



**Ensino Médio com Habilitação Profissional de  
TÉCNICO EM QUÍMICA**

Eliakin Pachuk Santos  
Kaike Souza Santana  
Ligia Marizza Bacin  
Luana Cristiane de Mello  
Rafael de Matos Silva  
Sophia Almeida Fernandes

**PRODUÇÃO DE UM BIOCMPÓSITO CUJO  
REFORÇO É A BORRA DO CAFÉ**

**Piracicaba – SP**

**2024**

Eliakin Pachuk Santos  
Kaike Souza Santana  
Ligia Marizza Bacin  
Luana Cristiane de Mello  
Rafael de Matos Silva  
Sophia Almeida Fernandes

## **PRODUÇÃO DE UM BIOCOMPÓSITO CUJO REFORÇO É A BORRA DO CAFÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da escola ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa, orientado pelo professora Ana Paula Jacobasso, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Química.

**Piracicaba – SP**

**2024**

Eliakin Pachuk Santos  
Kaike Souza Santana  
Ligia Marizza Bacin  
Luana Cristiane de Mello  
Rafael de Matos Silva  
Sophia Almeida Fernandes

## PRODUÇÃO DE UM BIOCAMPÓSITO CUJO REFORÇO É A BORRA DO CAFÉ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da escola ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa, orientado pelo professor Ana Paula Jacobasso, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Química.

### APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA



---

Prof.<sup>a</sup> Ana Paula Jacobasso

Coordenadora da Área e Presidente da Banca Examinadora



---

Prof. Wagner Fernando Ferreira – Examinador



---

Prof. Ulisses Rosa – Examinador

Piracicaba – SP

2024

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, primeiramente, a Deus. Às nossas famílias pelo apoio incondicional; à coordenadora Ana Paula, pela orientação e dedicação fundamentais para a realização do nosso TCC; ao professor Ulisses Tosa, pela matéria-prima entregue a nós; ao técnico de laboratório André Cera, pela ajuda indispensável nas práticas; e a todos os integrantes do grupo, que se empenharam e se encorajaram mutuamente a sonhar e nunca desistir.

## RESUMO

Este trabalho investiga a produção de um biocompósito sustentável utilizando borra de café (BC) como reforço em uma matriz de ácido polilático (PLA). O Brasil gera aproximadamente 545 mil toneladas de borra de café por ano, um resíduo orgânico com potencial poluente devido à emissão de gases como metano e dióxido de carbono. O uso da BC em biocompósitos apresenta uma solução sustentável ao transformar esse resíduo em um material valioso. O PLA, um polímero biodegradável obtido de fontes renováveis, foi misturado com diferentes concentrações de BC para produção das peças. Foram realizados testes de absorção de água e de análise visual para avaliar as propriedades dos compósitos. Os resultados mostraram que a absorção de água é proporcional à concentração de BC, enquanto a versão clareada da borra, tratada com hipoclorito de sódio, apresentou limitações devido à degradação do material durante o processo de aquecimento. Conclui-se que a borra de café possui grande potencial para aplicações em biocompósitos, contribuindo para a gestão sustentável de resíduos, apesar das limitações observadas no processo de clareamento.

**Palavras-chave:** biocompósitos, borra de café, ácido polilático, sustentabilidade, gestão de resíduos.

## ABSTRACT

This study investigates the production of a sustainable biocomposite using coffee grounds (CG) as reinforcement in a polylactic acid (PLA) matrix. Brazil generates approximately 545,000 tons of coffee grounds per year, an organic residue with polluting potential due to the emission of gases such as methane and carbon dioxide. Using CG in biocomposites offers a sustainable solution by transforming this waste into a valuable material. PLA, a biodegradable polymer obtained from renewable sources, was mixed with different CG concentrations to produce the composite pieces. Water absorption and visual analysis tests were conducted to evaluate the properties of the composites. The results indicated that water absorption is proportional to CG concentration, while the bleached coffee grounds version, treated with sodium hypochlorite, presented limitations due to material degradation during the heating process. It is concluded that coffee grounds have significant potential for biocomposite applications, contributing to sustainable waste management, despite the limitations observed in the bleaching process.

**Keywords:** biocomposites, coffee grounds, polylactic acid, sustainability, waste management.

## Lista de ilustrações

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Grãos de PLA e borra de café misturados nas formas de silicone.....	21
<b>Figura 2.</b> Processo de derretimento na estufa.....	21
<b>Figura 3.</b> Aquecimento da mistura de BC e NaOH na chapa.....	22
<b>Figura 4.</b> Borra após processo de lavagem.....	23
<b>Figura 5.</b> Peças BC e PLA (5%, 3% e 7% respectivamente).....	25
<b>Figura 6.</b> Peças após o teste de absorção (3%, 5% e 7% respectivamente).....	26
<b>Figura 7.</b> Borra após embranquecimento.....	27
<b>Figura 8.</b> Peças feitas com BCE após queimarem no aquecimento.....	27

### GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Variação da massa das peças de PLA e BC.....	28
<b>Gráfico 2.</b> Variação da massa das peças de PLA e BCE.....	29
<b>Gráfico 3.</b> Comparação da Absorção de água.....	30

### **Lista de abreviaturas e siglas.**

ABIC	Associação Brasileira da Indústria de Café
BC	Borra do café
BCE	Borra do café embranquecida
PLA	Ácido polilácteo
EPI	Equipamento de proteção individual

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
1.1. Justificativas.....	10
1.2. Problema de pesquisa .....	11
1.3. Hipótese .....	11
1.4 Objetivo Geral .....	11
1.5 Objetivos específicos .....	11
2. DESENVOLVIMENTO .....	12
2.1. Fundamentação Teórica.....	12
2.1.1. Biocompósitos.....	12
2.1.1.1. Compósitos de fibras sintéticas e suas desvantagens.....	12
2.1.1.2. Propriedades dos compósitos de fibra natural .....	13
2.1.2. PLA (ácido polilático) .....	14
2.1.2.1. Propriedades do PLA.....	16
2.1.3. Origem do Café.....	16
2.1.3.2. Benefícios e alternativas para uso da borra .....	17
2.1.3.3. Problemas do Plástico no Brasil e sua substituição pela borra do café .....	17
2.1.3.5. Utilização da Borra para transformação em plásticos biodegradáveis .....	18
2.1.4. Hipoclorito de sódio como alvejante no processo de branqueamento da borra do café .....	18
2.1.4.1. Influência do pH no alvejamento com hipoclorito de sódio .....	19
3. METODOLOGIA.....	20
3.1. Coleta do material e produção das peças de PLA com a borra em natura .....	20
3.2. Clareamento da borra de café .....	22
3.2.3. Produção das peças de PLA com a borra esbranquiçada .....	23
3.3. Teste em água .....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4.1. Análise da aparência do biocompósito de PLA e BC.....	25
4.2. Análise da BCE obtida .....	26
4.3. Análise da aparência dos biocompósitos de PLA e BCE .....	27
4.4. Absorção de água .....	28
5. CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS .....	32

