

EFICIÊNCIA DA SÍNTESE E PUREZA DA CELULOSE BACTERIANA: EFEITOS SINÉRGICOS ENTRE CULTIVO E PURIFICAÇÃO

*EFFICIENCY OF BACTERIAL CELLULOSE SYNTHESIS AND PURITY:
SYNERGISTIC EFFECTS BETWEEN CULTIVATION AND PURIFICATION*

Evelin Thayná Barbosa Serpa¹, Poliana Zava Ribeiro da Silva², Renata Leme³,
Tayna Blumer Albuquerque⁴, Lucas Repecka Alves⁵ e Maíra de Lourdes Rezende⁶

RESUMO

A crescente demanda por materiais sustentáveis tem impulsionado o estudo da celulose bacteriana (CB) como alternativa renovável e biodegradável. Este trabalho buscou otimizar as condições de cultivo para produção de celulose bacteriana da kombucha (CBK) e avaliar o impacto da purificação em suas propriedades. Membranas de CBK foram obtidas a partir de chá verde em dois períodos de fermentação (7 e 21 dias) e purificadas por lavagem com água destilada ou tratamento alcalino em solução de NaOH 0,1 M a 80 °C por 1 h. Avaliaram-se rendimento (massa úmida e espessura) e alterações estruturais por FTIR. O maior tempo de cultivo resultou em membranas significativamente mais espessas e pesadas. A purificação alcalina promoveu neutralização do pH e remoção de resíduos da fermentação, evidenciada pela ausência de bandas características no FTIR e maior definição dos picos, sugerindo aumento da cristalinidade. Assim, o cultivo prolongado aliado à purificação alcalina mostrou-se a rota mais eficiente para obtenção de CBK de alta qualidade, favorecendo aplicações em embalagens sustentáveis e biomedicina.

Palavras-chave: Biopolímeros; Kombucha; Caracterização estrutural.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable materials has driven the study of bacterial cellulose (BC) as a renewable and biodegradable alternative. This work aimed to optimize the cultivation conditions for the production of bacterial cellulose from kombucha (KBC) and to evaluate the impact of purification on its properties. KBC membranes were obtained from green tea over two fermentation periods (7 and 21 days) and purified either by washing with distilled water or by alkaline treatment in a 0.1 M NaOH solution at 80 °C for 1 h. Yield (wet mass and thickness) and structural changes were assessed by FTIR. Longer cultivation times resulted in significantly thicker and heavier membranes. Alkaline purification promoted pH neutralization and the removal of fermentation residues, evidenced by the absence of characteristic bands in the FTIR spectra and

¹ Mestranda em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos. E-mail: evelin.serpa@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1735-1117>

² Mestranda em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos. E-mail: polianazrs@estudante.ufscar.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2035-7950>

³ Mestranda em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos. E-mail: renataleme@outlook.com.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1331-467X>

⁴ Tecnóloga em Polímeros pela Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Brasil. E-mail: tayna750@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6129-2822>

⁵ Doutorando em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos. E-mail: lucasrepecka@estudante.ufscar.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5458-2403>

⁶ Doutora em Nanociência e Materiais Avançados pela Universidade Federal do ABC. Docente da Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales. E-mail: marezende0282@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0677-0068>

greater peak definition, suggesting increased crystallinity. Thus, prolonged cultivation combined with alkaline purification proved to be the most efficient route for obtaining high-quality KBC, supporting applications in sustainable packaging and biomedicine.

Keywords: Biopolymers; Kombucha; Structural characterization.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a crescente preocupação com os impactos ambientais do extrativismo vegetal tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis, tais como os biopolímeros. Estes são materiais poliméricos derivados de fontes naturais, incluindo plantas, resíduos agrícolas, materiais florestais e microrganismos. Diferentemente dos plásticos petroquímicos, os biopolímeros destacam-se por sua origem renovável, biodegradabilidade e menor impacto ambiental, alinhando-se às exigências regulatórias e às demandas dos consumidores por produtos ecologicamente corretos (Gregory *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2025).

Entre esses materiais, a celulose bacteriana (CB) tem ganhado destaque por sua pureza, biodegradabilidade, biocompatibilidade e ausência de citotoxicidade (Gregory *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2025). A CB é um polímero linear cuja fórmula molecular é igual ao da celulose oriunda das plantas. É produzida por bactérias aeróbicas e possui propriedades físico-químicas adequadas para diversas aplicações, como biomédicas, no setor de embalagem de alimentos, dentre outras (Azeredo *et al.*, 2019; Garrido-Romero *et al.*, 2022).

