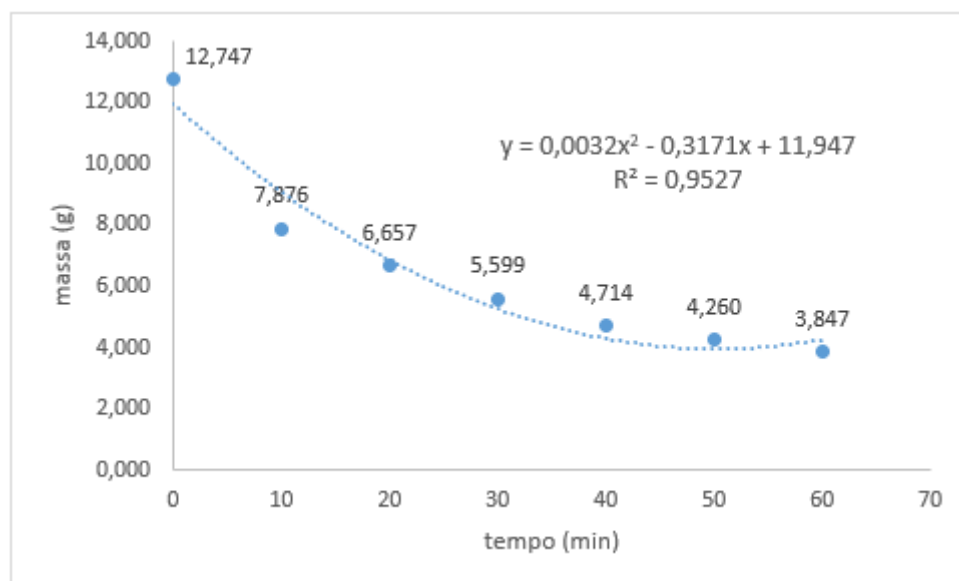
Gráfico 1. Perda de massa da amostra 12 submetida ao método de prensagem com papel absorvente.



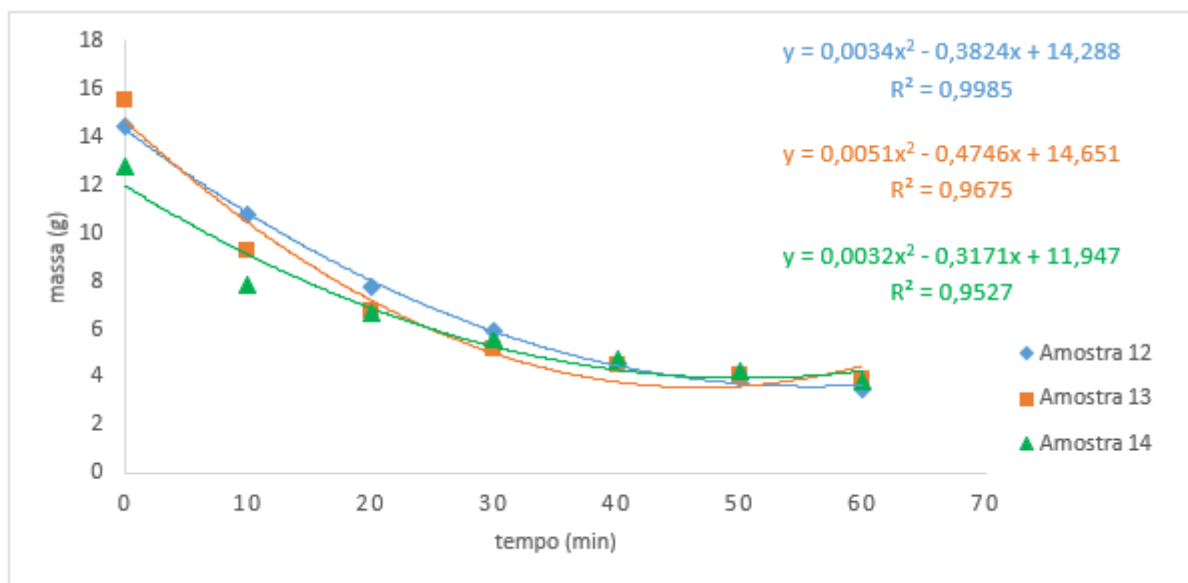
Fontes: Desenvolvida pelos alunos (2025).

Gráfico 2. Perda de massa da amostra 13 submetida ao método de prensagem com papel e ventilação.

Fontes: Desenvolvida pelos alunos (2025).

Gráfico 3. Perda de massa da amostra 14 sob de prensagem com papel, ventilação e contato com Na_2SO_4 .

Fontes: Desenvolvida pelos alunos (2025).

Gráfico 4. Comparação entre as perdas de água das amostras 12, 13 e 14 sob diferentes técnicas aplicadas.