# 1. INTRODUÇÃO

O café está presente na mesa de diversas pessoas pela manhã, porém, nem sempre os resíduos gerados por ele são considerados. De acordo com dados fornecidos pela ABIC (Associação Brasileira da Indústria de Café), 67% do café consumido no ano de 2021 geraram borra de café (BC), isso equivale a 545 mil toneladas. Ela é majoritariamente matéria orgânica (cerca de 91%) e apresenta potencial para emissão de gases do efeito estufa, como o metano (CH<sub>4</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). No entanto, é possível a realização da reciclagem da BC, utilizando-a como matéria prima na produção de biocompósitos, os quais possuem diversas aplicações.

Biocompósitos são uma mistura de uma matriz polimérica com fibras de origem natural, como fibras vegetais, partículas ou resíduos biológicos. Esses compósitos apresentam características singulares diante dos demais, já que suas fibras são biodegradáveis e de fácil acesso por serem obtidas através de subprodutos agrícolas e outras fontes abundantes. O desenvolvimento de biocompósitos é fundamental para reduzir os impactos ambientais gerados pelo uso excessivo de materiais sintéticos e para que não haja acúmulo de materiais biodegradáveis. A utilização delas soluciona o problema de acúmulo de tais materiais na natureza, já que se tornam matéria-prima para a produção de biocompósitos. (RAMIRES, 2010)

A produção do biocompósito pode partir da incorporação do resíduo de borra de café ao ácido polilático (PLA). A aplicação do material sustentável à linha de produtos, acaba gerando valor agregado ao produto e ainda contribuindo, para um meio ambiente mais limpo e sustentável, e um futuro mais estável e equilibrado para todos. (BOMFIM et. al, 2021, p. 13)

## 1.1. Justificativas

Este estudo visa dar um novo destino à BC descartada diariamente no Brasil, para a produção de um biocompósito, evitando assim, o descarte indevido de um material que é potencialmente poluente. Por fim, esse conhecimento pode contribuir com empresas, como as produtoras de café solúvel, gerando uma matéria-prima que pode ser comercializada com produtoras de filamentos e

outros materiais, de modo a evitar o descarte em massa de BC e baratear os produtos produzidos por elas.

## **1.2. Problema de pesquisa**

No Brasil, já houve o descarte de 545 mil toneladas de borra de café no período de um ano. Tal dado evidencia a necessidade de providenciar uma utilidade para esse material tão abundante. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo responder à seguinte questão de pesquisa: como utilizar a borra do café como matéria-prima de modo a evitar seu descarte indevido?

## **1.3. Hipótese**

Produção de um biocompósito que barateie materiais com ácido polilático que utiliza a borra do café como matéria-prima orgânica.

## **1.4 Objetivo Geral**

Desenvolver compósito sustentável que seja mais barato que os convencionais e buscar soluções para problemas percebidos durante o trabalho, de modo a evitar maior desperdício da borra do café, reduzindo impactos ambientais negativos.

## **1.5 Objetivos específicos**

- Coletar a borra de café que virá a ser utilizada na produção do biocompósito.
- Realizar o processamento da matéria prima (borra do café).
- Agregar a matéria prima processada a um polímero termoplástico (PLA).
- Identificar a absorção de umidade em diferentes percentuais de borra do café e solucionar adversidades.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Fundamentação Teórica**

#### **2.1.1. Biocompósitos**

Biocompósitos é uma mistura de matriz polimérica com fibras naturais. Tais compósitos apresentam características singulares diante dos demais, uma vez que as fibras são biodegradáveis e de fácil acesso, já que podem ser obtidas através de subprodutos agrícolas e outras fontes abundantes. Além disso, são leves e não representam riscos à saúde humana quando comparadas às de origem sintética. Por fim, a utilização delas soluciona o problema do acúmulo de tais materiais na natureza, posto que se tornam matéria-prima para a formação de biocompósitos (RAMIRES, 2010, p. 49).

Segundo o professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Kilder César de Araujo Ribeiro: “Biocompósitos têm sido utilizados nos setores automotivos, na construção civil e militar, de eletro-componentes, equipamentos de uso doméstico, produtos de consumo (embalagens), no setor esportivo e aeroespacial” (RIBEIRO, 2012, p.22).

##### **2.1.1.1. Compósitos de fibras sintéticas e suas desvantagens**

Materiais compósitos são substâncias heterogêneas compostas por duas fases, sendo uma delas a matriz e outra o reforço, aquela é responsável pela ligação dos diferentes compostos e esta pela resistência. A produção desses compósitos tem como principal objetivo combinar diferentes materiais para a produção de um novo, o qual possuirá propriedades superiores em comparação aos seus componentes isolados. A combinação dos materiais é decidida de acordo com a aplicação que terá o compósito, sendo que as características não poderiam ser obtidas com eles separados (MOREIRA, 2008, p. 1-5).

Segundo Ramires (2010, p.48-49,) o reforço pode ser formado por fibras naturais ou sintéticas, como as de vidro e carbono. Estas foram amplamente utilizadas no início da indústria química graças ao alto desempenho e custo de produção. Porém, atualmente, elas estão sendo substituídas pelos naturais, visto que causam impactos ambientais, pois são majoritariamente produzidas a partir de fontes fósseis que não são renováveis.