O gênero *Komagatibacter* consiste em uma das espécies de bactérias que sintetizam a CB de forma extracelular (Supian *et al.*, 2025), considerada mais pura do que as celuloses que derivam de plantas, e se distingue destas quanto a sua estrutura fibrosa. A CB tem apresentado características que a torna única, como alta porosidade e estrutura nanofibrilar, capacidade de reter água, cristalinidade e maior grau de polimerização, bem como elevada resistência mecânica e à tração (Chuntao *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2017).

A biossíntese da CB ocorre através da introdução de microrganismos em um meio de cultura que seja favorável ao seu crescimento e desenvolvimento, os meios de cultura utilizados são os sintéticos convencionais, como o Hestrin-Schramm (HS), que utilizam fontes de carbono (como a glicose) e nitrogênio relativamente caras (Gottschalk *et al.*, 2021). Dentre as possibilidades de microrganismos destacam-se as bactérias de ácido acético, que formam uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras que metabolizam o açúcar e formam um biofilme superficial constituído de nanofibrilas. Estudos recentes têm explorado o uso de resíduos agrícolas e industriais, tais como cascas de frutas, resíduos de fermentação e subprodutos do biodiesel, como substratos econômicos para a produção de CB em escala industrial, reduzindo custos e impactos ambientais (Azeredo *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2017; De Carvalho *et al.*, 2025; Kadier *et al.*, 2021).

Um exemplo relevante de resíduo com potencial valor agregado é o SCOPY (do inglês *symbiotic culture of bacteria and yeast*), subproduto da fermentação da bebida Kombucha que consiste em fonte renovável de CB que pode ser aplicado em filmes antimicrobianos, curativos, membranas de filtração e na indústria têxtil (De Melo *et al.*, 2024; Aung & Kim, 2024).

Kombucha é uma bebida fermentada tradicional, nativa do Sudeste Asiático, e que apresenta sabor levemente adocicado e ácido. É historicamente obtida pela fermentação do chá de *Camellia sinensis* em um meio contendo SCOPY, uma cultura simbiótica de bactérias de ácido acético (dos gêneros *Komagataeibacter*, *Gluconobacter* e *acetobacter*) e ácido láctico (gêneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*). Esses microrganismos, durante o processo de fermentação, que dura de 7 a 21 dias, formam um biofilme flutuante na superfície (Ahmed *et al.*, 2020; Mousavi *et al.*, 2020; Soto *et al.*, 2018).

As características da Kombucha variam muito, pois depende das condições de fermentação, como temperatura, duração da fermentação, local e escolha do fermentador. Durante a fermentação, a comunidade microbiana exibe variabilidade significativa devido às diferenças na composição do substrato, parâmetros ambientais e localização geográfica. Além disso, fatores como matérias-primas, fontes de açúcar e disponibilidade de oxigênio desempenham papéis cruciais na formação da comunidade microbiana da kombucha (Li *et al.*, 2024; Morales, 2020).

No decorrer da fermentação, são produzidos, além do ácido acético, outros compostos relevantes, como etanol e ácido láctico (Mfopa *et al.*, 2024). Tais metabólitos, associados à atividade do consórcio microbiano, estão relacionados a benefícios para a saúde já comprovados, incluindo o controle do estresse oxidativo, a atividade antimicrobiana e o auxílio no tratamento e prevenção do diabetes (Miranda *et al.*, 2022).

A CB tem se destacado como um material promissor, impulsionando a inovação em embalagens sustentáveis e funcionais. Na indústria alimentícia, seu uso é estratégico por agregar valor aos produtos, uma vez que favorece a conservação, prolonga a vida útil da prateleira e, consequentemente, contribui para a redução do desperdício. Essa versatilidade a consolida como uma alternativa de alto desempenho frente aos materiais convencionais (Garrido-Romero *et al.*, 2022). Além do setor de embalagens, a CB apresenta ampla aplicabilidade na área biomédica, destacando-se por suas propriedades de interesse em aplicações dérmicas, curativos e enxertos, bem como na substituição de vasos sanguíneos de pequeno diâmetro (Ramírez Tapias *et al.*, 2022).

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi otimizar as condições de obtenção da celulose bacteriana da Kombucha (CBK) visando o máximo rendimento e avaliar a influência do processo de purificação em suas características.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o preparo do meio de cultura utilizado na obtenção da CBK, utilizou-se chá verde (folhas e brotos) da marca Yamamotoyama, água mineral da marca Crystal, da empresa Coca-Cola Company, açúcar refinado da marca União, SCOPY e *starter* (chá fermentado por mais de 30 dias) doados pela empresa Ventanila Kombucha (Sorocaba, Brasil).

