

# SCOBY: FILME BIOTECNOLÓGICO DE CELULOSE BACTERIANA OTIMIZADA POR RESÍDUOS DE JERIMUM

SCOBY: BIOTECHNOLOGICAL FILM OF BACTERIAL CELLULOSE OPTIMIZED BY JERIMUM RESIDUES

Heloina Lopes Capistrano <sup>1</sup>  
Ana Rebeka Montero Lima de Souza <sup>2</sup>  
Isaac Lima Silva <sup>2</sup>

## RESUMO:

O processamento do jerimum/abóbora gera coprodutos. Outro descarte inadequado é o de polímeros sintéticos. Assim, este projeto objetivou desenvolver um filme biotecnológico utilizando celulose bacteriana cultivada usando coproduto do agroindustrial (casca) do jerimum (*Cucurbita spp.*) em alternativa aos plásticos sintéticos. A biossíntese ocorreu em cultivo estático por 10 dias, tendo como inóculo o coproduto de bebida fermentada e uma solução de 10g/L de folhas de *Camellia sinensis*. Previamente utilizaram-se sacarose e Farinha do Coproduto de Jerimum (FCJ) individualmente ou em conjunto. Após, realizou-se um planejamento fatorial 2<sup>2</sup> para avaliar as variáveis concentração de sacarose e FCJ na otimização dos filmes, tendo como respostas Espessura e Solubilidade. Os filmes membranosos foram secos em estufa a 35°C até peso constante. A melhor formulação segundo análises de caracterização apresentou 90,02% ( $\pm 0,02$ ) de Solubilidade e 0,29mm ( $\pm 0,03$ ) de espessura. Demonstrou-se a viabilidade/exequibilidade do projeto, uma vez que os filmes produzidos apresentaram fina espessura e boas taxas de degradação em água. Aplicou-se a biomembrana no desenvolvimento de uma embalagem para mudas, cujo preço orçado para venda é de R\$ 0,08. Ademais, trabalharam-se práticas sustentáveis na escola sob à luz da educação ambiental, focando na busca pelos ODS da Agenda 2030 da ONU.

**Palavras-chave:** Celulose Bacteriana. Polímeros Sintéticos. Biopolímero.

## ABSTRACT:

Pumpkin processing generates co-products. Another disposal is that of synthetic polymers. This project aimed to develop a biotechnological film using bacterial cellulose cultivated using agroindustrial co-product (peel) of pumpkin (*Cucurbita spp.*) as an alternative to synthetic plastics. The biosynthesis was carried out in static culture for 10 days, using the co-product of a fermented beverage and a solution of 10g/L of *Camellia sinensis* leaves as inoculum. Sucrose and Pumpkin Coproduct Flour (PCF) were used individually or together. A 2<sup>2</sup> factorial design was carried out to evaluate the variables sucrose concentration and FCJ in the optimization of the films, with Thickness and Solubility as answers. The films were dried in an oven at 35°C until constant weight. The best formulation according to characterization analyzes showed 90.02% ( $\pm 0.02$ ) of solubility and 0.29mm ( $\pm 0.03$ ) of thickness. The viability/feasibility of the project was demonstrated, since the films had thin thickness and good rates of degradation. The biomembrane was applied in the development of a packaging for seedlings, whose budgeted sale price is R\$ 0.08. In addition, sustainable practices were worked on at school in the light of environmental education, focusing on the pursuit of the SDGs of the UN 2030 Agenda.

**Keywords:** Bacterial Cellulose. Synthetic Polymers. Bio-Polymer.

1. Especialista em Gestão Ambiental (UVA). Graduada em Licenciada Específica em Biologia pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA). Docente na EEMTI Marconi Coelho Reis.

2. Estudante da Escola de Ensino Médio em Tempo Integral Marconi Coelho Reis.

## 1. INTRODUÇÃO

Os plásticos sintéticos derivados do petróleo, fonte não renovável, apresentam o entrave da poluição ambiental quando considerado o descarte pós-consumo. O mundo produz aproximadamente 150 milhões de toneladas de lixo plástico por ano e desse total cerca de 9% são reciclados (SHFQAT, *et al.*). O aumento no consumo de polímeros não renováveis desencadeou uma situação em que a capacidade de tratar os resíduos produzidos é inferior à capacidade produtiva da cadeia de plásticos (SOUZA, *et al.*).

Em contrapartida, esse tipo de material apresenta vantagens práticas como baixo custo de obtenção e ampla gama de aplicações, o que o torna amplamente empregado. Assim, uma alternativa sustentável a esse tipo de material é constituída pelos filmes plástico biodegradáveis. Esse material tem a degradação realizada por ação de microrganismos e de agentes físicos como contato com água e outras intempéries (BRITO *et al.*).