Além disso, em sua maioria, não são biodegradáveis e causam doenças respiratórias e irritação na epiderme. Tais desvantagens são refletidas no custo de produção e manutenção desses produtos, já que se torna necessário o investimento pesado em EPIs (equipamentos de proteção individual), treinamentos especializados para os trabalhadores e manutenção do maquinário, tendo em vista sua abrasividade (RAMIRES, 2010, p. 48-49).

#### **2.1.1.2. Propriedades dos compósitos de fibra natural**

Os compósitos de fibra natural vêm se destacando devido seu grande potencial em substituir os compósitos sintéticos e convencionais. Dentre suas principais vantagens podemos citar seu baixo impacto ambiental, visto que são materiais biodegradáveis, o baixo custo, sua abundância e, por fim, não apresentam risco à saúde. Além de que, são consideradas neutras com relação ao gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e, portanto, mais sustentáveis. Ademais, vale ressaltar que essas fibras apresentam elevada resistência elétrica e isolamento acústico. (MOREIRA, 2008, p. 6).

Elas são retiradas da natureza e podem ser divididas em 3 categorias principais:

Fibras de origem animal: são constituídas por proteínas e quando queimadas liberam um cheiro característico delas, como seda e lã. Fibras de origem mineral: vêm de rochas e são majoritariamente feitas de silicatos, como amianto e asbesto. Fibras de origem vegetal: podem ser chamadas também de celulósicas, pois são constituídas em grande parte por celulose. (SILVEIRA, 2015 apud DINIZ et al, 2020, p.4)

O presente trabalho utiliza as fibras da borra do café que são de origem vegetal e podem ser classificadas como fibras de semente, já que se trata do grão moído.

Essas fibras são constituídas de celulose, lignina e hemicelulose, o que as torna ótimas candidatas para serem utilizadas como reforço no desenvolvimento de um biocompósito. Porém, por serem formadas majoritariamente por anidro-d-glicose (C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>O<sub>5</sub>), possuem três grupos hidroxila (OH<sup>-</sup>) que formam ligações de hidrogênio com a umidade do ar, o que as torna

hidrofílicas, aumentando a absorção de água. Essa propriedade diminui a aderência entre a matriz e o reforço e afeta capacidades mecânicas dos compósitos (MEI; OLIVEIRA, 2017, p. 2).

Segundo Santos (2020, p. 2), as fibras podem ser submetidas a um processo chamado de acetilação, processo que causa uma modificação em sua estrutura química devido a uma reação com o anidrido acético. Nesta reação os grupos hidroxilas são substituídos por grupos acetila e obtém-se como subproduto o ácido acético, de modo que, após passarem por essas reações as fibras tornam-se menos hidrofílicas, contribuindo para maior aderência delas com a matriz polimérica.

Contudo, o objetivo desse trabalho é a produção de um biocompósito mais limpo possível, sendo assim não foram realizados tais tratamentos, pois, de acordo com Bomfim (2020, p. 94) “geralmente, esses tratamentos utilizam solventes e reagentes químicos, que acabam acarretando a geração de poluentes no meio ambiente”.

### **2.1.2. PLA (ácido polilático)**

O ácido polilático, ou poli lactídeo, PLA foi relatado pela primeira vez em 1932 por Wallace Carothers e colaboradores, todos químicos da DuPont. Seu trabalho mostrou a dimerização do ácido láctico policondensado em lactídeo e a polimerização por abertura de anel (ROP) do lactídeo. Outros trabalhos da DuPont, patenteados em 1954, produziram um produto de alto peso molecular devido a processos de purificação de lactídeos melhorados. (DOMENEK, DUCRUET, 2016, v.1, p. 171).

Poli (ácido láctico) - PLA é um polímero biodegradável e a matéria-prima mais utilizada na impressão tridimensional (3D) baseada em extrusão (modelagem de deposição fundida, abordagem FDM). Ele é obtido através de fontes renováveis, assim como a cana-de-açúcar, amido de milho e mandioca e comercializado mundialmente em grande escala. Possui as mais diversas aplicações como embalagens, utensílios domésticos e peças biomédicas. O PLA é um material seguro para a saúde humana e economicamente viável. Além disso, possui resistência a bactérias e fungos, estável, e mantém suas

propriedades por anos, o que permite que seja usado com segurança para embalagens de alimentos. (OLIVEIRA; BORGES, 2020, p. 1).

Segundo Passos (2015), o uso e o descarte indevidos dos materiais plásticos, aliados à sua resistência e a degradação, acabam gerando problemas ambientais sérios. Por este motivo, polímeros biodegradáveis têm atraído grande atenção no mundo inteiro, tanto do ponto de vista científico como tecnológico. Alguns desses polímeros possuem propriedades que possibilitam sua aplicação em produtos confeccionados a partir de polímeros provenientes do petróleo. Características como durabilidade durante o uso e degradabilidade após o descarte tornam esses materiais uma classe atraente, pois possibilita minimizar problemas ambientais e ao mesmo tempo atender às exigências do mercado, assim, muitos têm investido nessa nova classe de polímeros. (THAYSE PASSOS et al., 2015, p. 29).

Pesquisas estão sendo realizadas com o intuito de melhorar o desempenho do PLA em aplicações na área de embalagens sustentáveis para alimentos, como o desenvolvimento de blendas. As blendas reduzem o custo e melhoram a flexibilidade e a resistência do material. Desta forma, blendas de PLA com diversos polímeros biodegradáveis e não biodegradáveis, têm sido confeccionadas para melhorar as propriedades do PLA. Entretanto, a maioria das blendas são imiscíveis apresentando propriedades que não são adequadas para aplicações industriais, ou seja, são incompatíveis. (BRITO et al., 2012, p. 164-169).

Para superar a imiscibilidade é necessário a adição de um compatibilizante, copolímero em bloco ou enxertado, que podem ser pré-fabricados ou formados in situ durante compatibilização reativa formando copolímeros na interface. De acordo com a literatura de Hongzhi Liu reporta que o anel epóxi presente no metacrilato de glicidila (GMA) pode reagir com grupos hidroxilas e carboxilas, sendo a reação com os grupos carboxila mais reativa do que com os grupos hidroxila. O PLA possui grupos terminais carboxilas e hidroxilas, fazendo do GMA uma alternativa potencial para compatibilização de suas blendas. (Liu, H.; Chen, F.; Liu, B.; Estep, G. & Zhang, J. *Macromolecules*, 43, p.6058).