2.1 PREPARO DAS MEMBRANAS DE CBK

Seguiu-se a metodologia adaptada de Nunes *et al.* (2025). Para o preparo do chá, 1 L de água foi levado à fervura; em seguida, adicionaram-se 10 g de chá verde (*Camellia sinensis*) e mantido em infusão por 5 minutos, em seguida, o chá foi filtrado e distribuído em recipientes, aos quais foram adicionadas duas concentrações distintas de açúcar refinado (2,5 g e 10 g/100 mL), até completa solubilização.

O sistema foi mantido em repouso até atingir a temperatura ambiente, cada recipiente recebeu 10 mL de *starter* e o SCOPY como pré-inóculo. Os frascos foram vedados com papel-filtro e mantidos à temperatura ambiente por 7 a 21 dias, permitindo a fermentação e formação das membranas de CBK.

2.2 RENDIMENTO DA CBK

Ao final dos períodos de cultivo (7 e 21 dias), as membranas foram cuidadosamente removidas, pesadas e tiveram sua espessura medida em três pontos distintos com auxílio de um paquímetro digital, sendo considerado o valor médio. O rendimento foi avaliado com base na massa úmida (g) e na espessura média (mm). Esse procedimento permitiu analisar a eficiência do processo de produção em função das diferentes concentrações da fonte de carbono (açúcar refinado: 2,5% e 10%) e dos tempos de cultivo.

2.3 PURIFICAÇÃO DAS MEMBRANAS DE CBK

Após a obtenção foi necessária a aplicação de um processo de purificação da CBK, com finalidade de remover qualquer resíduo, impureza, resquícios de células vivas provenientes do processo fermentativo, garantindo uma aplicação segura, especialmente para o acondicionamento de alimentos, onde a segurança engloba tanto a inocuidade para o consumidor quanto a sustentabilidade ambiental (Morais *et al.*, 2022). O processo também será responsável por neutralizar o pH das membranas para 7, pois ao serem retiradas do cultivo estão com pH ácido, está neutralização é importante em sua aplicação (Laavanya *et al.*, 2021).

Com o objetivo de comparar e obter o melhor método de purificação da membrana, foram realizados dois diferentes tratamentos. O primeiro método foi realizado através da lavagem da CBK mergulhando as amostras em água destilada (H_2O), em temperatura ambiente, por 5 minutos, sendo denominada CBK H_2O 7 dias e CBK H_2O 21 dias. Para a purificação com hidróxido de sódio (NaOH) as amostras foram imersas em solução 0,1 M e mantidas em 80 °C durante 1 hora, recebendo as denominações CBK NaOH 7 dias e CBK NaOH 21 dias.

Após a purificação, parte das membranas de cada método foi seca em estufa até massa constante, sendo identificada com as mesmas siglas da purificação acrescidas da designação SEC. As membranas em sua forma natural (*in natura*) foram igualmente caracterizadas, recebendo a denominação NAT.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para determinar as variáveis mais significativas para as respostas analisadas (espessura em (mm) e massa em (g)), foi preparada uma matriz de planejamento fatorial 2². As variáveis independentes (fatores) foram a concentração do açúcar e o tempo de fermentação. A variável dependente (resposta) foi a espessura e a massa das membranas.

Como foram realizadas triplicatas de cada ensaio, foram calculadas a média, a variância, a variância experimental, o erro experimental, a variância e o erro do efeito, e o valor de t. Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software gratuito Octave. A fórmula da variância experimental utilizada é demonstrada na Equação 1, onde x_i refere-se aos valores observados, \bar{x} é o valor médio das observações, e n é o número de observações ou réplicas (Pereira; Pereira-filho, 2018).

$$\text{Variância} = \Sigma(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1) \quad (1)$$

Em seguida, foi determinado o erro experimental na equação 2, dado por:

$$\text{Erro experimental} = \sqrt{(\Sigma(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1))} \quad (2)$$

Já o erro de um efeito foi calculado através da equação 3.

$$\text{Erro do efeito} = (2 \times \text{Erro experimental}) / \sqrt{n \times 2^k} \quad (3)$$

Onde n e k referem-se à quantidade de réplicas realizadas. Para gerar os gráficos foi utilizado o seguinte comando no software Octave: ([efeito, porc, erro_efeito] = fabi_efeito (X,y,erro do efeito, t)), onde o X refere-se à matriz do planejamento, enquanto o y a resposta a ser analisada (espessura e massa). Os valores do erro do efeito e o valor de t foram determinados a inseridos no comando para a geração dos gráficos de porcentagem dos efeitos e de probabilidade. A porcentagem dos efeitos foi determinada através da equação 4. Para a análise estatística foi considerado um grau de confiança de 95% (Pereira; Pereira-Filho, 2018).