Dentre os métodos tradicionais de obtenção de filmes plásticos biodegradáveis, destaca-se o método *casting*. Este se caracteriza pela deposição de uma solução filmogênica sobre uma superfície vítrea, com posterior espalhamento da solução (MALI, GROSDMANN, YAMASHITA, 2010). Em contra partida, a maioria dos filmes biodegradáveis a base de amido sofrem limitações de aplicação pelas propriedades intrínsecas do material, como caráter hidrofílico e suscetibilidade ao fenômeno de retrogradação (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Assim, uma nova possibilidade é a utilização de rotas biotecnológicas como processos inovadores para obtenção de filmes plásticos biodegradáveis. Sob esta ótica, destaca-se o uso de microrganismos produtos de celulose bacteriana. Este biopolímero pode ser usado como uma alternativa sustentável material sintético e é uma opção inovadora aos plásticos derivados do petróleo (DUARTE, 2021). A celulose bacteriana (CB) é composta por uma cadeia linear de unidades de  $\beta$ -D-glicose com ligações  $\beta$  1-4, se assemelhando à celulose vegetal (HUANG *et al.*), sendo um promissor biomaterial para aplicações funcionais. Apesar da semelhança estrutural molecular, a celulose bacteriana difere da celulose vegetal por ser livre de lignina e hemicelulose. Além disso, o material obtido por rota biotecnológica possui alto índice de cristalinidade, bem como propriedades mecânicas singulares (LI *et al.*). Nesse sentido, o uso de CB é viável para substituir os plásticos sintéticos, pois suas características mecânicas e físico-químicas superam as dos filmes biodegradáveis de amido.

Sob outra perspectiva, evidencia-se também o acúmulo de coprodutos/resíduos agroindustriais advindos do processamento de vegetais/frutos para obtenção de sucos, polpas, e outros produtos. Esses coprodutos são, na maioria das vezes, destinados incorretamente à lixões e/ou descartados a seu aberto, gerando impactos ambientais e sanitários, como a redução da demanda bioquímica de oxigênio em corpos hídricos e servir de abrigo para proliferação de potenciais vetores de doenças, como baratas e moscas.

Além da ampla produção e geração de produtos processados, a popularização dos produtos minimamente processados (tais como vegetais e frutas descascados e porcionados) como no caso do Jerimum/Abóbora também desafiam a pesquisa ambiental a propor novas alternativas de (re)aproveitamento deste material. Assim como a indústria de alimentos, a produção de bebidas fermentadas também gera coprodutos com potencial para serem reaproveitados. Sob esta perspectiva, este projeto se justifica pela necessidade conjunta de apresenta uma solução sustentável, ecológica e economicamente viável para as problemáticas apresentadas anteriormente.

Desta forma, o aproveitamento de coprodutos agroindustriais de jerimum (*Cucurbita moschatata*) e da fermentação da bebida kombucha (uma bebida doce fermentada de origem asiática, à base de chá verde

e/ou chá preto] como meio de cultivo para obtenção de celulose bacteriana é uma alternativa criativa e inovadora para obtenção de um novo modelo de filme plástico biodegradável.

A pesquisa tem como objetivo Desenvolver novos filmes plásticos biodegradáveis de Celulose Bacteriana (CB) a partir do reaproveitamento de resíduo da fermentação da indústria de bebidas (kombucha), como cultura starter e Farinha da Casca de Jerimum (FCJ) como fonte de sacarídeos, usando uma rota biotecnológica sendo um método criativo, inovador e sustentável.

Sob a perspectiva de trabalhar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, no âmbito da educação ambiental a partir da interação escola- comunidade em uma abordagem transversal e multidisciplinar, o projeto objetivou de forma específica:

- Caracterizar as membranas/filmes de celulose bacteriana;
- Otimizar as condições de produção de CB a partir do reaproveitamento de coprodutos agroindustriais utilizando métodos estatísticos (Planejamento fatorial e Metodologia de Superfície de Resposta)
- Calcular os custos de produção da biomembrana;
- Aplicar a biomembrana em produtos com aplicações sociais e ambientais, visando promover impactos sociais positivos, em especial na síntese de embalagens para mudas, comercializadas em Cascavel-CE.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Propostas biodegradáveis aos plásticos sintéticos vem sendo objeto de diversas pesquisas, tendo no amido um dos principais possíveis substitutos do petróleo para produção de plásticos (COPELAND *et al.*). Fontes de amido como batata e mandioca vêm sendo exploradas no desenvolvimento tecnológico de filmes plásticos biodegradáveis, com funcionalidades voltadas para o setor de alimentos.

