

## UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE PARA PREPARAÇÃO DE BIOPLÁSTICOS: UMA PROPOSTA DE ECONOMIA CIRCULAR AO SETOR CERVEJEIRO

Giovanna Cassiano Azevedo Arantes<sup>a</sup>, Sandy Chaves da Silva<sup>a</sup>, Romulo Coriolano Dutra<sup>a</sup>, Adriana Linhares Drummond<sup>a</sup> e Grace Ferreira Ghesti<sup>a,\*</sup> 

<sup>a</sup>Instituto de Química, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília – DF, Brasil

Recebido em 10/08/2023; aceito em 01/12/2023; publicado na web 01/03/2024

USE OF BREWERY SPENT GRAINS FOR THE PREPARATION OF BIOPLASTICS: A PROPOSAL FOR A CIRCULAR ECONOMY TO THE BREWING SECTOR. There is a demand for new technologies to replace fossil resources in activities due to environment concerns. In the circular economy, materials to be discarded are reused and reenter to the economy. An alternative for the plastic problem would be preparation of fiber-reinforced plastics from renewable sources. Herein polymeric films were prepared with starch, glycerol and bagasse derivatives. Some characterization techniques were presented to indicate the best applications. It was identified that higher glycerol ratio films are more malleable and have a higher humidity and solubility. The DSC scans for each film shows no increase in glass transition temperature. Biodiesel films are an alternative for the circular economy of waste and the biodiesel industry, since the study proved to be an alternative for the plastics currently used. This work will certainly attract the students' interest, because the theme is in their daily lives, also bringing the precepts of sustainability and green chemistry.

Keywords: bioplastics; biopolymers; brewery spent grains; circular economy.

### INTRODUÇÃO

O plástico é um material que está no cotidiano, mesmo que despercebido. Vai desde a sacolinha do mercado a componentes de veículos. Porém, mesmo sendo um material versátil, pode causar sérios danos ao meio ambiente, do momento da sua produção ao momento do descarte.<sup>1</sup>

Mesmo com inúmeras funções, o plástico, especialmente os não-biodegradáveis, são materiais de difícil decomposição, causando o acúmulo de lixo sem destinação, poluindo solos e oceanos. Em sua grande maioria, o plástico é oriundo do petróleo, o que gera outras preocupações com relação a dependência mundial de recursos fósseis.<sup>1</sup> A solução mais simples para diminuir a poluição causada passa pela reciclagem. No entanto, a proporção de materiais plásticos reciclados no Brasil ainda é baixa, resultando na necessidade de outras rotas de uso/obtenção.<sup>2</sup>

A fim de encontrar uma solução para tais problemas, plásticos biodegradáveis, ou biopolímeros têm sido cada vez mais estudados. Plásticos biodegradáveis são plásticos produzidos com fontes renováveis ou não renováveis, mas havendo uma maior taxa de biodegradabilidade. Entretanto, os biopolímeros produzidos hoje correspondem a apenas 1% de 359 milhões de toneladas de plásticos produzidos anualmente.<sup>2</sup>

No Brasil, o projeto de Lei No. 344 de 2021 visa a proibição de comercialização de plásticos que não sejam recicláveis ou biodegradáveis.<sup>3</sup> Enquanto o projeto de Lei No. 243 de 2017 determina que os produtos industrializados só poderão utilizar plásticos biodegradáveis como insumo.<sup>4</sup> Com a previsão de obrigatoriedade imposta por tais projetos de lei, vem a necessidade de produzir plásticos biodegradáveis com menor impacto ambiental.

Outro grande problema associado a resíduos sem destinação é a quantidade de material gerado por processos agroindustriais. Com o exemplo da indústria cervejeira, onde para cada 100 L de cerveja, geram-se 20 kg de bagaço de malte (resíduo), cujo montante agrega

um passivo ambiental, uma vez que a destinação é limitada para outros fins.<sup>5</sup> Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo propor uma rota de aproveitamento das fibras do bagaço de malte em um polímero biodegradável de amido e glicerol visando os preceitos de economia circular.

### PARTE EXPERIMENTAL

A parte experimental foi iniciada com o tratamento do bagaço (Fornecido pela Stadt Cervejaria, Brasília, DF) que passou por uma secagem em uma estufa Olidef CZ por 48 h a 100 °C. Em seguida, o material passou por uma etapa de moagem, utilizando um moedor de disco da marca Arbel resultando em um bagaço com granulometria média de 25 mesh.

A etapa seguinte foi a obtenção da holocelulose para a retirada da lignina do restante do bagaço, onde foi utilizada a metodologia de Browing.<sup>6</sup> Enquanto para a obtenção da celulose, a metodologia utilizada foi a de Kennedy *et al.*<sup>7</sup> Para a preparação do amido termoplástico, foi utilizada a metodologia modificada de Dias.<sup>8</sup> Foram preparados diferentes biopolímeros com concentrações variadas de amido, glicerol e bagaço de malte a fim de encontrar a melhor combinação.