$$\text{Porcentagem do efeito} = \text{Efeito} / \sum(\text{Efeito}^2) \times 100 \quad (4)$$

3 CARACTERIZAÇÕES

3.1 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

As análises por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) foram conduzidas em amostras de CBK com 7 e 21 dias de cultivo, nas formas secas e *in natura*, purificadas em H₂O e NaOH. As medições foram realizadas em um espectrômetro Perkin Elmer Spectrum 65, equipado com módulo ATR, abrangendo a faixa espectral de 4000 a 400 cm⁻¹, com 16 varreduras e resolução de 4 cm⁻¹, com o objetivo de verificar a condição de purificação mais adequada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RENDIMENTO DA CBK

A Tabela 1 apresenta os valores de massa das membranas de CBK após 7 e 21 dias de cultivo e a Tabela 2, as respectivas espessuras determinadas nos mesmos períodos.

Tabela 1 - Massa das membranas de CBK obtidas em 7 e 21 dias.

Amostras	7 dias (g)			Média (g)	Desvio Padrão	21 dias (g)			Média (g)	Desvio Padrão
Refinado 2,5%	9,5	4	5,7	6,4	2,07	21,6	36,7	40	32,76	7,44
Refinado 10%	3,5	8,1	4	5,2	1,93	19,8	18,7	20,3	19,6	0,60

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Tabela 2 - Espessura das membranas de CBK obtidas em 7 e 21 dias.

Amostras	7 dias (mm)			Média (mm)	Desvio Padrão	21 dias (mm)			Média (mm)	Desvio Padrão
Refinado 2,5%	2	1,03	1,2	1,41	0,52	6,56	10,73	11,25	9,51	2,57
Refinado 10%	0,8	1,81	0,71	1,10	0,61	5,46	5,11	6,31	5,62	0,62

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

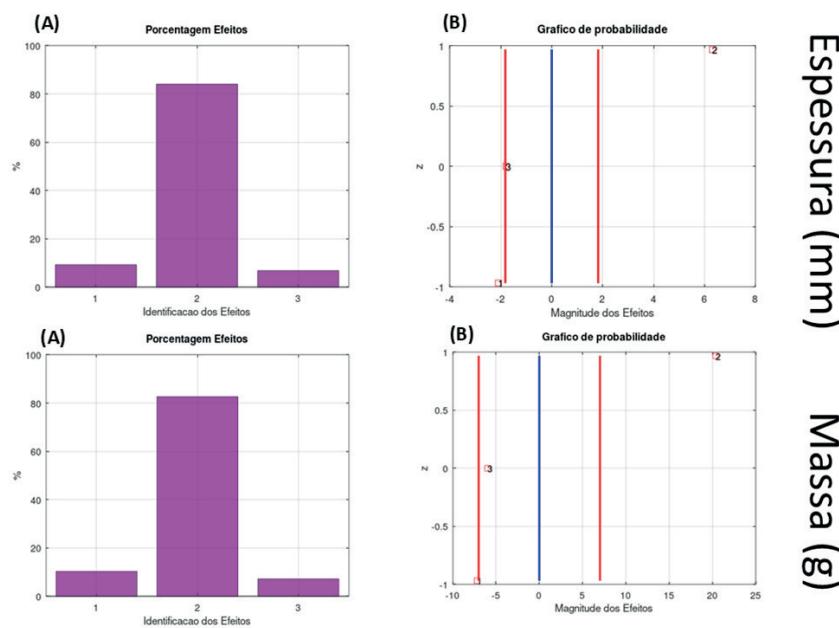
Sabe-se que a produtividade da CB depende de diversos fatores, dentre eles a composição do meio de crescimento como nutrientes (fonte de carbono, fonte de nitrogênio, microelemento, entre outros), pH, temperatura de incubação, oxigênio dissolvido, viscosidade do meio de cultivo, além do método de cultivo (estático ou agitado), inóculo e características relacionadas a essas cepas como a idade e viabilidade das mesmas (Almeida, *et al.*, 2024).

O principal fator que influenciou o rendimento da produção de CBK neste estudo foi o tempo de fermentação, de acordo com a tabela 1. Observou-se que o rendimento em 21 dias foi significativamente superior ao de 7 dias (Charoenrak, *et al.*, 2023).

Tal dado é corroborado pelos dados apresentados na Figura 1, que apresenta o gráfico de por-

centagem dos efeitos (A) e o gráfico de probabilidade (B) para a espessura e massa medidas durante o período de crescimento da CB.