O amido apresenta características como amplas fontes de obtenção e baixo custo (OLIVEIRA, 2010). Porém, as propriedades dos filmes à base de amido podem ser melhoradas quando a esses materiais são incorporados outros polímeros sintéticos (JIANG *et al.*). Um entrave, no entanto, é a perda da funcionalidade ambiental pois quando adicionados componentes sintéticos o material deixa de ser biodegradável (JIANG *et al.*). Além disso esses filmes, apresentam baixas propriedades mecânicas, limitando o seu uso. Em contrapartida, a Celulose Bacteriana (CB) é um biopolímero com alto potencial para substituir plásticos sintéticos, pois é uma fonte renovável e um material com propriedades únicas (ANDRIANI; APRIYANA; KARINA, 2020).

A CB pode ser sintetizada por diversos gêneros de bactérias, como *Komagataeibacter* (LIMA *et al.*), *Rizhobium* (ROBLEDO *et al.*), *Sarcina* (YANG *et al.*), *Alcaligenes* (FIEDLER; FÜSSEL; SATTler, 1989), *Agrobacterium* (BARNHART *et al.*), entre outros. A síntese da CB ocorre através de uma via fermentativa através da metabolização de açúcares, como glicose e sacarose, sendo que esse processo ocorre entra membrana celular e a membrana plasmática (CAMPANO *et al.*). Segundo Barros (2021) as cadeias de glicose, após sua formação, são secretadas por poros existentes na membrana plasmática e então interagem entre si, por meio de ligações de hidrogênio, formando uma rede nanoestruturada de fibras de celulose (*ribbons*) (BARROS, 2021).

De acordo com Barros (2021) a biossíntese de CB é uma reação com multi-etapas que envolvem enzimas individuais, complexos catalíticos e proteínas reguladoras, que contêm quatro principais etapas quando a fonte de carbono é a glicose. A primeira etapa é a fosforilação da glicose pela hexoquinase, seguida pela isomerização da glicose-6-w22 fosfato (Glc-6-P) em glicose-1-fosfato (Glc-1-P) através da ação da fosfoglicomutase. Posteriormente, ocorre a formação da uridina-difosfato-glicose (UDP-Glic ou UDPG)

através da ação da UDPG- pirofosforilase (UGPase), e a quarta etapa é a reação de síntese da celulose (BARRROS, 2021). Em relação às diferenças da celulose vegetal, o composto sintetizado por microrganismos apresenta biocompatibilidade, elevada resistência mecânica, alta biodegradabilidade, elevada pureza e atoxicidade (ANDRIANI; APRIYANA; KARINA, 2020; CHAWLA *et al.*; PACHECO *et al.*), o que a torna um excelente produto para elaboração de filmes plásticos biodegradáveis. Tal justificativa é embasada ainda pelo fato de a CB possuir a característica de moldabilidade, ou seja, capacidade de se adequar a diferentes formatos, dependendo das condições de cultivo (BARRROS, 2021).

Para produção de CB de maneira convencional, utilizam-se cepas isoladas dos microrganismos. Uma possibilidade de baratear esse processo e possibilitar seu uso e aplicação em escala comunitária é a utilização do resíduo/coproduto de uma bebida fermentativa que vem se popularizando no Brasil e que está dentro das tendências atuais do mercado: a Kombucha. Essa bebida é resultado da fermentação de uma associação simbiótica de bactérias (primordialmente por bactérias acéticas) e leveduras, onde se forma uma película chamada *SCOBY* (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts*), que realizam várias reações bioquímicas durante sua fermentação. (CHEN *et al.*). No *SCOBY* tem-se a presença de bactérias acéticas (especialmente dos gêneros *Gluconactobacter*, *Acetobacter*) e as leveduras *Zygosaccharomyces* e *Brettanomyces* (JAYABALAN, 2016; GAGGIA *et al.*). A utilização da farinha das cascas de jerimum é uma alternativa para implementar fontes de sacarídeos ao meio de cultivo, possibilitando o reaproveitamento desse material como auxiliador na cinética de formação da CB.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Síntese da Biomembrana

##### 3.1.1 Produção da Farinha da Casca do Jerimum (FCJ)

As cascas de jerimum (*Curcubita moschata*) foram obtidas no comércio local da cidade de Cascavel-CE e levadas até o laboratório de Biologia da EEMTI Marconi Coelho Reis, aonde foram sanitizadas por imersão em solução contendo cloro ativo 220 ppm por 15 minutos, para evitar contaminação durante o corte. Posteriormente, o material foi seco e triturado liquidificador/processador doméstico e peneirado, obtendo-se a FCJ.

