



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
Colegiado do CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



**Ciências  
Biológicas**  
UEL

---

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**CARLOS EDUARDO BUENO**

### **PRODUÇÃO DE BIOMATERIAL FÚNGICO UTILIZANDO RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E TEXTEIS.**

---

Londrina – Paraná  
2024

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO  
EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**CARLOS EDUARDO BUENO**

**PRODUÇÃO DE BIOMATERIAL FÚNGICO  
UTILIZANDO RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E  
TEXTEIS.**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina como um dos requisitos à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

**Orientador:** Luciano Aparecido Panagio

**Londrina – Paraná  
2024**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Bueno, Carlos Eduardo.

PRODUÇÃO DE BIOMATERIAL FÚNGICO UTILIZANDO RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E TEXTEIS. / Carlos Eduardo Bueno. - Londrina, 2024. 40 f.

Orientador: Luciano Aparecido Panagio.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, 2024.

Inclui bibliografia.

1. Biorremediação - TCC. 2. Biodegradação - TCC. 3. Biomateriais - TCC. 4. Pleurotus ostreatus - TCC. I. Panagio, Luciano Aparecido . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 574

## **BANCA EXAMINADORA**

Prof(a). Dr(a). Luciano Aparecido Panagio

Prof(a). Dr(a). Cláudio Pereira de Sampaio

Dr(a). Guilherme Fonseca Reis

Prof(a). Dr(a). Nathália de Sousa Pereira (suplente)

Londrina, 07 de maio de 2024

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível com o apoio de muitas pessoas e instituições.

Espero nessa seção fazer o devido agradecimento a todos:

Agradeço a **Universidade Estadual de Londrina** por todo o suporte dado durante minha vida acadêmica na graduação.

Agradeço especialmente ao professor **Dr. Luciano Aparecido Panagio**, por me orientar e acolher desde o primeiro ano de graduação. Pela disponibilidade, sugestões, críticas, conselhos e auxílio durante toda a produção e criação deste trabalho e dos anos de graduação. Muito obrigado!

À minha mãe **Valdirene** e meu pai **Ricardo**, que possibilitaram e fizeram o possível e impossível para eu estar na Universidade Estadual de Londrina. Por terem me proporcionado vivenciar as experiências e aprendizados que me trouxeram até aqui.

Às minhas melhores amigas e companhias durante a graduação **Ana Carolina, Lucas e Vitoria**, muito obrigado. Por me escutarem e me aconselharem, pela ajuda no inglês, ideias sobre o projeto e nunca me deixarem desistir.

Aos colegas do Laboratório de Micologia e Métodos Alternativos: **Guilherme Fonseca Reis, Eduardo Azevedo Lonardon** e **Maria Gabriela Reis**, pelo auxílio durante o desenvolvimento dos biomateriais, experiências compartilhadas e principalmente pela amizade e o apoio mútuo durante os momentos mais difíceis.

Ao professor **Dr. Cláudio Pereira de Sampaio** por imprimir os moldes dos biomateriais que possibilitaram a realização do trabalho.

À minha amiga e colega de projeto **Brunna** por ter me auxiliado e trazido ideias quanto as resinas dos biomateriais, programado os moldes e me acalmado nos momentos de ansiedade para a produção e entregas de resultados.

Expresso meu profundo reconhecimento e gratidão a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho. Suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento e conclusão deste estudo

Bueno, Carlos. **Produção de biomaterial fúngico utilizando resíduos agroindustriais e têxteis**. 2024. 1-29p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2024.