Figura 1 - Gráfico de porcentagem dos efeitos (A) e de probabilidade (B) para a espessura e a massa obtidas das membranas.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

De acordo com o gráfico de porcentagem dos efeitos (A), percebe-se que, para a espessura, o tempo de fermentação foi a variável mais significativa. Identificado como Efeito número 2, sua participação foi de aproximadamente 82% dos efeitos, o que demonstra que o tempo de fermentação é crucial para o aumento da espessura das membranas. Por outro lado, a concentração do açúcar demerara, identificada como Efeito número 1, apresentou menos de 10% de participação na variação da espessura (Pereira; Pereira-Filho, 2018).

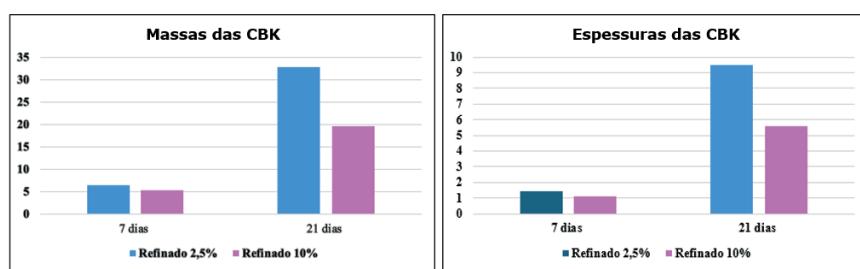
Já na análise do gráfico de probabilidade (B), nota-se que o Efeito número 1 (concentração do açúcar) tem um impacto negativo na espessura da amostra, porém é significativo, por se encontrar fora do intervalo de confiança (as linhas verticais vermelhas). Ou seja, a concentração de açúcar pode diminuir em até 2 mm a espessura das membranas. Já o Efeito número 2 (tempo de fermentação) exibe um efeito bastante significativo, onde maiores dias de fermentação (como 21 dias) podem levar a um aumento de aproximadamente 6 mm na espessura das membranas preparadas, similar ao reportado por outros trabalhos na literatura (Bodea *et al.* 2021). Por fim, o efeito número 3 (interação entre as variáveis 1 e 2) não se mostrou estatisticamente significativo (Pereira; Pereira-Filho, 2018).

Com relação ao gráfico de porcentagem dos efeitos (A) para a massa, observa-se novamente que o efeito número 2 (dias de fermentação) apresenta uma contribuição de 80% para a massa total das membranas. Por outro lado, o efeito número 1 (concentração do açúcar) demonstrou menos de 10% de participação na variação da massa aferida. Quanto ao gráfico de probabilidade (B) para a

massa, nota-se que os efeitos 1 e 3 não são estatisticamente significativos, uma vez que se encontram dentro do intervalo de confiança. Similarmente ao observado em relação à espessura, o efeito número 2 também foi estatisticamente significativo, indicando que um maior período de fermentação (como 21 dias) pode aumentar a massa das membranas em até 20 g. Tal valor é similar aos reportados na literatura, onde se obteve um rendimento de 13,85 g/L até o 15º dia (Yanti; Ahmad; Muhiddin, 2018).

Para complementar a análise dos resultados, foi elaborado um gráfico em barras, conforme apresentado na Figura 2. Esse gráfico tem como objetivo destacar visualmente as melhores condições para se obter uma membrana de CBK com uma melhor espessura e peso.

Figura 2 - Gráfico em barras das espessuras e massas das CBK.

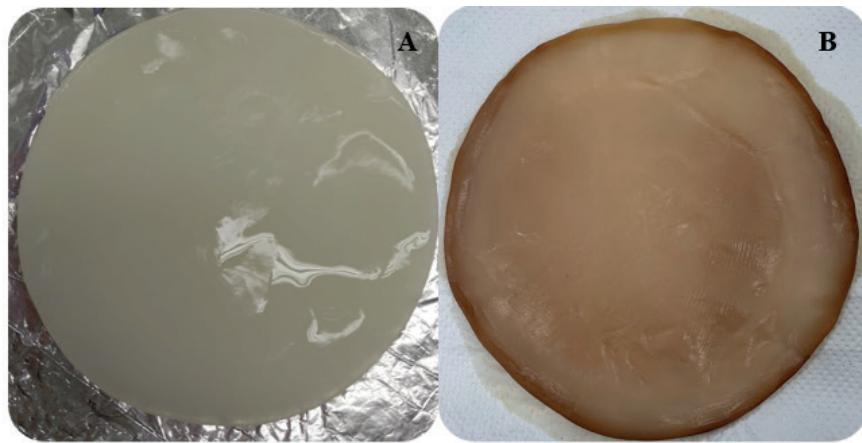


Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

4.2 OBTENÇÃO E PURIFICAÇÃO DAS MEMBRANAS DE CBK

As membranas de CBK foram produzidas a partir da fermentação da bebida Kombucha por períodos de 7 e 21 dias (Figura 3).