##### 3.1.2 Síntese da Biomembrana em Cultivo Estático

A erva *Camellia sinensis* foi adicionada em um recipiente com água fervida [concentração de 10g/L] durante 5 minutos de infusão. A infusão foi coada e tratada com as fontes de sacarídeo (descritas na Figura 01) e agitada até sua dissolução conforme descrito por Paludo (2017). O processamento cumpriu as seguintes etapas: Pesagem dos materiais (chá, açúcar e inóculo) → Aquecimento da água → Infusão → Filtração → Adição de açúcar → Resfriamento → Adição do inóculo → Fechamento do biorreator e cobertura do bocal → fermentação (PALUDO, 2017).

O inóculo do resíduo da bebida fermentada compreendeu 10% do volume total de cada biorreator, adicionado após o sistema resfriado à temperatura ambiente. Os meios de cultura fermentaram por 10 dias, tendo como variável resposta a formação dos *SCOBY* (celulose bacteriana).

##### 3.1.3 Planejamento experimental

Realizou-se um Planejamento Fatorial completo para avaliar as variáveis concentração de glicose e de FCJ na otimização da síntese da biomembrana, tendo como respostas solubilidade e espessura.

**Tabela 1** – Níveis codificados e reais utilizados no planejamento fatorial.

	<b>Sacarose</b>	<b>FCJ</b>	<b>Sacarose (g)</b>	<b>FCJ (g)</b>
1	-1	-1	10	20
2	0	-1	10	34
3	-1	+1	15	20
4	+1	0	15	34
5	-1,41	+1	9,46	27
6	+1,41	-1	16,53	27
7	0	-1,41	13	17,10
8	0	+1,41	13	36,8
9 [C]	0	0	13	27
10 [C]	0	0	13	27
11 [C]	0	0	13	27

Fonte: elaborada pelos próprios autores, 2022.

## 3.2 Caracterização dos filmes de celulose bacteriana

### 3.2.1 Espessura

A espessura foi determinada através da média das medidas em 12 pontos aleatórios dos filmes utilizando Micrômetro Digital Starret Modelo 734FXL-1 com precisão de 0,001 mm e resolução de 0 a 25 mm.

### 3.2.2 Solubilidade em água

Foram preparados 11 corpos de prova com 30mm de diâmetro, estes foram pesados em uma balança de precisão Uni Blac (AUW320) SHIMADZU. As amostras foram colocadas em Erlenmeyers com 50 ml de água e acondicionados em uma incubadora (SHAKER SL 22) com agitação de velocidade u89.0 por 24 horas. Procedida a filtragem a solução obtida foi colocada em uma estufa de secagem e esterilização (TE-393/1) TECNAL por 105°C por 24 horas, ao final foi realizada a pesagem e realização do cálculo de solubilidade em água.

### 3.2.3 Umidade

A análise consistiu na pesagem de 11 corpos de provas e secagem à 105°C por 24h em estufa Tecnal, Brasil, TE-393/1 (Standard methods, 1967) até obtenção de peso constante.

### 3.2.4 Propriedades mecânicas

As amostras (12 cm [comprimento] x 1,5 cm [largura]) foram submetidas a ensaios de tração para determinação do módulo de elasticidade e tensão de ruptura, assim como definição da deformação específica em função das tensões aplicadas utilizando equipamento EMIC BL30000 (ASTM D882-09, adaptada).

### 3.2.5 Permeabilidade ao vapor d'água

Os filmes foram cortados em corpos de prova circulares com 30 mm de diâmetro. Utilizando micrômetro digital foram realizadas 8 medidas em pontos distintos de cada corpo de prova, e feita a pesagem em balança de precisão. Os corpos de prova foram afixados às cápsulas de permeação com 2ml de água e acondicionados em dessecador contendo sílica. A cada 1 hora foram procedidas pesagens para a observação da perda ou ganho de massa.

### 3.3 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à uma Análise de Variância (ANOVA) de fator único e as médias submetidas ao Teste de Tukey, a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

### 3.4 Custos

Os custos de obtenção dos filmes foram calculados utilizando o método de custeio por absorção e para estimativa do preço de venda foi utilizado método Mark up (MENDES, 2009), com o acréscimo de impostos e margem de comercialização de 10% cada.

## 4. RESULTADOS DA PESQUISA

### 4.1 Produção da farinha da casca do jerimum (FCJ) e preparação dos filmes plásticos biodegradáveis

Os filmes mostraram-se homogêneos maleáveis e sem ranhuras/rachaduras em sua superfície. Assim, os coprodutos de jerimum atuaram como fonte suplementar de carbono na síntese dos filmes de celulose bacteriana.