### **2.1.2.1. Propriedades do PLA**

O poli (ácido láctico) (PLA) tem propriedades atrativas para o uso na área biomédica devido à sua biocompatibilidade. O PLA é biodegradável, já que é capaz de ser desintegrado por agentes biológicos, sendo também biorreabsorvível, já que o produto da sua degradação participa do processo metabólico do organismo humano. Dentre as técnicas de fabricação de peças de PLA para aplicações biomédicas, a impressão 3D destaca-se como promissora, principalmente em função da possibilidade de produção de peças personalizadas e individualizadas, além de produção pela prototipagem com alto nível de detalhamento. (MEDEIROS, 2018, p. 6).

A preparação de compósitos de PLA com aditivos adequados é a técnica mais útil para melhorar as propriedades das peças de PLA impressas em 3D obtidas pelo método FDM. Segundo Eda Hazal Tumer(2021), na última década, os compósitos de PLA recentemente desenvolvidos encontraram grandes áreas de utilização tanto nos círculos acadêmicos quanto industriais. Esta revisão enfoca a química e as propriedades do PLA puro e os métodos de preparação dos compósitos de PLA que serão utilizados como matéria-prima em impressoras 3D. As principais desvantagens dos filamentos de PLA puro é a necessidade da preparação de compósitos de PLA que serão empregados nas aplicações de impressão 3D baseadas em FDM também são discutidas. (TUMER, ERBIL, 2021, p. 1).

### **2.1.3. Origem do Café**

A origem do café se deu na África. De acordo com a lenda, o pastor Kaldi observou que suas cabras ficavam alegres e cheias de energia depois que mastigavam os frutos de coloração amarelo-avermelhada dos arbustos abundantes dos campos. Registros históricos indicam que foi nesta época que a exploração de diferentes possibilidades de consumo do café começou a se difundir. (MARTINS, abic.com.br; 2008)

Os etíopes alimentavam-se de sua polpa doce, macerada ou a misturavam em banha nas refeições. Suas folhas também eram mastigadas ou utilizadas no preparo de chá. Produziam também um suco fermentado que se transformava em bebida alcoólica. (MARTINS, abic.com.br; 2008)

Os árabes por outro lado dominaram a habilidade da técnica de plantio e preparação do café. As plantas foram denominadas Kaweh e sua bebida recebeu o nome de Kahwah ou Cahue, que significa “força” em árabe. Habitantes do Sudoeste da Ásia faziam infusão com café e cerejas em água, geralmente, para fins medicinais, sendo também utilizadas por monges que começaram a utilizar o café como bebida excitante para ajudá-los nas rezas e vigílias noturnas. (MARTINS, abic.com.br; 2008)

O processo de torrefação foi outro passo importante para a popularização do café no mundo, mas só foi desenvolvido quando a bebida adquiriu forma e gosto como conhecemos hoje. (MARTINS, abic.com.br; 2008)

### **2.1.3.1. Descarte da Borra do Café**

O Brasil apresenta uma produção e consumo de café bastante elevado, gerando resíduos que em geral são descartados em aterros sanitários. O resíduo da borra do café chega em média a 1,1 milhão de toneladas/ano. (BOMFIM et al., 2022, p. 1)

### **2.1.3.2. Benefícios e alternativas para uso da borra**

A borra de café é classificada como resíduo sólido, possui pouco valor agregado e de fácil acesso, e pode ser utilizada no desenvolvimento de biocompósitos, não somente pela possível melhorias que pode proporcionar ao material, mas também visando a diminuição dos resíduos amplamente gerados pela população. (SANTOS et al, 2020, p. 93,94)

No Brasil em 2017, mais de 1,2 milhão de toneladas de café foram consumidas, o que gerou uma quantidade superior a 800 mil toneladas de borra. O Design ressalta cada vez mais a importância de materiais sustentáveis através do ecodesign, onde busca implementar produtos e serviços que minimizem os impactos ambientais. (BOMFIM et al., 2022, p. 2)

### **2.1.3.3. Problemas do Plástico no Brasil e sua substituição pela borra do café**

No Brasil são produzidas cerca de 11,3 milhões de toneladas de lixos plásticos anualmente, colocando nosso país na quarta posição dos maiores produtores deste material, ficando apenas atrás dos Estados Unidos da

América, China e Índia. Destes plásticos produzidos, apenas 1,28% são reciclados, os outros 98,72% são descartados de forma incorreta. (DOGNINI, 2020, p. 1,2)

#### **2.1.3.5. Utilização da Borra para transformação em plásticos biodegradáveis**

Tendo em vista que a demanda de polímeros tende a crescer, a proposta de utilizar bioplástico se torna uma alternativa de minimizar a produção e descarte de polímeros sintéticos não biodegradáveis. O plástico biodegradável, além de ter alta capacidade de reutilização, é renovável e pode ser decomposto num pequeno espaço de tempo em comparação com os polietilenos. Dessa forma, torna-se imprescindível a produção de plásticos biodegradáveis e ambientalmente sustentáveis, uma vez que seu retorno é mais rápido para o meio ambiente e sua degradação é feita por microrganismos presentes na própria natureza (BOMFIM et al., 2022, p. 2).

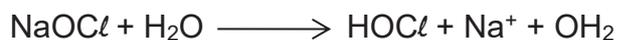
#### **2.1.4. Hipoclorito de sódio como alvejante no processo de branqueamento da borra do café**

Um dos principais componentes das fibras naturais é a celulose, sendo está também presente na borra do café, representando uma porcentagem de 18% a 23% de sua composição total. Dessa forma, para o alvejamento (descoloração) dessas fibras celulósicas naturais, utiliza-se agentes de branqueio químico, os quais classificam-se em agentes redutores e oxidantes. No entanto para esta classe de fibras os agentes oxidantes apresentaram melhores resultados, por isso o hipoclorito de sódio foi escolhido como agente oxidante no processo de branqueamento da borra do café no presente trabalho. (CARVALHO, p.1)

O hipoclorito de Sódio é um reagente amplamente utilizado na indústria, não só no branqueamento de produtos do setor têxtil, mas também exerce função alvejante em filamentos. Esse composto químico é normalmente selecionado devido ao seu preço acessível e seu efeito de ação rápida. Em resumo, o hipoclorito de sódio é um componente vital na indústria para o branqueamento de produtos, oferecendo eficiência e resultados de qualidade.