Figura 3 - CBK úmida (A) e seca (B) após 21 dias de fermentação.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

A diferença de pH observada entre os métodos de purificação está de acordo com o relatado na literatura. Membranas lavadas apenas com água destilada tendem a manter-se em meio ácido ($\text{pH} \sim 3,5 - 4$) devido à retenção de compostos orgânicos e ácidos residuais provenientes do processo fermentativo da Kombucha, como ácido acético, glucônico e outros metabólitos. Já o tratamento com

solução de NaOH promove a neutralização desses ácidos e a remoção de impurezas, resultando em valores próximos à neutralidade (pH ~7) (Agha, Kati, 2025, Souza, *et al.*, 2021).

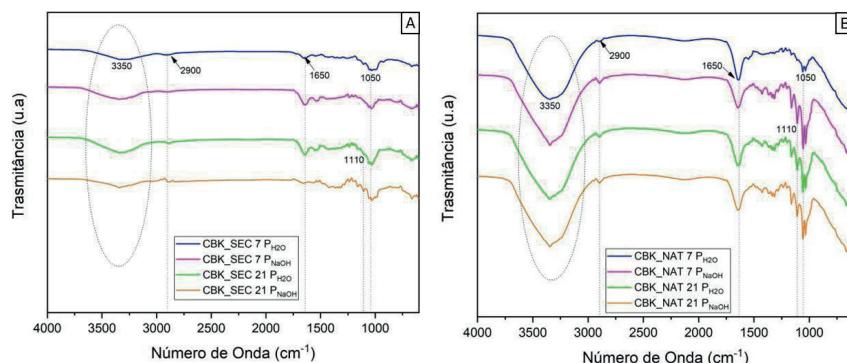
A etapa de purificação alcalina é fundamental não apenas para a estabilização do pH, mas também para garantir maior pureza da CBK, removendo microrganismos, restos de polissacarídeos e substâncias fenólicas (Souza, *et al.*, 2021).

Assim, os resultados obtidos corroboram com trabalhos anteriores, reforçando a importância do tratamento com NaOH para a obtenção de uma membrana de CBK com melhores propriedades físico-químicas e reproduzibilidade em aplicações posteriores.

4.3 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Os espectros de FTIR apresentados na Figura 4 permitem avaliar a estrutura química da CBK e verificar possíveis alterações moleculares em função do método de purificação e do tempo de cultivo. As amostras submetidas à purificação em H₂O (CBK H₂O) ou em NaOH 0,1 M (CBK NaOH) foram analisadas após cultivo de 7 e 21 dias e em duas condições: seca (SEC) (Figura 4A) e *in natura* (NAT) (Figura 4B).

Figura 4 - Espectros de FTIR das amostras de celulose bacteriana (CBK).
Em (A), amostras secas (SEC) e em (B), amostras *in natura* (NAT).



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Observa-se que o FTIR apresentou bandas características da celulose, com destaque para o estiramento O-H, em aproximadamente 3350 cm⁻¹, atribuído às hidroxilas da celulose e à água adsorvida, especialmente nas amostras *in natura* (Fig. 4B). Esta banda corresponde à vibração de estiramento O-H das moléculas de água, que se sobrepõe ao estiramento O-H da própria celulose, em concordância com Sousa *et al.*, (2021). Nas amostras de CBK secas, conforme Fig. 4A, é possível que essas bandas sejam reduzidas, possivelmente decorrente da remoção de água e resíduos celulares durante a purificação (Sederavičiūtė *et al.*, 2019).

As bandas de estiramento C-H, em torno de 2900 cm⁻¹, devido a presença de grupos CH e

CH₂ da celulose, se apresentam mais nítidas nas amostras purificadas com NaOH. Tal comportamento pode indicar aumento na ordem estrutural da celulose, refletindo um grau de cristalinidade mais elevado, frequentemente associado à remoção de impurezas (Patil *et al.*, 2024).