A partir dos resultados observados no ensaio prévio foram definidos os níveis mínimos [-1], máximo [+1] e os pontos centrais [0] e axiais [-1,41 e +1,41] para incorporação de sacarose e da Farinha da Casca de Jerimum (FCJ). Essa variabilidade possibilitou estudar o efeito desses insumos na obtenção dos filmes de celuloses e das características finais do produto, possibilitando, em consórcio com as análises estatísticas empregadas no tratamento de dados, selecionar a amostra com melhores propriedades para serem utilizadas na elaboração de produtos como envoltórios para mudas, embalagens etc. Nas Tabelas 02 e 03 estão sintetizados os resultados de caracterização e propriedades mecânicas dos filmes biotecnológicos obtidos com o planejamento fatorial.

**Tabela 2 – Resultados de caracterização dos filmes de celulose bacteriana.**

Ensaio	Espessura (mm)	PVA (g.mm/ kPa.h.m <sup>2</sup> )	Umidade (%)	Solubilidade (%)
1	0,29 ± 0,01 <sup>ab</sup>	7,51 ± 0,04 <sup>e</sup>	14,92 ± 0,05 <sup>c</sup>	90,26 ± 0,01 <sup>bf</sup>
2	0,31 ± 0,01 <sup>c</sup>	8,40 ± 0,00 <sup>f</sup>	15,00 ± 0,58 <sup>cd</sup>	90,08 ± 0,13 <sup>af</sup>
3	0,28 ± 0,01 <sup>a</sup>	8,05 ± 0,00 <sup>a</sup>	14,00 ± 0,06 <sup>b</sup>	90,36 ± 0,01 <sup>bcd</sup>
4	0,29 ± 0,03 <sup>bc</sup>	6,62 ± 0,00 <sup>bc</sup>	16,00 ± 0,06 <sup>d</sup>	90,02 ± 0,02 <sup>e</sup>
5	0,29 ± 0,00 <sup>abc</sup>	6,46 ± 0,10 <sup>b</sup>	15,10 ± 0,06 <sup>c</sup>	90,03 ± 0,01 <sup>bc</sup>
6	0,30 ± 0,01 <sup>abc</sup>	8,82 ± 0,00 <sup>g</sup>	14,00 ± 0,12 <sup>b</sup>	90,44 ± 0,01 <sup>d</sup>
7	0,29 ± 0,00 <sup>abc</sup>	6,81 ± 0,01 <sup>c</sup>	13,12 ± 0,51 <sup>ab</sup>	90,33 ± 0,01 <sup>bcd</sup>
8	0,28 ± 0,00 <sup>ab</sup>	6,40 ± 0,23 <sup>d</sup>	12,00 ± 0,06 <sup>e</sup>	90,17 ± 0,01 <sup>af</sup>

Ensaio	Espessura (mm)	PVA (g.mm/ kPa.h.m <sup>2</sup> )	Umidade (%)	Solubilidade (%)
9 (C)	0,29 ± 0,00 <sup>abc</sup>	7,98 ± 0,05 <sup>a</sup>	13,01 ± 0,07 <sup>a</sup>	90,39 ± 0,01 <sup>cd</sup>
10 (C)	0,29 ± 0,00 <sup>abc</sup>	7,98 ± 0,05 <sup>a</sup>	13,01 ± 0,06 <sup>a</sup>	90,06 ± 0,00 <sup>ae</sup>
11 (C)	0,29 ± 0,00 <sup>abc</sup>	7,98 ± 0,00 <sup>a</sup>	13,00 ± 0,12 <sup>a</sup>	90,11 ± 0,01 <sup>ae</sup>

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferiram significativamente pelo teste de Tukey à 95% de confiança.

Fonte: Elaborada pelos próprios autores, 2022.

**Tabela 3** – Resultados das análises de propriedade mecânicas dos filmes de celulose Bacteriana.

Ensaio	Módulo de Elasticidade (MPa)	Elongamento na ruptura (%)	Resistência à Tração (MPa)
1	69,71 ± 0,01 <sup>a</sup>	24,93 ± 0,01 <sup>a</sup>	46,03 ± 2,13 <sup>d</sup>
2	79,14 ± 0,01 <sup>b</sup>	26,39 ± 0,01 <sup>b</sup>	45,05 ± 0,82 <sup>d</sup>
3	58,62 ± 0,02 <sup>c</sup>	19,39 ± 0,01 <sup>c</sup>	62,14 ± 1,01 <sup>c</sup>
4	106,65 ± 0,02 <sup>d</sup>	19,79 ± 0,01 <sup>d</sup>	67,76 ± 5,50 <sup>c</sup>
5	52,68 ± 0,02 <sup>e</sup>	22,49 ± 0,01 <sup>e</sup>	64,21 ± 1,11 <sup>c</sup>
6	62,04 ± 0,02 <sup>f</sup>	23,59 ± 0,01 <sup>f</sup>	32,95 ± 0,79 <sup>b</sup>
7	35,09 ± 0,01 <sup>g</sup>	31,09 ± 0,01 <sup>g</sup>	24,83 ± 0,14 <sup>a</sup>
8	37,94 ± 0,01 <sup>h</sup>	33,18 ± 0,02 <sup>h</sup>	26,16 ± 0,05 <sup>a</sup>
9(C)	43,55 ± 0,03 <sup>i</sup>	20,40 ± 0,01 <sup>i</sup>	30,10 ± 0,00 <sup>ab</sup>
10(C)	46,93 ± 0,01 <sup>j</sup>	26,60 ± 0,30 <sup>j</sup>	30,31 ± 2,11 <sup>ab</sup>
11(C)	47,84 ± 0,01 <sup>k</sup>	31,22 ± 0,04 <sup>k</sup>	26,53 ± 1,03 <sup>a</sup>