Seu uso responsável e bem controlado garante que as indústrias possam atender às demandas de clareza e limpeza em seus produtos.

Já a ação alvejante do hipoclorito provém da facilidade de liberar em meio aquoso o ácido hipocloroso (HClO), o qual é muito instável e por decomposição libera oxigênio.



O Hipoclorito age oxidando a celulose atacando os grupos OH (hidroxilas) que possuem uma ligação fraca, reagindo com os íons  $\text{OCl}^-$  formando uma Oxixelulose.

#### 2.1.4.1. Influência do pH no alvejamento com hipoclorito de sódio

O alvejamento com o hipoclorito de sódio sofre influência de diversos fatores, dentre eles o pH mostra-se como um dos fatores determinantes no resultado do processo. Em meio alcalino o hipoclorito age como oxidante, no entanto conforme o valor do pH diminui, passando a ácido, há a ocorrência do ataque do cloro sobre a fibra e a velocidade de oxidação diminui com o aumento do expoente de hidrogênio causando a deterioração da fibra pelo aquecimento da oxixelulose. (CARVALHO, p.4)

De acordo com Carvalho (2000, p.4) o fator básico para se alvejar com hipoclorito é que o componente ativo pode ser encontrado em três diferentes formas. Com pH maior que 10 o hipoclorito está presente como  $\text{NaOCl}$  ou  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ . Já, com o pH entre 5 e 8,5 a solução consiste predominantemente de ácido hipocloroso. Por fim, quando o pH cai para menos de 5 a liberação de cloro começa a acontecer, e quando o pH cai para menos de 3 todo ácido hipocloroso é convertido em cloro.

Além do pH, outro fator determinante no alvejamento com hipoclorito é a temperatura, este processo é feito sempre a frio, nunca ultrapassando a temperatura limite de 30°C, isto porque em temperaturas mais elevadas pode ocorrer a deterioração da fibra pelo aumento da liberação de oxigênio e consequente aumento da velocidade de oxidação. (CARVALHO, p. 6)

### **3. METODOLOGIA**

A metodologia do presente trabalho consistiu na produção de dois tipos de biocompósitos para a análise e comparação entre ambos. Esta, foi realizada no ambiente do laboratório escolar da Etec. Cel. Fernando Febeliano da Costa ao longo de três meses e foi dividida em duas etapas principais. A primeira delas consistiu na produção das peças de biocompósito em diferentes concentrações apenas pela mistura da borra de café com o PLA e a segunda envolveu o alvejamento da borra de café com uma solução de hipoclorito de sódio anteriormente a produção das peças.

#### **3.1. Coleta do material e produção das peças de PLA com a borra em natura**

##### **3.1.1. Materiais e Reagentes**

- Borra do café;
- Ácido poli lácteo (PLA);
- Estufa;
- Moldes de silicone;
- Balança técnica;
- Água;

##### **3.1.2. Procedimento**

A princípio, a borra do café foi coletada e seca no sol de forma rudimentar para evitar a formação inicial de mofos. Posteriormente, dentro do laboratório escolar, ela foi seca novamente na estufa a 60°C por 2 horas e meia.

Posteriormente, foram preparadas as misturas de PLA e BC nas concentrações (BC/PLA) de 0%, 3%, 5% e 7%, com as massas totais de 50 g. Em seguida, essa mistura foi colocada para secar na estufa a 60°C por 3 horas e meia, a fim de eliminar em definitivo a presença de solventes.

**Figura 1.** Grãos de PLA e borra de café misturados nas formas de silicone



Fonte: arquivo pessoal

Por fim, as misturas foram levadas para formas de silicone e aquecidas a 200°C até fundirem na estufa.

**Figura 2.** Processo de derretimento na estufa.



Fonte: arquivo pessoal

## 3.2. Clareamento da borra de café

### 3.2.1. Materiais e Reagentes

- Borra do café;
- Ácido poli lácteo (PLA);
- Estufa;
- Moldes de silicone;
- Balança técnica;
- Água;
- Soda comercial (NaOH);
- Solução de hipoclorito de sódio (NaClO).

### 3.2.2. Procedimento

Primeiramente foi preparada a solução de NaOH na concentração de 5% e aquecida até 90°C, em seguida foram mergulhados 200g de borra de café na mesma. Esta foi deixada de molho por até a evaporação total da parte aquosa.

**Figura 3.** Aquecimento da mistura de BC e NaOH na chapa



Fonte: arquivo pessoal

Posteriormente foi feita a lavagem da borra com NaOH até que o pH ficasse neutro.

**Figura 4.** Borra após processo de lavagem



Fonte: arquivo pessoal

Em seguida, foi preparado 200mL solução de NaClO a 5% que, após ser aquecido em uma temperatura de 80°C, foi adicionado aos poucos a BC a fim de retirar o pigmento dela. O processo foi repetido 4 vezes. Durante o procedimento, foi mantida a agitação lenta para evitar o respingo da solução devido ao aquecimento, o qual precedeu até a obtenção de uma solução bifásica, onde a BC com a coloração finalmente mais clara se depositou no fundo do béquer.

Por fim, a borra de café esbranquiçada (BCE) foi espalhada em uma assadeira de alumínio e levada para secar na estufa a 80°C por 4 horas.

### **3.2.3. Produção das peças de PLA com a borra esbranquiçada**

Foram preparadas as misturas de PLA e BCE nas concentrações (BCE/PLA) de 3%, 5% e 7%, com as massas totais de 50 g. Em seguida, essa mistura foi colocada para secar na estufa a 60°C por 3 horas e meia, a fim de eliminar em definitivo a presença de solventes.

Finalmente, as misturas foram levadas para formas de silicone e aquecidas a 200°C até fundirem na estufa.