Na região em 1650 cm⁻¹, observa-se absorção associada tanto ao estiramento C=O de ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação (ex.: ácido acético) quanto à deformação angular de H-O-H da água residual (Kalashnikova, *et al.*, 2024). A ausência da banda em 1536 cm⁻¹ nas amostras tratadas com NaOH sugere remoção de resíduos celulares, reforçando a eficácia da purificação (Zhiyu Li *et al.*, 2023; Yuly *et al.*, 2022).

A presença de banda em torno de 1110 cm⁻¹, referente a vibração C-O-C, é característica de éteres de celulose (Oliveira *et al.*, 2015). Na região de 1050 cm⁻¹, referente às vibrações C-O de álcoois secundários e ligações éter da celulose, observa-se vibrações de alongamento das ligações glicosídicas C-O-C (Hwang, *et al.*, 2025), as amostras tratadas com NaOH apresentaram uma banda mais definida, evidenciando que a remoção de impurezas permite uma caracterização mais clara da estrutura da celulose (Barud *et al.*, 2015; Pandey *et al.*, 2024; Sederavičiūtė *et al.*, 2019).

Portanto, os resultados do FTIR demonstram que o processo de purificação com NaOH promove a remoção de resíduos celulares e compostos fermentativos, neutraliza o pH da membrana e evidencia as características estruturais da celulose, além de possivelmente aumentar seu grau de cristalinidade.

5 CONCLUSÃO

Este estudo concluiu que o tempo de fermentação constitui o fator mais crítico para o rendimento da CBK, enquanto a purificação alcalina é determinante para sua qualidade final. Um período de cultivo de 21 dias resultou na máxima produtividade.

Além disso, o tratamento com NaOH mostrou-se essencial para a remoção eficaz de resíduos fermentativos, conforme evidenciado por análises de FTIR, produzindo um biomaterial significativamente mais puro do que o obtido apenas por lavagem com água.

Assim, a estratégia mais eficiente para a obtenção de CBK de alto rendimento e elevada qualidade consiste em um cultivo prolongado seguido de purificação química com NaOH.

6 REFERÊNCIAS

AGHA, T; KATI, A. Development of functional bacterial cellulose composites from Kombucha waste for biodegradable food packaging. **Discover Applied Sciences** , v. 7, n. 8, p. 840, 2025.

ALMEIDA, A. R. *et al.* Produção de celulose bacteriana (CB) em diferentes meios a partir de culturas de kombucha. **Food Sci. Today**, v. 3, p. 20-25, 2024.

AUNG, T.; KIM, M. J. A comprehensive review on kombucha biofilms: A promising candidate for sustainable food product development. **Trends in Food Science & Technology**, v. 144, p. 104325, 2024.

AZEREDO, H. M. C; BARUD, H.; FARINAS, C. S; VASCONCELLOS, V. M.; CLARO, Amanda M. **Bacterial cellulose as a raw material for food and food packaging applications**. Front. Sustain Food Syst, 3(2019), p.7.

BARUD, H.G. O. *et al.* Preparation and characterization of a bacterial cellulose/silk fibroin sponge scaffold for tissue regeneration. **Carbohydrate Polymers**, v. 128, p. 41- 51, 2015.

BODEA, I. M. *et al.* Optimization of moist and oven-dried bacterial cellulose production for functional properties. **Polymers**, v. 13, n. 13, p. 2088, 2021.

CHAROENRAK, S. *et al.* Nanobacterial cellulose from kombucha fermentation as a potential protective carrier of *Lactobacillus plantarum* under simulated gastrointestinal tract conditions. **Polymers**, v. 15, n. 6, p. 1356, 2023.

CHUNTAO, Chen; DING, Weixiao; ZHANG, Heng; ZHANG, Lei; HUANG, Yang; FAN, Mengmeng; YANG, Jiazhi; SUN, Dongping. **Bacterial cellulose-based biomaterials: From fabrication to application**, Carbohydrate Polymers, Volume 278, 2022, 118995, ISSN 0144-8617.

COELHO, R. M. D. *et al.* Kombucha. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 22, p. 100272, 2020.

COSTA, P. D., & Biz, P. Cultivando materiais: o uso da celulose bacteriana no design de produtos. Anais do 3º Simpósio de Pós-Graduação em Design da ESDI. 2017.

DE CARVALHO, R. S. F. *et al.* Bacterial cellulose hydrogel produced by *Gluconacetobacter hansenii* using sugarcane molasses as medium: Physicochemical characterization for wound healing applications. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 9, p. 100632, 2025.

DE MELO, L. M. *et al.* Historical overview and current perspectives on kombucha and scoby: a literature review and bibliometrics. **Food Bioscience**, p. 104081, 2024.