As variáveis selecionadas foram a razão mássica de glicerol e percentual de bagaço. Usando parâmetros da literatura, foi escolhida uma melhor concentração de glicerol na composição dos filmes. Entretanto, as quantidades, de aditivos e de bagaço, foram determinadas em uma faixa de 5%. A metodologia de planejamento composto central com replicatas no ponto central foi aplicada (Tabela 1). O planejamento composto central foi modelado utilizando o *software* Statistica 12 na função *design of experiment* (DOE).<sup>9</sup> As variáveis utilizadas no planejamento composto central foram: a massa de amido, a massa do glicerol, a massa de glicerol sobre a massa total de amido e glicerol (razão mássica) e a massa do bagaço de malte. Os dados encontrados estão na Tabela 1.

Foram feitos dois ensaios a parte, um utilizando somente amido e o outro utilizando somente amido e glicerol a fim de comparação. As quantidades utilizadas estão descritas na Tabela 2.

\*e-mail: grace@unb.br

**Tabela 1.** Quantidade de massa de amido, glicerol e bagaço de malte utilizados para produzir o biopolímero

Amostras	Amido (g)	Glicerol (g)	Razão mássica de glicerol	Bagaço de malte (g)
1	0,595	0,105	0,175	0,035
2	0,595	0,105	0,175	0,070
3	0,420	0,280	0,467	0,035
4	0,420	0,280	0,467	0,049
5	0,643	0,058	0,096	0,049
6	0,384	0,316	0,527	0,049
7	0,508	0,193	0,321	0,024
8	0,508	0,193	0,321	0,074
9	0,508	0,193	0,321	0,049
10	0,508	0,193	0,321	0,049
11	0,508	0,193	0,321	0,049
12	0,508	0,193	0,321	0,049
13	0,508	0,193	0,321	0,049

**Tabela 2.** Quantidade de amido e glicerol utilizados nos filmes feitos para comparação

Amostra	Amido (g)	Glicerol (g)	Razão mássica de glicerol	Bagaço de malte (g)
1	1	0	0	0
2	0,725	0,275	0,275	0

Os biopolímeros foram preparados utilizando as massas descritas na Tabela 1, depositadas em um béquer de 50 mL ao qual foram adicionados 25 mL de água. As misturas de amido, glicerol e água foram aquecidas a 80 °C e sob a agitação magnética constante durante 80 min, com o objetivo de gelatinizar a mistura de amido e glicerol e concentrar a mistura. Após o tempo de gelatinização, a solução ficou em repouso por 48 h para a formação do filme. Foram preparados biopolímeros utilizando o bagaço sem tratamento, a holocelulose (obtida do bagaço de malte) e a celulose (obtida do bagaço de malte).

Para caracterizar os filmes foi feito o teste de umidade onde as amostras foram previamente pesadas e colocadas em uma estufa a 105 °C por 24 h. A solubilidade dos filmes foi calculada após a secagem. As amostras foram colocadas em contato com 50 mL de água destilada a temperatura ambiente por 24 h sob agitação constante. Após o período determinado, as soluções foram filtradas, secas por 24 h e pesadas para determinar a porcentagem de material perdido por solubilização.

Para as análises térmicas, curvas de DSC (*differential scanning calorimetry*) foram adquiridas utilizando um calorímetro DSC-60

(marca Shimadzu), utilizando 5 mg de amostra contidas em cadinhos de alumínio, aquecidas de 50 até 150 °C, com taxa de 1 °C min<sup>-1</sup>, sob atmosfera de N<sub>2</sub>. As análises termogravimétricas foram realizadas utilizando um DTG-60 (marca Shimadzu), utilizando 5 mg de amostra, contidas em cadinhos de platina e aquecidos de 36 a 800 °C, sob taxa de 30 °C min<sup>-1</sup> e sob fluxo de N<sub>2</sub>. Os espectros de infravermelho foram obtidos utilizando um espectrômetro de infravermelho por transformada de Fourier (IV) Spectrum Two da PerkinElmer, com janela de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>, e acessório ATR.

Para o estudo da biodegradabilidade, os biopolímeros foram colocados em uma bandeja com terra e regados com água a cada 48 h, durante 30 dias utilizando a metodologia de Dias.<sup>8</sup> Os ensaios foram realizados em triplicata.