## RESUMO

A expansão das indústrias têxteis e agrícolas, concomitantemente à industrialização e ao aumento populacional, tem ocasionado a acumulação exacerbada de resíduos ambientais, intensificando desafios como o aquecimento global. Nesse contexto, a técnica de fermentação em estado sólido (FES) emerge como uma abordagem promissora para a gestão desses resíduos, ao permitir a utilização sinérgica de resíduos agroindustriais e excedentes têxteis como substrato para o cultivo fúngico, viabilizando sua biodegradação e a produção de um biomaterial. Neste trabalho foi cultivado a espécie *Pleurotus ostreatus* sob diferentes substratos contendo: serragem (0-45%), casca de aveia (10-100%) e borra de café (0-45%). O microrganismo não apresentou um melhor crescimento micelial de acordo com as variações do substrato. Dessa forma, o substrato foi selecionado de acordo com as melhores condições de resistência para a formação do biomaterial. Os substratos selecionados foram colocados em um molde 3D, acrescido de 1% de resíduo têxtil e *Spawn* fúngico. Após 30 dias de crescimento em estufa BOD a 28°C, o biomaterial foi dessecado em forno por 48 horas à 60°C. Então foram aplicadas resina de breu e resina de carnaúba e uma mistura dessas resinas com glicerina vegetal sobre o biomaterial formado trazendo texturas diferentes e mais resistência. Os resultados mostram uma via alternativa e factível para a destinação dos resíduos têxteis e agroindustriais. As técnicas demonstradas são experimentais, mas se mostraram potencialmente aplicáveis em larga escala para a produção de biomateriais que podem ser aplicados em designs de interiores e objetos.

**Palavras-chave:** Biorremediação. *Pleurotus ostreatus*. Biodegradação.

## ABSTRACT

The expansion of the textile and agricultural industries, alongside industrialization and population growth, has led to an excessive accumulation of environmental waste, exacerbating challenges such as global warming. In this context, the solid-state fermentation (SSF) technique emerges as a promising approach for waste management by enabling the synergistic use of agro-industrial residues and textile surpluses as substrates for fungal cultivation, facilitating their biodegradation and the production of a biomaterial. In this study, the species *Pleurotus ostreatus* was cultivated on different substrates containing: sawdust (0-45%), oat hulls (10-100%), and coffee grounds (0-45%). The microorganism did not show better mycelial growth according to substrate variations. Therefore, the substrate was selected based on the best conditions for resistance to form the biomaterial. The selected substrates were placed in a 3D mold, supplemented with 1% textile waste and fungal spawn. After 30 days of growth in a BOD incubator at 28°C, the biomaterial was dried in an oven for 48 hours at 60°C. Then, rosin and carnauba resin, and a mixture of these resins with vegetable glycerin, were applied to the formed biomaterial, providing different textures and increased resistance. The results show an alternative and feasible way to dispose of textile and agro-industrial waste. The demonstrated techniques are experimental but have shown potential applicability on a large scale for the production of biomaterials that can be used in interior design and objects.

**Keywords:** Bioremediation. *Pleurotus ostreatus*. Biodegradation.

# SUMÁRIO

Pág.

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>2</b>
2.1. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS .....	2
2.1.1 CASCA DE AVEIA.....	4
2.1.2 BORRA DE CAFÉ.....	5
2.1.3 SERRAGEM.....	6
2.2 RESÍDUOS TEXTÉIS.....	7
2.3 FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO.....	8
2.4 FUNGOS.....	9
2.4.1 BASIDIOMICETOS.....	11
2.4.2 <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	12
2.5 RESINAS NATURAIS.....	14
2.5.1 RESINA DE BRÉU.....	15
2.5.2 RESINA DE CARNAÚBA.....	16
2.6 BIOMATERIAIS FÚNGICOS.....	17
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
3.1 MICRORGANISMO.....	18
3.2 PREPARAÇÃO DO PRÉ-INOCULO.....	18
3.3 SUBSTRATO PARA O BIOMOLDE.....	19
3.4 DESENVOLVIMENTO DO BIOMOLDE.....	20
3.5 APLICAÇÃO DE RESINAS.....	24

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Placa colonizada com <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	14
<b>Figura 2</b> – Substratos nas placas de Petri e o micélio fúngico.....	20
<b>Figura 3</b> – Substratos na placa de Petri totalmente colonizado.....	20
<b>Figura 4</b> – Resíduo têxtil que foi incorporado ao biomaterial.....	21
<b>Figura 5</b> – Molde 01 desenvolvido no Blender.....	21
<b>Figura 6</b> – Molde 02 desenvolvido no Blender.....	22
<b>Figura 7</b> – Molde 03 desenvolvido no Blender.....	22
<b>Figura 8</b> – Molde 01 impresso.....	23
<b>Figura 9</b> – Molde 02 impresso.....	23
<b>Figura 10</b> – Molde 03 impresso.....	24
<b>Figura 11</b> – Proporção de resíduos agroindustriais utilizados como substratos em FES.....	26
<b>Figura 12</b> – Biomateriais testados com as diferentes resinas utilizando o pincel.....	27
<b>Figura 13</b> – Biomateriais testados com as diferentes resinas utilizando a técnica de imersão.....	28
<b>Figura 14</b> – Biomaterial formado utilizando o molde 1.....	30
<b>Figura 15</b> – Biomaterial formado utilizando o molde 2.....	30