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferiram significativamente pelo teste de Tukey à 95% de confiança.

Fonte: Elaborada pelos próprios autores, 2022.

A Figura 01 ilustra os filmes biotecnológicos obtidos com o planejamento experimental:

**Figura 1** – Filmes de Celulose Bacteriana cultivada com coprodutos de jerimum



Fonte: Elaborada pelos próprios autores, 2022.

**Figura 1** – Filmes de Celulose Bacteriana cultivada com coprodutos de jerimum

Fonte: Elaborada pelos próprios autores, 2022.

## 4.2 Discussão

Os filmes de celulose bacteriana apresentaram espessura variando entre 0,28 e 0,31mm. Silva *et al.*) ao desenvolverem e analisarem filmes biodegradáveis a partir de amido de milho com subproduto de broto, encontram valores de espessura entre 0,16 e 0,31 mm, próximos aos encontrados neste trabalho. Todas as formulações apresentarem solubilidade superior a 90%, o que denota alto nível de degradação em água. Silva *et al.* encontraram valores de solubilidade em água para filmes elaborados com amido e subprodutos de broto variando entre 14,07 e 19,12%, enquanto os resultados encontrados neste trabalho apontam para altas taxas de solubilização sem a necessidade de acidificação ou alcalinização do meio para degradação do material.

A análise de variância à 5% de significância, demonstrou que as amostras são estatisticamente diferentes. Assim, o filme biodegradável obtido indicado através da melhor formulação segundo as análises de caracterização apresentou Módulo de Elasticidade 106,65 MPa ( $\pm 0,02$ ), Resistência à Tração de 67,76 MPa ( $\pm 5,50$ ), 90,02% ( $\pm 0,02$ ) de Solubilidade, 16,00% ( $\pm 0,06$ ) de Umidade, 6,62 g.mm/k.Pa.h.m<sup>2</sup> ( $\pm 0,00$ ) de Permeabilidade ao Vapor d'água e 0,29mm ( $\pm 0,03$ ) de espessura. Valores similares aos plásticos convencionais apontados na literatura.

O produto obtido é uma película plástica à base de celulose bacteriana, com alta resistência mecânica, flexibilidade e com alto potencial de aplicação em substituição aos plásticos convencionais derivados do petróleo. Trata-se de uma alternativa sustentável, ecológica, de baixo custo e de fácil replicação para diminuir a produção e o consumo de plástico na comunidade, auxiliando o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. O funcionamento do produto segue o mesmo dos plásticos sintéticos derivados do petróleo podendo ser usados como matéria prima para confecção de embalagens, roupas, sacos, curativos e diversas aplicações tendo em vista a pureza e a facilidade de purificação da Celulose Bacteriana (CB).

Além disso, o produto se destaca pela sustentabilidade ao utilizar resíduos da indústria de bebidas e da indústria da produção de vegetais e de bebidas, para geração de um compósito com alto valor agregado e diversas aplicações. O preço de comercialização orçado usando o método denominado Mark up (MENDES, 2009), com o acréscimo de impostos e margem de comercialização de 20% foi de R\$0,08 por embalagem de muda elaborada (Figura 04).

**Figura 2** – Aplicação do filme de celulose bacteriana no acondicionamento de mudas.



### 4.3 Educação ambiental

Com as atividades do projeto, os estudantes desenvolveram um olhar sensível e pensante sobre o meio ambiente. Além disso, aplicaram os conhecimentos das disciplinas da BNCC na elaboração de um produto sustentável, elaborado com coprodutos agroindustriais para minimizar os impactos dos plásticos sintéticos na comunidade.

Destacam-se ainda como resultados deste projeto, uma aproximação prática e contextualizada de diversas disciplinas da Base Nacional Comum Curricular, utilizadas como base para implementação das ideias e dos conteúdos necessários à construção de diversas etapas do projeto como ideação, prototipagem, experimentação e análise dos resultados. O protagonismo dos estudantes e a colaboração também foram pontos dignos de destaques durante o desenvolvimento das ações como aulas, pesquisas na comunidade, experimentação laboratorial, teste de produto e socialização dos resultados.