Para as imagens, foi utilizado um microscópio óptico Digilab (modelo 163046-DI-6.1). Os compósitos foram vistos no microscópio a fim de determinar a homogeneidade dos filmes em relação a porcentagem de bagaço utilizada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O bagaço residual de malte foi inicialmente caracterizado de modo a se determinar os teores de lignina (etapa de deslignificação ácida), de hemicelulose (etapa de polpação básica) e de celulose (material final). O teor de lignina foi determinado em 50,1% (m m<sup>-1</sup>). O percentual de celulose (material final) foi de 13,9%, e por subtração, o percentual de hemicelulose na amostra foi de 35,3%. A borra de café e o bagaço de grãos malteados foram estudados por Evaristo *et al.*,<sup>10</sup> com a determinação dos teores de lignina e holocelulose. A borra de café estudada apresentou concentrações de 16,1% de lignina e de 58,6% de holocelulose. Já o bagaço de grãos malteados apresentou concentração de lignina de 34,0% e de holocelulose de 44,1%. Em comparação com outros materiais lignocelulósicos residuais (Tabela 3), o bagaço de malte possui elevado teor de lignina e moderada quantidade de celulose e hemicelulose em função do consumo dos polissacarídeos simples (majoritariamente amido) presentes nos grãos durante as etapas de hidrólise. A hidrólise do amido, por sua vez, resulta no maior percentual de componentes de maior complexidade (lignina, hemicelulose e celulose) no bagaço.

No preparo dos biopolímeros, o primeiro teste utilizando somente o amido com água não resultou na formação de um filme, possivelmente devido a aderência do material à superfície da placa de Petri. Os filmes subsequentes foram preparados utilizando amido e glicerol, e por sua vez deram origem a materiais maleáveis, porém de pouca resistência a tensão mecânica.

Ao realizar a produção do biopolímero com o bagaço sem tratamento, com a celulose e a holocelulose verificou-se que o biopolímero que mais se encaixou nas características desejadas foi o biopolímero com celulose, dada a formação de um material uniforme, homogêneo e não granuloso. Nos filmes de bagaço com holocelulose é possível visualizar as fibras do material aditivo,

**Tabela 3.** Comparação de diferentes biomassas lignocelulosicas residuais

Biomassa	Lignina (%)	Holocelulose (%)	Hemicelulose (%)	Celulose (%)	Referência
Borra de soja	3,0	-	-	18,0	11
Bagaço de grãos malteados	34,0	44,1	-	-	12
Borra de café	16,1	58,6	-	-	12
Resto de poda de laranja	19,0	-	29,3	40,5	13
Bagaço de cana-de-açúcar	19,4	-	26,1	37,4	14
Cascas de arroz	23,9	61,0	13,2	46,8	15
Bagaço de malte	50,1	-	35,3	13,9	-



Figura 1. Filmes com bagaço de malte, holocelulose e celulose vistos em microscópio, com zoom de 40x

conforme o representado na Figura 1. Os dados de umidade obtidos dos biopolímeros preparados com celulose foram compilados na Tabela 4.

Tabela 4. Dados de umidade percentual dos filmes preparados com celulose

Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Umidade (%)
1	0,031	0,027	12,9
2	0,032	0,030	6,2
3	0,031	0,026	16,1
4	0,030	0,025	16,7
5	0,031	0,029	6,4
6	0,033	0,027	18,2
7	0,033	0,030	9,1
8	0,031	0,027	12,9
9	0,030	0,028	6,7
10	0,030	0,028	6,7
11	0,030	0,028	6,7
12	0,031	0,029	6,4
13	0,033	0,030	9,1

A amostra com menor umidade foi a amostra 2 com 6,25%, enquanto a amostra com maior umidade foi a amostra 6 com 18,18%. Os biopolímeros preparados possuem diferentes proporções de razão mássica de glicerol e amido, mas é importante perceber que a amostra com maior porcentagem de umidade é a que possui maior razão mássica de glicerol, independente da interferência da celulose, uma vez que as ligações hidrogênio são predominantes entre as moléculas.

Para visualizar o efeito da adição da celulose na umidade do filme obtido, utiliza-se como exemplo as amostras de mesma razão mássica de glicerol 1 e 2 (0,175). A amostra 2 dispõe de uma quantidade maior de aditivo (0,070 g) que a amostra 1 (0,035 g), e esta tem uma porcentagem menor de umidade comparada a amostra 2, mostrando que a adição de bagaço diminui a umidade do filme, por um efeito de barreira (impermeabilização) proporcionado pela celulose.

Para visualizar como a razão mássica do glicerol influencia na umidade utilizou-se como exemplo as amostras 5 e 6, que possuem a mesma quantidade de aditivo (0,049 g) e diferentes razões mássicas de glicerol. A amostra 6 possui a maior quantidade de razão mássica (0,527) entre as 13 amostras e consequentemente possui a maior umidade, isso se dá devido ao fato de o glicerol possuir três grupos hidroxilas, o que facilita a formação de ligações de hidrogênio entre os componentes e a água. Resumindo, assim como o amido, o glicerol é uma substância hidrofílica e absorve umidade que por sua vez eleva o teor de umidade no filme.