GARRIDO-ROMERO, M; AGUADO, R; MORAL, A; BRINDLEY, Ce.; BALLESTEROS, M. From traditional paper to nanocomposite films: Analysis of global research into cellulose for food packa-

ging, **Food Packaging and Shelf Life**, Volume 31, 2022, 100788, ISSN 2214-2894.

GOTTSCHALK, L. M. F., Pires, M. C. da S., Oliveira, A. H., & Freitas-Silva, O. (2021). Produção de celulose bacteriana e suas aplicações (Documento nº 141). Rio de Janeiro: **Embrapa Agroindústria de Alimentos**. Recuperado de <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1132809>

GREGORY, D. A. *et al.* Bacterial cellulose: A smart biomaterial with diverse applications. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, v. 145, p. 100623, 2021.

HWANG, P; LIU, Yu-Ching; HSU, Fu-Yin. Enhancement of the mechanical and hydration properties of biomedical-grade bacterial cellulose using *Laminaria japonica* extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 308, p. 142688, 2025.

KADIER, A. *et al.* Use of industrial waste as sustainable nutrient sources for bacterial cellulose (BC) production: Mechanism, advances, and future perspectives. **Polymers**, v. 13, n. 19, p. 3365, 2021.

KALASHNIKOVA, O. *et al.* Production of bacterial cellulose using a symbiotic consortium of bacteria and yeast on soybean molasses medium. **LWT**, v. 205, p. 116480, 2024.

LAAVANYA, D; SHIRKOLE, S; BALASUBRAMANIAN P. Current challenges, applications and future perspectives of SCODY cellulose of Kombucha fermentation, **Journal of Cleaner Production**, Volume 295, 2021, 126454, ISSN 959-6526.

LI, C. *et al.* Recent progress of natural materials-based hydrogel for postoperative chemotherapy. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, p. 114375, 2024.

LIU, Z. *et al.* Comparison of bacterial cellulose production by various biomass wastes as culture media. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 309, p. 143091, 2025.

MFOPA, A. N. *et al.* Phenolic compounds, antioxidant and antileishmanial activities of kombucha as affected by fermentation time. **Heliyon**, v. 10, n. 22, 2024.

MIRANDA, J. F. *et al.* Kombucha: A review of substrates, regulations, composition, and biological properties. **Journal of Food Science**, v. 87, n. 2, p. 503-527, 2022.

MORAIS, M. G. C. *et al.* Potencial nutricional e biotecnológico do SCODY produzido na fermentação de chá verde. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e57511134064-e57511134064, 2022.

MORALES, D. Biological activities of kombucha beverages: The need of clinical evidence. **Trends in Food Science & Technology**, v. 105, p. 323-333, 2020.

NUNES, Graziela *et al.* Impact of Handroanthus albus extract on the bioactive composition and fermentation kinetics of kombucha. **Food Chemistry**, p. 145303, 2025.

OLIVEIRA R & Vieira, Júlia & Barud, Hernane & Assunção, Rosana & Filho, Guimes & Ribeiro, Sidney & Messadeqq, Younes. (2015). Synthesis and Characterization of Methylcellulose Produced from Bacterial Cellulose under Heterogeneous Condition. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. 26. 10.5935/0103-5053.20150163.

PANDEY, A.; SINGH, A.; SINGH, M. K. Green synthesis and optimization of bacterial cellulose production from food industry by-products by response surface methodolgy. **Polymer Bulletin**, v. 81, n. 18, p. 16965-16998, 2024.

PATIL, S. V. *et al.* Dewatering and drying of Kombucha Bacterial Cellulose for preparation of biodegradable film for food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 280, p. 136334, 2024.

PEREIRA, V; MANHAS, F; PEREIRA-FILHO, E. R. Application of free computational program in experimental design: a tutorial. **Química Nova**. São Paulo: Soc Brasileira Química, v. 41, n. 9, p. 1061-1071, 2018.

RAMÍREZ T. Y. A.; DI MONTE, M. V; PELTZER, M. A; SALVAY, A. G. Bacterial cellulose films production by Kombucha symbiotic community cultured on different herbal infusions, **Food Chemistry**, Volume 372,2022, 131346, ISSN 0308-8146.

SOUSA, L. P. dos S. B; LEITE, P. M. S. C. M; VIEIRA, A. A. FARIA, A. CCC. VIEIRA, L. Effect of water and alkali on purification bacterial cellulose membrane from Kombucha. **Research, Society and Development, [S. l.]**, v. 10, n. 15, p. e52610152326Kombucha.OI: 10.33448/rsd-v10i15.23267.

SUPIAN, Maziah *et al.* Bacterial cellulose containing antimicrobial agent from expired drinks as