### **3.3. Teste em água**

As sete peças obtidas (feitas com PLA, BC e BCE) foram devidamente pesadas a seco e submersas em água por um período de sete dias a fim de identificar a diferença na absorção da água e nos aspectos físicos aparentes. Após esse período, elas foram deixadas secando por 3 horas em temperatura ambiente e pesadas novamente.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise da aparência do biocompósito de PLA e BC

Ao final do processo, foram obtidas as seguintes peças:

**Figura 5.** Peças BC e PLA (5%, 3% e 7% respectivamente)



Fonte: arquivo pessoal

Elas possuíam bolhas formadas por algum solvente que havia ficado contido e a cor da amarronzada da BC havia tomado conta por completo dos objetos. Após serem colocadas em água por sete dias formaram-se manchas brancas em suas superfícies

**Figura 6.** Peças após o teste de absorção (3%, 5% e 7% respectivamente)



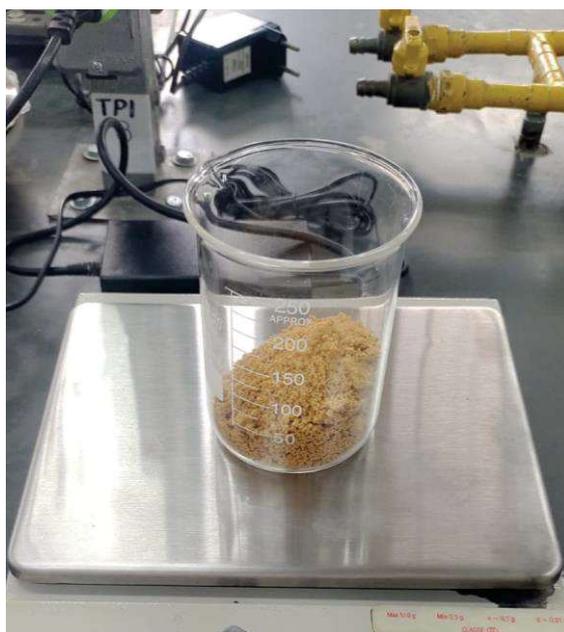
Fonte: arquivo pessoal

Foi possível observar que houve maior proliferação dessas manchas conforme a concentração de BC era maior, levantando a suspeita de ser alguma espécie de fungo, uma vez que a água que havia sido perdida no processo de derretimento foi repostada, possibilitando a aparição de microrganismos na matéria orgânica.

#### **4.2. Análise da BCE obtida**

Após o procedimento foi obtido uma borra do café de cor amarelada, similar a areia.

**Figura 7.** Borra após embranquecimento



Fonte: arquivo pessoal

#### **4.3. Análise da aparência dos biocompósitos de PLA e BCE**

Assim como os formados por BC, estes apresentaram bolhas similares formadas por algum solvente preso que não foi liberado completamente no aquecimento. Além disso, não foi possível cumprir a premissa inicial, uma vez que a BCE queimou e ficou com aspecto escuro.

**Figura 8.** Peças feitas com BCE após queimarem no aquecimento

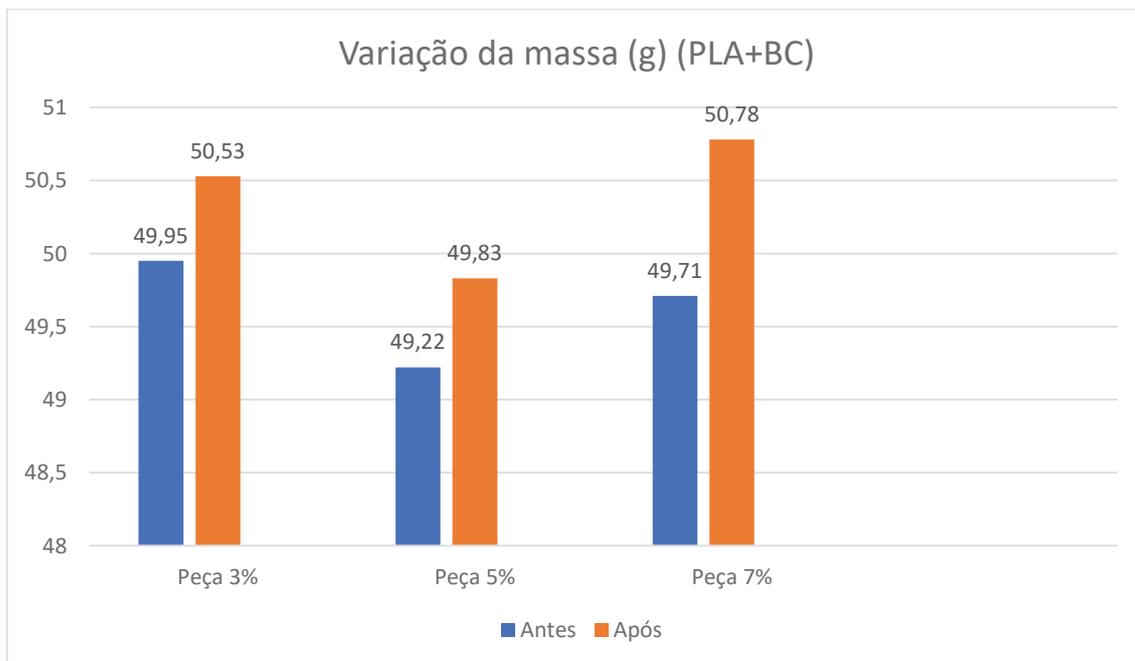


Fonte: arquivo pessoal

#### 4.4. Absorção de água

Após o ensaio foi possível ver a seguinte variação das massas:

**Gráfico 1.** Variação da massa das peças de PLA e BC



Fonte: pessoal

A absorção de água é calculada por:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{(M_{\text{final}} - M_{\text{inicial}})}{M_{\text{inicial}}} \times 100$$

Para 3% de BC:

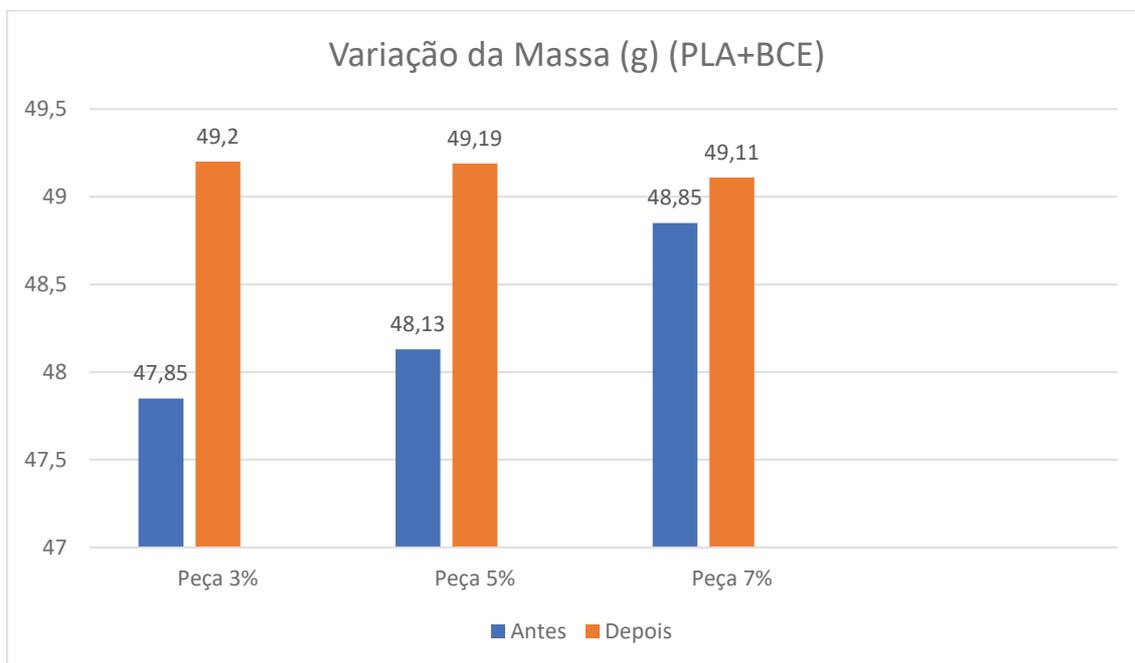
$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{(50,53 - 49,95)}{49,95} \times 100 \cong 1,16\%$$

Para 5% de BC:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{(49,83 - 49,22)}{49,22} \times 100 \cong 1,24\%$$

Para 7% de BC:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{(50,78 - 49,71)}{49,71} \times 100 \cong 2,15\%$$

**Gráfico 2.** Variação da massa das peças de PLA e BCE

Fonte: pessoal

Para 3% de BCE:

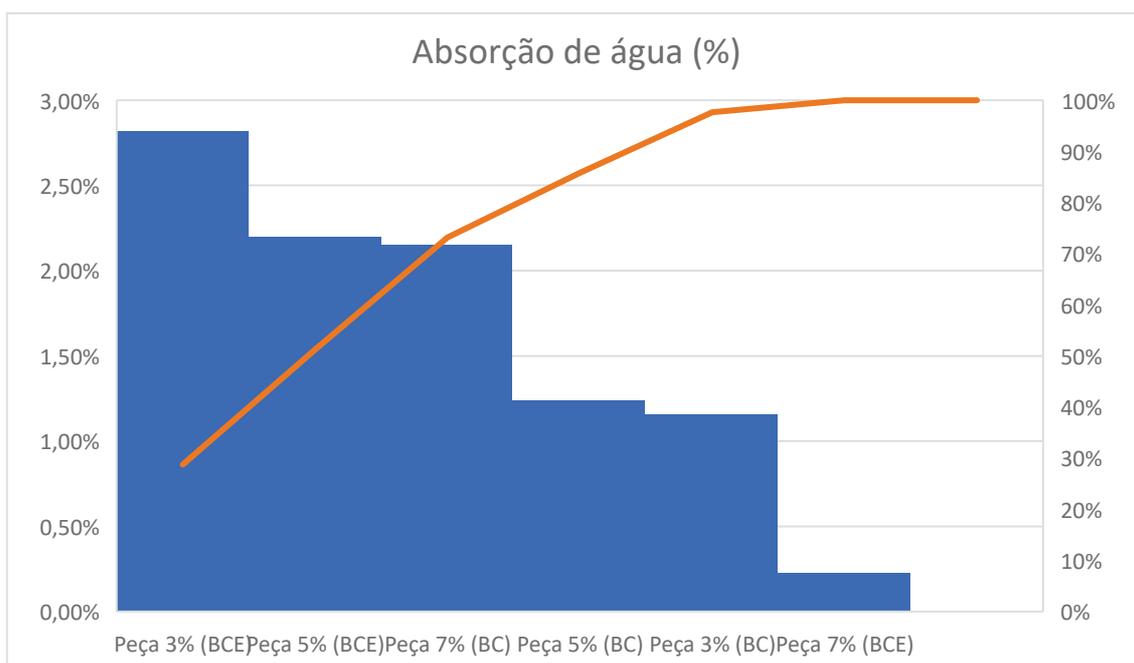
$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{(49,2 - 47,85)}{47,85} \times 100 \cong 2,82\%$$

Para 5% de BCE:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{(49,19 - 48,13)}{48,13} \times 100 \cong 2,20\%$$

Para 7% de BCE:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{(49,11 - 48,85)}{48,85} \times 100 \cong 0,53\%$$

**Gráfico 3. Comparação da Absorção de água**

Fonte: pessoal

As peças formadas a partir de BC apresentaram a absorção diretamente proporcional à concentração da resistência adicionada. Já as de BCE apresentaram o resultado contrário, com a absorção sendo inversamente proporcional à concentração da resistência.

## 5. CONCLUSÃO

Após análise dos resultados obtidos, podemos concluir que a borra de café, frequentemente subestimada e descartada, pode ser transformada em uma valiosa matéria-prima para a produção de biocompósitos sustentáveis através da mistura com PLA, oferecendo soluções inovadoras para a gestão de resíduos e a redução do uso de materiais sintéticos. O desenvolvimento de um biocompósito utilizando a BC e PLA promove uma alternativa mais econômica e ecológica na fabricação de produtos.