Para ser utilizado como embalagem é importante que estes filmes tenham a menor porcentagem de umidade possível, visto que

isso demonstra uma maior resistência ao ser molhado o que não afetaria caso essa embalagem fosse utilizada em produtos que podem apresentar um teor de umidade maior. Os resultados dos ensaios de solubilidade são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Porcentagem da solubilidade dos filmes de celulose

Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Solubilidade (%)
1	0,023	0,018	21,7
2	0,023	0,020	13,0
3	0,023	0,010	56,5
4	0,024	0,015	37,5
5	0,023	0,013	43,5
6	0,024	0,011	54,2
7	0,024	0,019	20,8
8	0,024	0,018	25,0
9	0,024	0,021	12,5
10	0,023	0,020	13,0
11	0,024	0,020	16,7
12	0,023	0,018	21,7
13	0,024	0,018	25,0

A amostra com menor solubilidade foi a amostra 9 com 12,5%, enquanto a amostra com maior solubilidade foi a amostra 3 com 56,5%. As amostras 9 e 3 possuem diferentes razões mássicas de glicerol (0,321 e 0,467 respectivamente) e quantidades de celulose, porém é importante perceber que a amostra com maior porcentagem de solubilidade é a que possui maior razão mássica de glicerol.

Ao comparar as amostras 1 e 2, que possuem a mesma razão mássica de glicerol (0,175) e concentrações diferentes de celulose, é possível perceber que a amostra mais solúvel é a amostra 1 que possui menor concentração de aditivo (0,035), isso é explicado pelo fato de que a celulose é menos solúvel em água.

Ao comparar as amostras 1 e 3 que possuem a mesma concentração de celulose e razões mássicas de glicerol diferentes, é possível perceber que a amostra mais solúvel é a amostra 3 que possui maior razão mássica de glicerol (0,467), pelo fato de que as hidroxilas presentes no glicerol facilitam a interação com a água, tornando-a mais solúvel.

Para a utilização em embalagens, um filme menos solúvel é mais adequado, para evitar a degradação das embalagens quando utilizadas em produtos que podem conter água ou evitar a degradação das embalagens ao serem estocadas em um ambiente não adequado, enquanto para outros fins como sacolas plásticas e canudos, que são plásticos que não necessitam de uma vida útil maior e possuem uma alta taxa de descarte incorreto, embalagens mais solúveis podem ser aconselháveis. A Figura 2 apresenta a transição vítrea da amostra de

amido e glicerol e da amostra 8, amostra com maior teor de celulose, para realizar a comparação entre as duas.

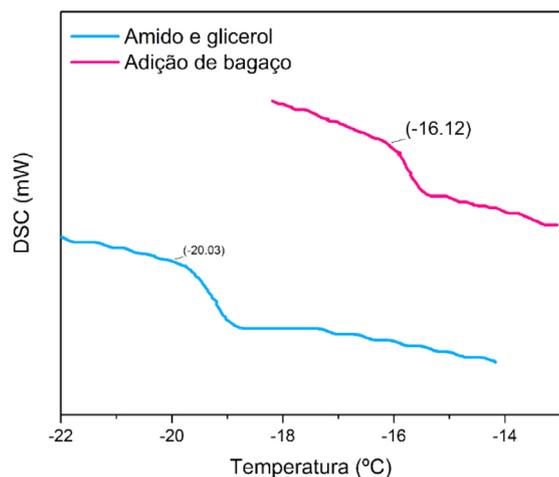


Figura 2. DSC da amostra de amido e glicerol e da amostra 8

Ao realizar a análise, foi encontrada a temperatura de transição vítrea do amido com glicerol com o valor médio de 20,03 °C e a amostra 8 com valor médio de 16,12 °C. Com isso, verificou-se um aumento de 4 °C na temperatura média, mostrando que ao adicionar a celulose ao filme ocorreu o aumento da rigidez, caracterizando um comportamento “reticulante”.