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> – Proporções dos substratos em porcentagem.....	19
<b>Tabela 2</b> – Crescimento micelial nos diferentes substratos.....	25
<b>Tabela 3</b> – Testes realizados com as diferentes resinas.....	25

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIações**

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
BDA	Batata dextrose ágar
FES	Fermentação em estado sólido
PLA	Ácido poliláctico
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nation

## 1. INTRODUÇÃO

Uma excessiva quantia de resíduos agroindustriais é produzida todos os anos. Esses materiais na maioria de suas vezes são liberados no ambiente de forma incorreta, trazendo uma série de consequências ambientais que são danosas para os humanos e a saúde animal. O Brasil é um país cuja economia é baseada no agronegócio, isso evidencia mais ainda a presença desse tipo de resíduo. Esses resíduos muitas vezes são ricos em açúcares, fibras, proteínas e minerais. Devido à natureza orgânica desses resíduos, é possível realizar a assimilação desses componentes através de técnicas alternativas com o auxílio de microrganismos. Dentre esses resíduos agroindustriais encontra-se: o bagaço da cana-de-açúcar, serragem, palha de cevada, resíduo de malte, casca de aveia, entre outros.

Com a revolução industrial, iniciada no século XVIII e impulsionada desde a globalização, a indústria têxtil expandiu-se grandemente representando um dos importantes setores da economia mundial. Entretanto, com um crescimento exponencial desta produção e confecção de vestuário resultou em peças de curta vida útil e conseqüentemente uma maior geração de resíduos têxteis. O setor têxtil é um dos setores de produção que mais gera poluentes e é responsável por grandes impactos ambientais desde o seu pré consumo até seu pós consumo. Os impactos ambientais causados pelos produtos têxteis são diversos e incluem: mudanças climáticas, acidificação de rios, eutrofização de solos, destruição da camada de ozônio, esgotamento de recursos e outros.

De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2013) o Brasil se encaixa como quarto maior produtor de vestuários e quinto maior produtor têxtil. Como resultado, é um dos grandes agentes da produção desses resíduos que são nocivos ao meio.

É possível utilizar microrganismos, como fungos, para a assimilação dos resíduos orgânicos agroindustriais na técnica de fermentação em estado sólido (FES). Através desta técnica é possível acrescentar os resíduos provenientes da indústria têxtil para a formação de um biomaterial. Os fungos são capazes de realizar essa assimilação e utilização desses resíduos orgânicos através de sua maquinária enzimática que irão degradar a celulose presente no substrato viabilizando a biodegradação desses materiais com um consumo relativamente baixo de energia e um processamento simples. Além de possibilitar a formação de um biomaterial miceliado, atribuindo valor econômico a materiais que não possuíam valor agregado.

Desta forma, as hipóteses testadas foram direcionadas ao estudo da composição de um substrato formado por resíduos agroindustriais e resíduos têxteis que melhor possibilita a formação de um biomaterial miceliado. Com o material formado, ele tem a capacidade de atribuir valor econômico a resíduos que seriam descartados e afetariam negativamente o meio ambiente.

Desta forma o objetivo do trabalho foi de entender qual tipo de substrato poderia fornecer um melhor desenvolvimento do micélio fúngico e agregar valor à resíduos industriais e agrícolas que são descartados frequentemente. E como objetivo específico a formação de um biomaterial formado por fungos.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

No Brasil, o agronegócio representa um dos pilares econômicos para o país nos processos de produção, processamento e transformação de alimentos (Siqueira et al., 2022). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2023), a safra de produção agrícola em agosto de 2023 prevê um recorde de

313,3 milhões de toneladas — um aumento de 19% comparado com a produção de 2022. Nesta safra encontramos produtos como: a soja, o algodão, milho, arroz, trigo etc. De acordo com a Organização das Nações Unidas Para a Alimentação e a Agricultura (FAO), estima-se que a produção mundial de resíduos agroindustriais atinja 1,3 bilhão de toneladas por ano, sendo que, 1/3 dos alimentos potencialmente destinados ao consumo humanos são perdidos, na forma de resíduos, durante o processamento, ou seja, como perda na cadeia produtiva. Essa extensiva atividade do setor agrícola moderno já chegou a produzir 291,1 milhões de toneladas de resíduos em safras de 2009 (Schneider et al, 2012).