Além disso, os objetivos foram parcialmente atingidos, visto a prática de branqueamento da borra através do uso de hipoclorito não foi efetiva, uma vez que, ao ser exposta a altas temperaturas por um tempo elevado, acabou queimando. Entretanto, os resultados acerca do filamento sem branqueamento foram satisfatórios. É importante destacar alguns dos pontos negativos e problemas encontrados durante processo, como a proliferação de microrganismos devido a umidade, ou seja, a utilização de biocompósitos torna-se inviável dependendo da umidade local de onde é aplicado. Ademais, a metodologia ideal para a produção de um biocompósito não pôde ser implementada, uma vez que consiste na extrusão do material em um filamento de produção 3D, o que possibilitaria maior variedade de aplicações e possivelmente não queimaria a BCE, já que o procedimento de derretimento através de uma extrusora, equipamento de difícil acesso que não encontramos para utilizar, é mais uniforme e rápido.

## REFERÊNCIAS

- BOMFIM, Nathalia et al. Reaproveitamento de borra de café em design de utensílios usando biocompósitos, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Claudia-Facca-2/publication/367453536\\_REAPROVEITAMENTO\\_DE\\_BORRA\\_DE\\_CAFE\\_EM\\_DESIGN\\_DE\\_UTENSILIOS\\_USANDO\\_BIOCOMPOSITOS/links/63d2ecb162d2a24f92ce7c9a/REAPROVEITAMENTO-DE-BORRA-DE-CAFE-EM-DESIGN-DE-UTENSILIOS-USANDO-BIOCOMPOSITOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Claudia-Facca-2/publication/367453536_REAPROVEITAMENTO_DE_BORRA_DE_CAFE_EM_DESIGN_DE_UTENSILIOS_USANDO_BIOCOMPOSITOS/links/63d2ecb162d2a24f92ce7c9a/REAPROVEITAMENTO-DE-BORRA-DE-CAFE-EM-DESIGN-DE-UTENSILIOS-USANDO-BIOCOMPOSITOS.pdf). Acesso em: 19 jun. 2024.
- BRITO, Gustavo et al. Tenacificação do Poli(Ácido Lático) pela Adição do Terpolímero (Etileno/Acrilato de Metila/Metacrilato de Glicidila), 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/LhL4LkTzhtgjvdSnzzqzqJ/>. Acesso em: 19 jun. 2024.
- CARVALHO, Vladimir et. al. Pesquisa da Influencia do pH, temperatura e tempo no alvejamento com hipoclorito de sódio, 2000. [https://www.academia.edu/download/33162546/T1-22-PESQUISA\\_DA\\_INFLUENCIA\\_DO\\_pH\\_\\_TEMPERATURA\\_E\\_TEMPO\\_NO\\_ALVEJAMENTO\\_COM\\_HIPOCLORITO\\_DE\\_SODIO.pdf](https://www.academia.edu/download/33162546/T1-22-PESQUISA_DA_INFLUENCIA_DO_pH__TEMPERATURA_E_TEMPO_NO_ALVEJAMENTO_COM_HIPOCLORITO_DE_SODIO.pdf). Acesso em: 21 de out. 2024.
- DOGNINI, Daluani et al. Síntese de Bioplástico Utilizando a Celulose Extraída da Borra do Café, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/facchu/article/view/2211/1655>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- DINIZ, Jacqueline et al. Secagem de fibras de sisal em estufa com circulação forçada de ar: Um estudo experimenta. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9342/8303>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- DOMENEK, Sandra et al. Polímeros Biodegradáveis e de Base Biológica para Aplicações Ambientais e Biomédicas, 2016. Disponível em: <https://www.google.com/books?hl=pt->

[BR&lr=&id=cP2OCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA171&dq=pla+&ots=O-2vKRR5IN&sig=PiQm6O78pqfB05IUSsajs\\_p7rHE](#). Acesso em: 19 jun. 2024.

HONGZHI, Liu et al. Macromoléculas, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/ma101108g> Acesso em: 19 de ago. 2024.

LOPES, Fernanda et al. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700015>. Acesso em: 20 jun. 2024.

MAIA, João et al. Biofibras e biocompósitos, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040> Acesso em: 19 jun. 2024.

MARTINS, Disponível em: <https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/origem-do-cafe/#:~:text=Muitos%20j%C3%A1%20aprenderam%20que%20o,em%20descobrir%20seu%20uso%2Fconsumo>. Acesso em 19/08/2024.

MEDEIROS, Camila. Avaliação de peças de Poli(ácido láctico) (PLA) impressas para aplicações biomédicas, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/26675>. Acesso em: 19 jun. 2024.

MEI, Lúcia; OLIVEIRA, Natália. Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando Poli ( $\epsilon$ -caprolactona) e borra de café, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2139>. Acesso em: 19 jun. 2024.

MOREIRA, Anabela. Materiais Compósitos, 2008. Disponível em: [http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932\\_Compositos\\_MC1.pdf](http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932_Compositos_MC1.pdf). Acesso em 19 jun. 2024.

OLIVEIRA, Ana Carolina et al. Poli (Ácido Láctico) Aplicado para Embalagens de Alimentos, 2020. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewPDFInterstitial/713/501>. Acesso em: 19 jun. 2024.

Origem do café, Associação Brasileira da Indústria de Café, 2021. Disponível em: <https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/origem-do-cafe/#:~:text=Muitos%20j%C3%A1%20aprenderam%20que%20o,em%20descobrir%20seu%20uso%2Fconsumo>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PASSOS, Thayse et al. Biodegradação de filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD), poli(hidroxibutirato-co-valerato) (PHBV) e mistura de PEBD/PHBV (70/30) com *Paecilomyces variotii*, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282010005000024> Acesso em: 19 de ago. 2024.

RAMIRES, Elaine. Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glioxal reforçadas com fibras naturais, 2010. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75131/tde-06042010-165002/publico/ElaineCristinaRamiresR.PDF>. Acesso em: 12 jun. 2024.

RIBEIRO, Kilder. BIOCOPÓSITOS POLIMÉRICOS: ENVELHECIMENTO AMBIENTAL, INTEGRIDADE ESTRUTURAL E PROCESSO DE RECICLAGEM, 2012. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/275757664.pdf> . Acesso em: 12 de jun. 2024

SANTOS, Erika et al. Influência de fatores ambientais nas propriedades mecânicas de biocompósitos de PLA reforçado com fibra de coco e borra de café, 2020. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/36e6/a86c4f77b5edee931ef04d591c91e8bd354f.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2024.