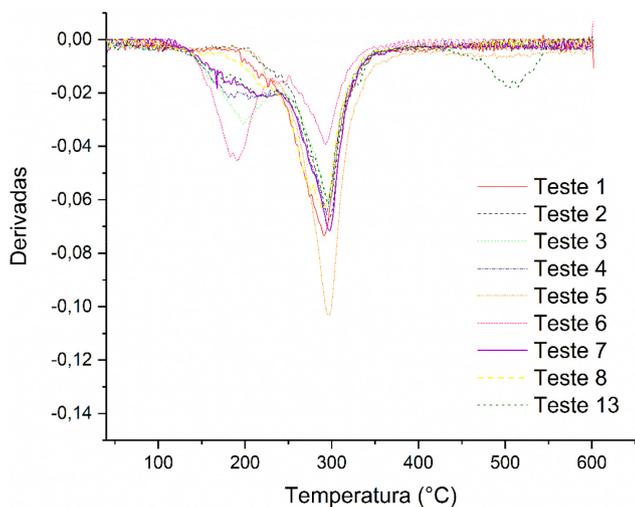


Figura 3. Curvas de DTG das amostras 1 a 8 e 13

A Figura 3 demonstra que até 300 °C os filmes apresentaram uma perda de mais da metade de sua massa. É possível notar que o teste 5 é o que possui valor de mínimo mais baixo entre as curvas, sendo este o teste com menor razão mássica de glicerol, que diminui a interação da água com o filme. Enquanto o teste 6 é o que possui valor de mínimo mais alto entre as curvas, sendo este um teste com quantidade significativa de glicerol, o que aumenta a interação do filme com a água, aumentando a umidade do mesmo. Na faixa de temperatura de 200 °C foi possível notar a degradação do glicerol, enquanto a degradação da celulose e do amido podem ser vistas em 300 °C.<sup>11</sup>

A Figura 4 demonstra os espectros de FTIR foram obtidos e as bandas identificadas foram as mesmas para todos os filmes, como já era esperado. Essas bandas estão entre 3500-3000, 500-1250 e 1250-1000 cm<sup>-1</sup>, são, respectivamente as ligações de estiramento de O-H, estiramento de C-C e estiramento assimétrico de C-O, ligações que estão presentes em todos os compostos.

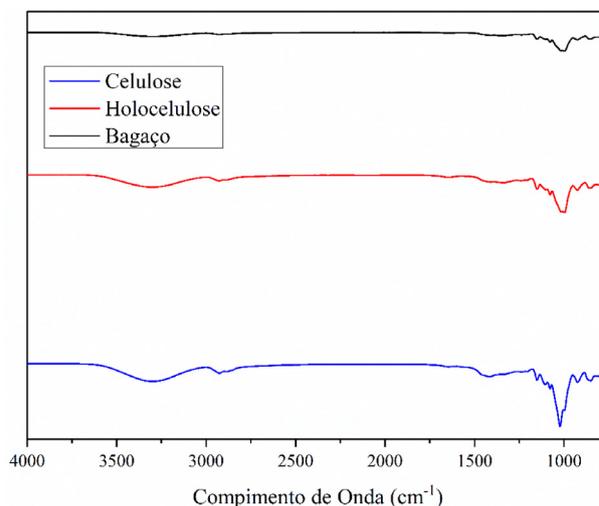


Figura 4. Espectros de FTIR das amostras possuindo bagaço, holocelulose e celulose

Tabela 6. Comprimentos de onda e ligações químicas observadas

Comprimento de onda (cm <sup>-1</sup> )	Ligações observadas
3500-3000	Estiramento O-H
1500-1250	Estiramento C-C
1250-1000	Estiramento assimétrico C-O