Os resíduos agroindustriais podem ser classificados em dois grupos: resíduos de colheita e resíduos de processo (Mande, 2005);. Os resíduos de colheita representam materiais de vegetais deixados no campo após a colheita do produto principal, apresentando uma variedade de tamanhos, formatos e densidades, como palhas, caules, folhas, gravetos, restolho, raízes, ramos e galhos. Já os resíduos de processo são subprodutos originados na limpeza, debulha, peneiramento e esmagamento durante os processos da indústria. Eles podem estar na forma de casca, poeira, caules, bagaços etc. Esses produtos podem ser utilizados na alimentação animal, melhoramento do solo, fertilizantes, fabricação e outros diversos processos biotecnológicos (Sadh, Duhan, Duhan, 2018).

Esses resíduos agroindustriais em sua maioria são compostos por matérias orgânicas e são principalmente compostos de celulose, hemicelulose e lignina em uma proporção de 4:3:3 (Khaire, Moholkar, Goyal, 2021) além de possuir uma alta eficiência de conversão de energia quando comparado com a geração de energia através de combustíveis fósseis (Anand et al., 2021).

No entanto, esses resíduos agroindustriais, apesar de representarem oportunidades econômicas, elas ainda não são exploradas pelo país. Dessa forma, eles continuam contribuindo para a degradação de ecossistemas naturais, poluição ambiental, acúmulo de lixo e pressionando a conservação de recursos (Biase, 2017).

### **2.1.1 CASCA DE AVEIA**

A aveia começou a ser cultivada no norte europeu em função do aumento de cavalos como animais de trabalho a mais de dois mil anos atrás (Ceres, 2003). Atualmente, a aveia possui uma variedade de possíveis utilidades desde alimentação humana e animal até a forragem (pastejo, feno), cobertura de solo e adubação verde (Tamanini et al., 2004).

Em 2019, a produção mundial de aveia foi aproximadamente 23.2 milhões de toneladas de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Na qual os maiores produtores de aveia no mundo são a União Europeia, a Rússia, o Canadá, a Austrália e os Estados Unidos, com o Brasil na posição de 6º maior produtor e consumidor de aveia no mundo (USDA, 2020).

Estima-se que mais de 5,5 milhões de toneladas de casca de aveia sejam geradas anualmente, considerando que 24% a 36% da massa da aveia corresponde à casca do grão (Ruviaro et al., 2023). A casca permanece aderida ao grão da aveia durante a maturidade e colhimento da aveia (Sandrin, 2013). Na maturidade, ela atua como uma proteção do grão durante o processo de debulha (Redaelli, Berardo, 2007), mas não apresenta atividade metabólica.

No processamento da aveia, há uma etapa de descascamento, responsável pela perda econômica aos agricultores e indústrias e a geração de resíduos (Coelho, 2020). Essas cascas são constituídas majoritariamente por celulose,

hemicelulose e lignina (Tamanini et al., 2004). De acordo com o estudo de Welch, Hayward e Jones em 1983, a casca de aveia é composta majoritariamente de parede celular (>83%), com quantidades similares de celulose e hemicelulose, correspondendo a uma quantidade de 30-35%. A lignina presente corresponde a 2-10% e a quantidade de proteína e teores de óleo são baixos, sendo eles respectivamente de 1,6-5% e 1,2-2%.

### **2.1.2 BORRA DE CAFÉ**

O consumo de café demonstra um aumento exponencial, e é considerada uma das bebidas mais populares mundialmente (Jung et al., 2012). Porém, o processo de produção do café gera uma grande quantidade de resíduos sólidos como na forma de polpa, casca e borra de café utilizada, possuindo uma aplicação tradicional limitada a fertilizantes, ração, compostas etc (Banu et al., 2020). A borra de café utilizada é o principal resíduo durante a produção de bebidas (Murthy, Madhava Naidu, 2012). A cada 1kg de café, aproximadamente 2kg de borra de café é produzido, portanto, cerca de seis milhões toneladas de borra de café utilizadas são geradas anualmente (Mussato et al., 2011).