Fontes: Desenvolvida pelos alunos (2025).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho conclui que a produção de celulose bacteriana como substituta do couro oferece uma oportunidade significativa para reduzir custos e promover a sustentabilidade na indústria. A reutilização de subprodutos cervejeiros para produzir couro vegano é uma abordagem promissora para mitigar o desperdício e oferecer uma alternativa ecológica ao couro animal.

Durante o desenvolvimento, a pesquisa sobre métodos de secagem, especialmente por difusão em condições de menor pressão atmosférica, mostrou-se essencial para otimizar a eficiência do processo e melhorar as características do material final.

Dentre as técnicas isoladas ou combinadas para secagem das amostras foi verificado o melhor desempenho para a combinação de prensagem com papel absorvente e ventilação. Embora as demais técnicas tenham apresentado um resultado final semelhante, após decorridos 60 minutos, a técnica de prensagem com papel e ventilação basicamente alcançou o mesmo resultado em metade do tempo total de análise, com uma cinética mais proeminente. Seja ressaltado que não havendo papel absorvente, o mesmo poderia ser substituído por sulfato de sódio anidro, sendo mantidas prensa em e ventilação.

Embora a celulose bacteriana ainda não seja igual a todos os padrões do couro tradicional, ela é uma opção ética e funcional, especialmente voltada para consumidores veganos e empresas comprometidas com práticas sustentáveis. O mercado para couro vegano é promissor, dado o interesse crescente por produtos ecológicos. A produção de celulose bacteriana a partir de resíduos cervejeiros pode trazer benefícios econômicos e ambientais, abrindo caminho para futuras pesquisas e aplicações. A tecnologia cervejeira, aliada à reutilização de subprodutos, é crucial para tornar uma indústria mais eficiente, inovadora e ecologicamente consciente, atendendo às demandas de um mercado cada vez mais exigente.

6. REFERÊNCIAS

1. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). O mercado de cervejas artesanais no Brasil. Brasília: SEBRAE; 2022. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br>.
2. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2020. Estabelece o regulamento técnico sobre a identidade e os requisitos de qualidade da cerveja. Diário Oficial da União. 2020.
3. Medeiros LL, Oliveira AP, Costa JR. Matérias-primas utilizadas na fabricação de cervejas: qualidade e impacto sensorial. *Rev Bras Agroindústria*. 2020;16(3):55-68.
4. Santos FM, Silva RC, Barbosa MA. Reaproveitamento de resíduos da indústria cervejeira: bagaço de malte e lama de fermentação. *Rev Gestão Ambient Sustentabilidade*. 2021;10(2):45-60.
5. Ferreira TA, Lima GF, Carvalho EN. Celulose bacteriana: potencial de aplicação em embalagens e substitutos de couro. *Rev Biotecnol Ciênc*. 2021;9(1):33-47.
6. Yamada Y, Yukphan P, Vu HTL, Muramatsu Y, Ochaikul D, Nakagawa Y. Description of *Komagataeibacter* gen. nov., with proposals of new combinations (Acetobacteraceae). *J Gen Appl Microbiol*. 2012;58(5):397-404. doi:10.2323/jgam.58.397.
7. Huang J, Zhang Y, Zhang X. More than meets the eye in bacterial cellulose: biosynthesis, bioprocessing, and applications in advanced fiber composites. *Macromol Biosci*. 2014;14(1):10-32. doi:10.1002/mabi.201300298.
8. Hassan EA, Abdelhady HM, Abd El-Salam SS, Abdullah SM. The characterization of bacterial cellulose produced by *Acetobacter xylinum* and *Komagataeibacter saccharovorans* under optimized fermentation conditions. *Br Microbiol Res J*. 2015;9(3):1-13. doi:10.9734/BMRJ/2015/18223.
9. Villarreal-Soto SA, et al. Metabolome-microbiome signatures in the fermented tea kombucha. *Sci Rep*. 2020;10:1-12. doi:10.1038/s41598-020-69056-5.
10. Lee KY, Buldum G, Mantalaris A, Bismarck A. More than meets the eye in bacterial cellulose: biosynthesis, bioprocessing, and applications in advanced fiber composites. *Macromol Biosci*. 2014;14(1):10-32. doi:10.1002/mabi.201300298.
11. Silva LG. Celulose bacteriana: propriedades, meios fermentativos e aplicações. Embrapa Agroindústria de Alimentos; 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1109174/1/DOC19001.pdf>.
12. Meyer AS, et al. Bacterial cellulose as a potential bioleather substitute for the footwear industry. *Microb Biotechnol*. 2021;12(4):1-12. doi:10.1111/1751-7915.13306.
13. Nam C, Lee YA. Bacterial cellulose as a potential bioleather substitute for the footwear industry. *Microb Biotechnol*. 2019;12(4):1-12. doi:10.1111/1751-7915.13306.