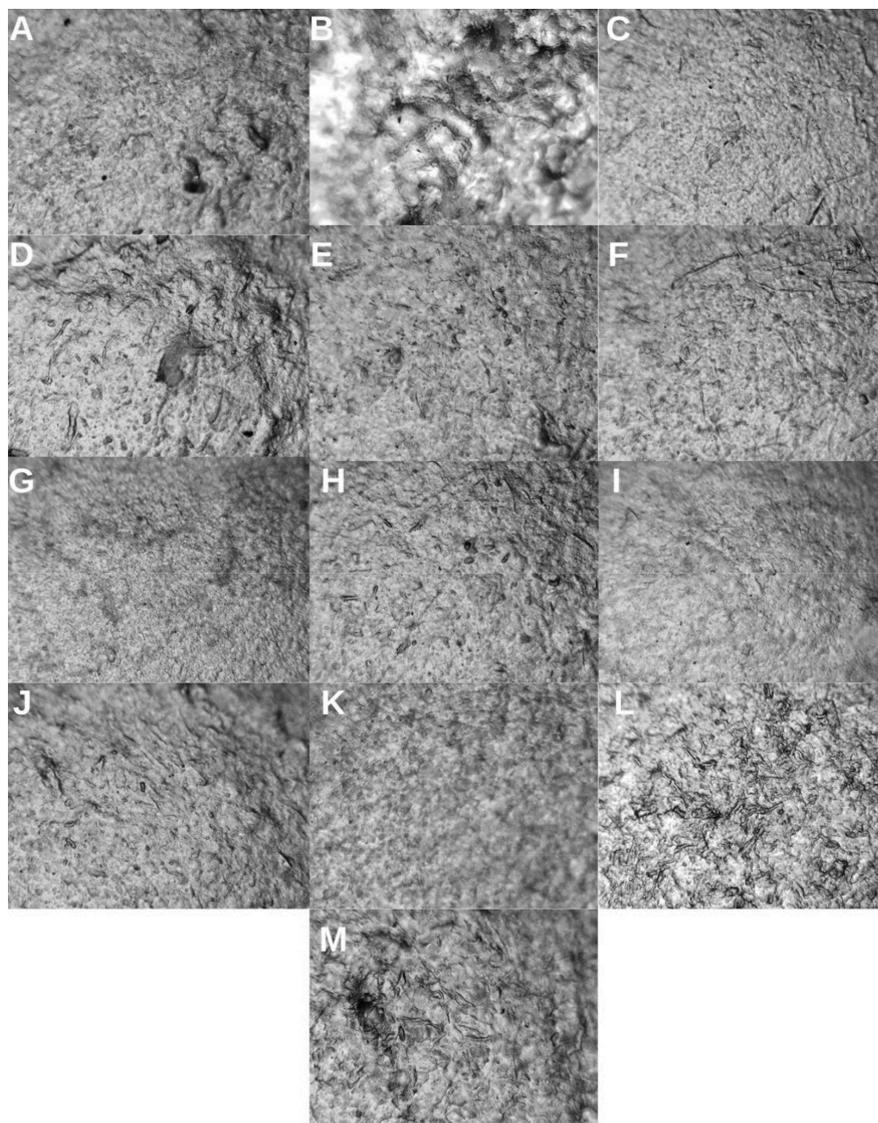
Ao realizar o teste durante o período de 30 dias e registrar a mudança a cada 48 h, observou-se que os filmes que perderam mais massa foram os compostos mais maleáveis, ou seja, os filmes que possuíam maior razão mássica de glicerol. Os filmes não perderam massa significativa na largura, a massa foi perdida na espessura dos filmes, superfície que estava em contato com a terra, o que facilitou a desintegração dos filmes.

Ao visualizar a Figura 5 pode-se distinguir que as amostras de filme adicionadas de bagaço e holocelulose são menos homogêneas que a amostra que foi adicionada celulose. As amostras que apresentam bagaço, apresentam aspecto mais rugoso (Figuras 5G e 5H), enquanto a amostra de filme adicionado de celulose possui um aspecto mais liso, homogêneo, sem muitas interferências.

Pelo microscópio, percebe-se que existem alguns pontos que não são homogêneos, principalmente na amostra 5 (Figura 5E) visto que essa possui menor razão mássica de glicerol e uma quantidade mais elevada de bagaço de malte não tratado. Ao compará-la com a amostra 4 (Figura 5D), por possuírem a mesma quantidade de bagaço, visualiza-se que é a amostra com superfície menos rugosa. A amostra 5 foi uma das com menor porcentagem de umidade (6,450%), enquanto a amostra 4 teve uma porcentagem de umidade maior (16,670%). A rugosidade foi analisada de maneira qualitativa pela homogeneidade dos filmes.

Ao comparar as amostras 3 e 4 (Figuras 5C e 5D), que possuem mesma quantidade de razão mássica de glicerol, observou-se que a amostra 4 tem uma superfície menos lisa, com aspecto mais rugoso por possuir maior concentração de bagaço. As amostras 3 e 4 têm porcentagens de umidade parecidas, isso se dá pela mesma razão mássica.

O filme mais quebradiço produzido foi a amostra 5 já que esta detém menor porcentagem de glicerol e uma quantidade relativamente alta de aditivo (0,049). Enquanto o filme mais maleável produzido é a amostra 6, com maior razão mássica de glicerol. Os filmes mais rígidos podem ser utilizados como plásticos de engradados em cervejarias, por necessitar de componentes mais resistentes, enquanto os plásticos mais maleáveis podem ser