A borra de café é conhecida por possuir propriedades antioxidantes, mas estudos mostram que é possível encontrar fibras dietéticas, manose, galactose e uma significativa quantidade de proteínas, além da cafeína. De acordo com Pujol *et al.*, 2013 em grãos de café utilizados, é encontrado uma proporção similar entre polissacarídeos e lignina, sendo eles respectivamente 26% e 20%. Além desses compostos, é encontrado ácidos graxos livres, polifenóis, taninos, lipídios e ácido clorogênico. Dessa forma, representa uma via alternativa para potenciais aplicações como a produção de biodiesel, fonte de antioxidantes, substrato para o crescimento

fúngico e como biossorvente de poluentes hidrofóbicos (Oliveira et al., 2008; Machado et al., 2011, Pujol et al., 2013).

### **2.1.3 SERRAGEM**

A serragem é constituída por pequenas partículas de madeira resultantes do processo de serração na indústria madeireira e representa um considerável volume de resíduos. Seu aproveitamento é limitado devido à elevada presença de impurezas. Isso é um problema principalmente no caso de serragem de placas industrializadas, que contém cola de ureia-formaldeído ou fenol-formaldeído, um composto tóxico e cancerígeno, o que a torna inadequada para aplicações em produtos derivados da madeira, bem como a desqualifica como combustível, salvo quando aglutinada em forma de briquetes ou em associação com outros resíduos de madeira compacta. Sua degradação biológica ocorre de maneira morosa, o que dificulta sua integração em processos de compostagem agrícola. Tradicionalmente, a serragem é empregada em instalações destinadas à criação de aves e animais. A regulamentação e fiscalização sobre a manipulação e disposição da serragem são particularmente rigorosas, em virtude de sua suscetibilidade à dispersão pelo vento, o que pode ocasionar sua queima ou descarte irregular em múltiplas serrarias que carecem de meios para sua reutilização (Fagundes, 2003).

Atualmente, a serragem já é utilizada para o crescimento micelial e desenvolvimento de fungos em diversos países, como na coreia por exemplo (Kim *et al.*, 2011). Microrganismos como *Aspergillus sp.* e *Pleurotus ostreatus* são utilizados nesse processo que possibilita o reaproveitamento dessas madeiras serradas que não possuem uma utilidade. Nesse processo, diversas espécies de madeiras podem ser utilizadas como serragem. As mais comuns são: amieiro, bordo, vidoeiro, cereja

selvagem e manga. Algumas outras madeiras como o pinheiro, pau-brasil e cedro devem ser evitadas para o crescimento micelial pois podem apresentar certas resistências e resinas que impossibilitam a colonização do fungo (Lunardi, 2019).

## **2.2 RESÍDUOS TEXTÉIS**

A indústria têxtil lidera em quesitos de tamanho de mercado, empregabilidade e valor de produto (Khan, Wang, Padhye, 2023). É estimado que cerca de 1/6 da população mundial esteja empregado e faça parte da cadeia global de fornecimento de moda (Boulton, McCallion, Curtis, 2020). Porém, mesmo que a produção têxtil seja de grande importância econômica mundial, ela também representa um dos setores mais poluentes (Ellen McArthur Foundation, 2015; Frâne et al., 2017; Hole, Hole, 2019). Anualmente, o setor têxtil é responsável pela emissão de mais de 1.2 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> ou 8% da emissão global total (Australasian Circular Textile Association, 2021; Ellen MacArthur Foundation, 2017). Além disso, a produção de têxteis requer grandes quantidades de energia, água, químicos, que também afetam negativamente o meio ambiente (Zamani, 2011).

A produção mundial de fibras chega a ultrapassar cerca de 64 milhões de toneladas por ano (Wang, 2009). Entre essas fibras é possível encontrar as formadas de polímeros sintéticos e os naturais (como os de origem celulósica), formadas respectivamente em sua maioria por petróleo e apenas algodão. Independentemente de sua origem, ambas demandam um alto gasto energético e a utilização de recursos químicos e físicos não renováveis. Entretanto, cerca de 60% de todas as roupas feitas são compostas de materiais sintéticos como o poliéster, acrílico e náilon, no qual todos são gerados a partir do plástico (Khan, Wang, Padhye, 2023).