Além disso, os estudantes desenvolveram habilidades científicas relevantes ao relacionar diferentes fontes e informações, realizar experimentações e discutir resultados sob a ótica da análise de dados, proporcionando um ambiente pedagógico rico de possibilidades. Ademais, o projeto auxilia a implementar alguns dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU, em especial o 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), 12 (Consumo e produção responsável) e 13 (Combate às mudanças climáticas).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto apresenta grande relevância científica e social, uma vez que promove alternativas sustentáveis para mitigar impactos causados pela produção e uso de plásticos sintéticos. Ao utilizar a fermentação (rota biotecnológica) e resíduos agroindustriais para obter novos plásticos biodegradáveis de celulose bacteriana, promove-se um novo ciclo de obtenção de produto. A cultura simbiótica de bactérias e leveduras (*SCOBY*) apresenta alto rendimento e elevada cinética de multiplicação, promovendo recursos sustentáveis e renováveis para produção da celulose.

Do ponto de vista tecnológico, o projeto consegue resolver alguns entraves apresentados por outros tipos de plásticos biodegradáveis, tais como limitação de aplicação, baixa solubilidade em água e custo elevado de produção. Com os *SCOBY*, aproveitam-se resíduos/coprodutos agroindústrias e tem-se um processo otimizado e de baixo custo, gerando um produto com alta aplicabilidade.

Uma inovação no campo da ecologia no que concerne à síntese e aplicação de filmes plásticos biodegradáveis de celulose bacteriana, é o setor agrícola. Desde o plantio de muda até o transporte de produtos de origem vegetal, os plásticos sintéticos são utilizados na cadeia produtiva. Assim, o filme celulósico desenvolvido com este projeto esta maneira é de extrema relevância que sejam desenvolvidos novos plásticos biodegradáveis na perspectiva de substituir parcial ou totalmente, os ativos sintéticos comumente empregados.

A partir dos resultados obtidos, é possível afirmar que os objetivos do projeto foram alcançados, uma vez que foram desenvolvidos novos filmes plásticos biodegradáveis de Celulose Bacteriana (CB) a partir do reaproveitamento de resíduo da fermentação da indústria de bebidas (kombucha), como cultura starter e Farinha da Casca de Jerimum (FCJ) como fonte de sacarídeos, usando uma rota biotecnológica sendo um método criativo, inovador e sustentável. As membranas/filmes de celulose bacteriana foram caracterizadas e as condições de produção das mesmas a partir de coprodutos agroindustriais, foram otimizadas utilizando métodos estatísticos. Aplicou-se a biomembrana em produtos com aplicações sociais e ambientais, promovendo impactos sociais positivos, em especial na síntese de embalagens para mudas, comercializadas em Cascavel-CE.

A melhor formulação empregou os níveis +1 para sacarose e 0 para FCJ, ou seja, 15g de sacarose e 34g de Farinha da Casca de Jerimum. Tal formulação resultou em filmes com 0,29mm de espessura e 90,02% de solubilidade em água, mostrando resultado promissores e superiores ao de outros filmes biodegradáveis citados na literatura.

Salienta-se que os resultados evidenciados até este momento não restringem as possibilidades de expansão metodológica do projeto. Novas análises serão empreendidas para aprimoramento do produto desenvolvido, assim como novas práticas educativas no que concerne à busca por aplicações sustentáveis do produto junto à comunidade.

Dentre as possibilidades de continuidade do projeto está a realização de análises para determinação do potencial de aplicação da celulose bacteriana na área da saúde, como uma possível pele artificial para tratamento de queimaduras. Para isso, é necessário o emprego de práticas de purificação da celulose. Além disso, pretende-se estudar os parâmetros colorimétricos dos filmes obtidos, bem como a realização de um estudo de estabilidade dos plásticos biodegradáveis para avaliar sua taxa de degradação em diferentes condições ambientais.

---

## REFERÊNCIAS

ANDRIANI, D.; APRIYANA, A. Y.; KARINA, M. The optimization of bacterial cellulose production and its applications. **a review**. v. 27, p. 6744-6766, 2020.

BARNHART, D. M. *et al.* CelR, an ortholog of the diguanylate cyclase PleD of caulobacter, regulates cellulose synthesis in *Agrobacterium tumefaciens*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, n. 23, p. 7188-7202, 2013.

BARROS, M. O. Propriedades de celulose bacteriana: influência do tempo de fermentação em diferentes cepas de *Komagataeibacter*. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/57521/3/2021\\_dis\\_mobarros.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/57521/3/2021_dis_mobarros.pdf). Acesso em: 20 de nov. 2022.