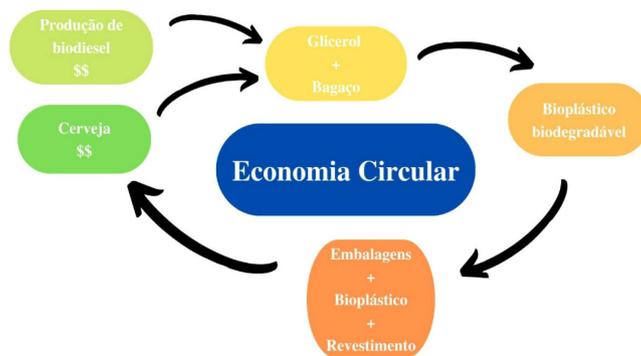


**Figura 5.** Amostras de bioplástico vistas no microscópio, com zoom de 40x. Amostras [amido (g)/glicerol (g)/bagaço (g)]: (A): (0,595/0,105/0,035); (B): (0,595/0,105/0,070); (C): (0,420/0,280/0,035); (D): (0,420/0,280/0,049); (E): (0,643/0,058/0,049); (F): (0,384/0,316/0,049); (G): (0,508/0,193/0,024); (H): (0,508/0,193/0,074); (I): (0,508/0,193/0,049); (J): (0,508/0,193/0,049); (K): (0,508/0,193/0,049); (L): (0,508/0,193/0,049); (M): (0,508/0,193/0,049)

utilizados como embalagens de pack de cerveja de latinha, por não necessitar de tanta resistência.

Diante dos resultados apresentados, é possível propor uma rota de economia circular, como a representada na Figura 6. Com a utilização do glicerol proveniente da produção do biodiesel, há a diminuição de glicerol sem destino no mercado, agregando valor a este produto, sendo esta uma maneira de diminuir o passivo ambiental. Já na indústria cervejeira, a qual apresenta como resíduo agroindustrial o bagaço de malte, ele apresenta poucas rotas de aproveitamento na indústria, sendo mais utilizado para alimentação de gado ou descartado em aterros sanitários.<sup>5</sup> Com esses resíduos forma-se um bioplástico biodegradável que pode ser utilizado como embalagens tanto na indústria cervejeira como na indústria de produção de biocombustíveis.

Essa é uma proposta que visa a aplicação dos preceitos da química verde, sustentabilidade e economia circular. A economia circular está em desenvolvimento na agroindústria brasileira, com potencial para impulsionar o crescimento energético e tecnológico, além de desempenhar papel crucial no combate às mudanças climáticas e nas relações diplomáticas.<sup>16</sup> Esses temas são pouco abordados no ensino de química, porém são de extrema importância para o futuro



**Figura 6.** Esquema de economia circular

da indústria que visa a diminuição de geração de resíduos, agregando valor às rotas produtivas, estando assim em consonância com a busca por uma indústria mais responsável e ambientalmente consciente.<sup>16</sup>

A educação ambiental representa uma forma de educação profundamente recontextualizada, ampliando seu escopo para abranger, de maneira interdisciplinar, diversas esferas do conhecimento. Seu objetivo primordial consiste na disseminação de uma consciência

abrangente e informada, voltada à preservação da vida e dos recursos naturais. Ainda que não seja formalmente reconhecida como uma área de conhecimento na educação básica, é proposto aos sistemas e redes de ensino que incorporem aos currículos e propostas pedagógicas a abordagem de temas contemporâneos que afetam a vida humana em níveis local, regional e global. Essa abordagem, de preferência conduzida de maneira transversal e integradora, visa proporcionar aos estudantes uma compreensão mais holística e contextualizada das questões ambientais.<sup>17</sup>

Incorporar a Química Verde e a economia circular nessa perspectiva educacional é importante para promover uma visão holística da relação entre sociedade e meio ambiente. A Química Verde desempenha um papel importante na defesa do desenvolvimento de processos químicos sustentáveis e ecologicamente corretos que são essenciais na produção de plásticos biodegradáveis a partir de resíduos de cerveja. Essa abordagem contribui para reduzir o acúmulo de resíduos e minimizar os impactos negativos no meio ambiente.<sup>18</sup>

Por sua vez, a economia circular complementa essa visão ao promover a ideia de um ciclo de vida contínuo e renovável dos materiais, incentivando o reaproveitamento e a reciclagem dos recursos naturais e evitando a geração excessiva de resíduos. A integração da Química Verde e da economia circular no currículo e nas recomendações pedagógicas reforça a Educação Ambiental como ferramenta essencial na formação de cidadãos conscientes e engajados na busca de soluções sustentáveis e preocupação responsável com o meio ambiente.

## CONCLUSÕES

Foi possível perceber que a adição do glicerol é fundamental para a formação do filme, visto que sem o glicerol não houve a plastificação do amido. Percebeu-se o impacto que a adição do bagaço tem nos filmes, formando um material mais rígido e com menos umidade, sendo assim mais duradouro e resistente. A diferença da rigidez foi identificada pela análise de DSC que demonstrou que com o aditivo aumentou a temperatura média de transição vítrea.