### **2.3 FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO (FES)**

Conforme Pandey, 2003, a fermentação em estado sólido é definida como o processo de desenvolvimento de um microrganismo com a fermentação envolvendo um meio sólido na ausência parcial ou completa de água livre. O conceito de utilizar um substrato sólido é provavelmente o método mais antigo de fazer um microrganismo trazer benefícios para o homem e é creditado como responsável pelo início da técnica de fermentação em tempos antigos (Bhargav, 2007). Como exemplo, o processo era utilizado principalmente para a preparação de alimentos, tanto em países ocidentais (pães e queijos) ou orientais (processo Koji) (Lunardi, 2019). Nas últimas décadas, o processo passou a ser aplicado em outras áreas, como a produção de biomoléculas e produtos para indústria alimentícia, farmacêutica, bioquímica, têxtil e de bioenergia (Pandey, 2003).

Essa tecnologia desenvolvida desde antigamente, oferece uma numerosa oportunidade no processamento de resíduos agroindustriais. Isso porque a quantidade de energia requerida durante a FES é baixa, além de produzir um baixo gasto de água e ser benéfica ao meio ambiente conforme elimina os resíduos sólidos (Pandey, 2003). Esses resíduos agroindustriais em sua maioria são abundantes e não possuem valor econômico algum agregado a eles. Segundo as observações de Farinas (2015), uma parcela desses resíduos é direcionada para a produção de energia elétrica, enquanto uma proporção significativa é incinerada sem a devida captação de aproveitamento energético, constituindo-se como uma preocupante questão ambiental.

Para o cultivo de microrganismos, além da FES, é possível utilizar a técnica de fermentação submersa. Nesse método, em contraste com a FES, os microrganismos se desenvolvem em um meio contendo uma grande quantidade de água livre. Embora apresente vantagens em termos de controle e instrumentação do

processo, separação de biomassa, mistura e aeração em comparação com a FES, a fermentação submersa não consegue reproduzir de maneira fidedigna o habitat natural dos microrganismos, especialmente no que se refere a fungos. Além disso, a FES se destaca por não necessitar de um gasto de energia elevado para a sua esterilização; ser menos suscetível a contaminação bacteriana e a inibição do substrato; gerar uma maior produção enzimática; menor custo operacional; dispensabilidade do uso de solventes orgânicos; e demonstrar benefícios ecológicos visto a utilização de resíduos agroindustriais (Singhania et al., 2009).

Para o desenvolvimento de uma FES, é necessário levar em consideração o microrganismo a ser trabalhado e o substrato no qual ele será cultivado. Os microrganismos que mais fácil se adaptam a esta técnica são os fungos filamentosos. Nessas condições eles podem atuar da mesma maneira que na natureza (Farinas, 2015).

## **2.4 FUNGOS**

Os fungos são um tipo especial de microrganismo espalhado vastamente pela natureza e ubíquos. Em geral, eles são reconhecidos como decompositores e/ou parasitas de animais e plantas. Os fungos são heterótrofos, dessa forma obtêm seus alimentos de outros animais ou plantas. Eles secretam suas enzimas extracelulares capazes de quebrar moléculas orgânicas complexas em compostos monoméricos que então podem ser utilizados como forma de energia primária na obtenção de energia, como por exemplo moléculas de carbono e outros nutrientes (Cole, 1996; Madigan et al., 2009).

Aproximadamente 100.000 espécies de fungos já foram descritas, incluindo cogumelos (macrofungos), bolores e leveduras (microfungos) (Madigan et al.,

2009). As leveduras são microrganismos unicelulares que se reproduzem por brotamento. Já os fungos filamentosos, são caracterizados por filamentos multicelulares denominados de hifas. Esses filamentos são essenciais para a sustentação dos esporos, responsáveis pela reprodução e propagação. As hifas se estendem e ramificam-se por todo o substrato, criando uma espécie rede chamada de micélio capaz de ser vista sem microscópios (Walker, White, 2017). Essas hifas se estendem buscando encontrar os nutrientes disponíveis no substrato, podendo crescer apicalmente também, dependendo das condições de crescimento e da espécie.

Os fungos filamentosos são capazes de reproduzir-se tanto de maneira assexual quanto sexual, entretanto, na maioria das vezes, eles realizam a reprodução assexual (Mandigan et al., 2009). Conforme observado por Dyer e Paoletti (2005), os fungos manifestam um padrão de reprodução predominantemente assexuada sob condições ambientais e nutricionais propícias. Contudo, quando os recursos nutricionais se encontram em níveis reduzidos, esses organismos tendem a recorrer à reprodução sexual como uma estratégia adaptativa.