BRITO, C. F. *et al.* Biopolímeros e polímeros verdes. **Revista eletrônica de materiais e processos**. v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

CAMPANO, C. *et al.* Enhancement of the fermentation process and properties of bacterial cellulose: **a review**. **Cellulose**, v. 23, n. 1, p. 57-91, 2016.

CHAWLA, P. R. *et al.* Microbial cellulose: Fermentative production and applications. **Food Technology and Biotechnology**, v. 47, n. 2, p. 107-124, 2009.

CHEN, S. *et al.* Mechanical properties of bacterial cellulose synthesised by diverse strains of the genus *Komagataeibacter*. **Food Hydrocolloids**, v. 81, p. 87-95, 2018.

COPELAND, L. *et al.* Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**. v. 23, p. 1527-1534, 2009.

DUARTE, E. B. Produção de nanocompósitos de celulose bacteriana e hidroxiapatita como rota para valorização de resíduos agroindustriais. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/10752>. Acesso em: 26 jul. 2021.

FRAGAL *et al.* **Polissacarídeos Reatividade de Compostos Orgânicos II**. São Paulo. 2016.

FIEDLER, S.; FÜSSEL, M.; SATTLER, K. Production and application of bacterial cellulose. I. **Microbiological Research**, v. 144, n. 7, p. 473-484, 1989.

GAGGIÀ, F. *et al.* Kombucha beverage from green, black and rooibos teas: A comparative study looking at microbiology, chemistry and antioxidant activity. **Nutrients**, v. 11, n. 1, p. 1-22, dez. 2018.

HAN, J. H. Antimicrobial food packaging. **Food Technology**, v. 54, n. 3, p. 56-65, 2000.

HUANG, Funing; LIANG, Yaodong; HE, Yongjun. On the Pickering emulsions stabilized by calcium carbonate particles with various morphologies. **Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 580, p. 123722, 2019.

JAYABALAN, R. *et al.* Kombucha. Reference Module In: **Food Science**, [S.l.], p.1-8, 2016. Elsevier. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.03032-8>. Acesso: 12.de maio 2022.

JIANG, T. *et al.* Starch-based Biodegradable Materials: Challenges and Opportunities. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, 3, 8-18. 2019.

LI, X. *et al.* Stabilization of Pickering emulsions with cellulose nanofibers derived from oil palm fruit bunch. **Cellulose**, v. 27, n. 2, p. 839-851, 2020.

LIMA, H. L. S. *et al.* Bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter hansenii* ATCC 23769 using sisal juice – an agroindustry waste. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.34, n. 3, p. 671-680, 2017.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. UEL. **Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização**. 2010. 20p. Tese (Doutorado).

MENDES, J. T. G. **Economia: Fundamentos e Aplicações**. 1ª Ed. São Paulo: Biblioteca Universitaria Pearson, Marca Prentice Hall. 2012, 184 p

OLIVEIRA, C. I. Plástico biodegradável, 2010 Disponível em: <http://profcarlaquimica.blogspot.com.br/2010/09/plastico-biodegradavel-o-lixo-urbano-e.html>. Acesso em: 12 de mai. de 2022.

PACHECO, G. *et al.* Development and characterization of bacterial cellulose produced by cashew tree residues as alternative carbon source. **Industrial Crops and Products**, v. 107, n. January, p. 13-19, 2017

PALUDO, N. **Desenvolvimento e caracterização de kombucha obtida a partir de chá verde e extrato de erva-mate: processo artesanal e escala laboratorial**. 2017. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017

ROBLEDO, M. *et al.* Role of Rhizobium endoglucanase CelC2 in cellulose biosynthesis and biofilm formation on plant roots and abiotic surfaces. **Microbial Cell Factories**, v. 11, p. 1-12, 2012.

SHAFQAT, A. *et al.* A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio-plastic: A substitute of conventional plastics. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 101540. 2020.

SILVA, M. L. T. *et al.* Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amido de milho contendo farinha de subproduto de broto. **Brazilian Journal of Food Technology**, vol. 23, 2020.

SOBRAL, P. J. A.; OCUNO, D. Permeabilidade ao Vapor de Água de Biofilmes à Base de Proteínas Miofibrilares de Carne. **Braz. J. Food Technol.**, 3:11-16, 2000.

SOUZA, R. *et al.* Cassava starch biodegradable films: influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *LWT- Food Sci. Technol.* 46 (2012) 110-117.

YANG, Y. *et al.* Isolation and characteristics analysis of a novel high bacterial cellulose producing strain *Gluconacetobacter intermedius* Cls26. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, 20.