Com a adição do bagaço sem tratamento, holocelulose e celulose houve a formação de um filme com uma maior resistência do que o filme feito sem nenhum aditivo, como foi visto no DSC, porém eles se diferem pela homogeneidade visível e tátil. No filme com a adição de bagaço e a holocelulose, foi possível visualizar onde o aditivo estava no filme tornando-o heterogêneo. A escolha do aditivo depende da finalidade dele, ou seja, se não é necessário a homogeneidade do filme, pode ser utilizado o bagaço sem tratamento, porém se há a necessidade da homogeneidade, o melhor aditivo é a celulose, por não ficar aparente. O estudo identificou como o bagaço e a razão mássica de glicerol podem alterar a umidade e solubilidade dos filmes. Quando o filme possui maior razão mássica de glicerol, há maior umidade e solubilidade dos filmes, e quando há maior concentração de celulose o filme possui menor umidade e solubilidade.

Destaca-se a importância do uso de materiais renováveis e resíduos agrícolas na produção de filmes biodegradáveis. A economia circular dá grande importância ao reaproveitamento e reciclagem de resíduos, e o uso do bagaço da indústria cervejeira como aditivo é

um bom exemplo dessa abordagem. Considerar as propriedades dos materiais na produção de produtos sustentáveis pode ser incentivado no ensino, incentivando a consciência ambiental e a valorização de resíduos como potenciais recursos na economia circular.

## REFERÊNCIAS

1. Martins, M. F. S.: *Poliuição por Plástico: A Crise Ambiental e as Políticas Europeias e Nacionais*; Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2020. [Link] acessado em Dezembro 2023
2. Jones, F.; *Pesquisa Fapesp* **2020**, 290, 73. [Link] acessado em Dezembro 2023
3. Congresso Nacional; Projeto de Lei do Senado No. 344 de 2021, *Proíbe a Produção e Comercialização de Tereftalato de Polietileno, Polietileno de Alta Densidade, Policloreto de Vinila ou Cloreto de Vinila, Polietileno de Baixa Densidade e Polipropileno, Poliéstireno, que Não Sejam Recicláveis*, Brasília, 2021. [Link] acessado em Fevereiro de 2024
4. Congresso Nacional; Projeto de Lei do Senado No. 243 de 2017, *Altera a Lei No. 12.305, de 2 de agosto de 2010, que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, para Determinar que os Fabricantes de Produtos Industrializados Utilizem Plásticos Biodegradáveis como Insumo*, Plenário do Senado Federal (Secretaria Legislativa do Senado Federal), 2022. [Link] acessado em Fevereiro de 2024
5. Limberger, S.; *Cadernos do Núcleo de Análises Urbanas* **2014**, 6, 1. [Link] acessado em Fevereiro de 2024
6. Browning, B. L.; *Interscience* **1963**, 142, 1564. [Crossref]
7. Kennedy, J. F.; Phillips, G. O.; Williams, P. A.; *Wood and Cellulosic: Industrial Utilizations, Biotechnology, Structure and Properties*, 1<sup>st</sup> ed.; Ellis Horwood: United States, 1987.
8. Dias, A.: *Produção de Filme Biodegradável a Partir da Fécula de Mandioca com Bagaço de Cana-de-Açúcar como Fortificante*; Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal Catarinense, Santa Catarina, Brasil, 2019. [Link] acessado em Dezembro 2023
9. *Statistica 12*; TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA, 2016.
10. Evaristo, R. B. W.; Ferreira, R.; Rodrigues, J. P.; Rodrigues, J. S.; Ghesti, G. F.; Silveira, E. A.; Costa, M.; *Energy Convers. Manage.:X* **2021**, 12, 100138. [Crossref]
11. Schlemmer, D.; Sales, M. J. A.; *Polim.: Cienc. Tecnol.* **2010**, 20, 6. [Crossref]
12. Evaristo, R. B. W.; Dutra, R. C.; Suarez, P. A. Z.; Ghesti, G. F.; *Rev. Virtual Quim.* **2023**, 2, 1. [Crossref]
13. Rosado, M. J.; Rencoret, J.; Gutiérrez, A.; Rio, J. C.; *Polymers* **2023**, 15, 1. [Crossref]
14. Schmatz, A. A.; Masarin, F.; Brienzo, M.; *BioEnergy Res.* **2022**, 15, 1107. [Crossref]
15. Singh, S. K.; Dhepe, P. L.; *Waste Biomass Valorization* **2022**, 13, 2963. [Crossref]
16. Evaristo, R. B. W.; Costa, A. A.; Nascimento, P. G. B. D.; Ghesti, G. F.; *Biomass* **2023**, 3, 217. [Crossref]
17. Menezes, G. D. O.; de Miranda, M. A. M.; *Educação Ambiental em Ação* **2021**, 20, 75. [Link] acessado em Dezembro 2023
18. Castro-Criado, D.; Abdullah, J. A. A.; Romero, A.; Jimenez-Rosado, M.; *Polymers* **2023**, 15, 1877. [Crossref]