Através do processo mitótico, observa-se a geração de conídios (esporos assexuados), destacando-se como a principal atividade no ciclo de reprodução assexuada dos fungos filamentosos. No contexto da reprodução sexual, ocorre a fusão nuclear, resultando na formação de esporos (esporos sexuados) mediante o processo de meiose, conforme discutido por Walker e White (2017). Subsequentemente, em ambientes propícios, tanto os esporos sexuados quanto os assexuados têm a capacidade de germinar e desenvolver-se como novas hifas e micélios.

Quando aplicados ao cotidiano, os fungos por muito tempo eram identificados apenas pelo seu papel significativo no processamento e degradação de alimentos (Sugiharto, 2019). Além disso, eles são associados a contaminação de

alimentos, ocorrência de doenças e produção de micotoxinas tóxicas ao ser humano. Entretanto, distante de seus efeitos prejudiciais, estudos recentes demonstram o potencial da utilização de alguns fungos filamentosos na indústria farmacêutica (Jozala et al., 2016; Wanaina, Tagerzadeh, 2023) ou como probióticos na avicultura (Sugiharto, 2017). Eles também podem atuar na fermentação de resíduos diversos devido a sua maquinaria enzimática complexa e variada. É possível encontrar uma gama de enzimas nos fungos como exemplo:  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -xilosidase, celulase, xilanase, lignina peroxidase, manganês peroxidase, lacase e glucoamilase (Wanaina, Tagerzadeh, 2023). Eles também podem ser utilizados na biossíntese de nanopartículas (Mishra et al., 2014; Molnár et al., 2017) podendo ser utilizados como nanomateriais na produção de aparelhos fotovoltaicos, células-solares e catalisadores.

#### 2.4.1 BASIDIOMICETOS

Os fungos podem ser divididos em quatro filos fundamentais conforme suas características e especificidades como tipo de reprodução, microestruturas especializadas e peculiares. São eles: *Deuteromycota*, *Basidiomycota*, *Ascomycota* e *Zygomycota* (Bononi et al., 1999).

O filo *Basidiomycota* e *Ascomycota* é onde são encontrados os cogumelos. Nos basidiomicetos, a produção de esporos, denominados basidiósporos, ocorre nos basídios — estruturas microscópicas formado pelas hifas, e estão localizados no himênio. Normalmente, cada basídio gera quatro esporos, embora esse número possa variar de dois a oito. De acordo com Kirk et al., 2008, estima-se que existam cerca de 30.000 espécies de basidiomicetos, representando aproximadamente 37% do total de fungos verdadeiros.

Além disso, os basidiomicetos destacam-se devido as suas notáveis capacidades de adaptação para enfrentar condições adversas no ambiente, onde desempenham consistentemente o papel de degradadores naturais de lignocelulose (Uber et al., 2023). Esses fungos possuem dois sistemas enzimáticos extracelulares distintos que são responsáveis pela degradação da biomassa vegetal: (1) um sistema hidrolítico capaz de degradar polissacarídeos, composto principalmente por xilanasas e celulases, e (2) um sistema lignolítico oxidativo único capaz de degradar lignina e abrir anéis fenólicos, composto por lacases, lingninasas e peroxidases. Essa capacidade de degradação e maquinaria enzimática possibilita a aplicação desses fungos em diversas áreas como na exploração da biomassa lignocelulósica na produção de etanol combustível e outros compostos químicos, em processos de biodegradação e biorremediação.

#### **2.4.2 *Pleurotus ostreatus***

O gênero *Pleurotus* engloba cerca de 40 espécies e são cogumelos prevalentes em regiões tropicais e subtropicais, sendo de fácil cultivo artificial. As espécies notáveis do gênero incluem: *P. ostreatus*, *P. sajorcaju*, *P. florida*, *P. flabellatus*, *P. highbing 51*, *P. cystidiosus*, *P. sapidus*, *P. eryngii*, *P. tuberegium*, *P. ulmarium*, *P. pulmonarius*, *P. citrinopileatus*, *P. geesteranus*, entre outros (Chang, Miles, 1989; Kues, Liu, 2000; Deepalakshmi, Mirunalini, 2013). *P. ostreatus* é também chamado de cogumelo-ostra e é amplamente conhecido por suas capacidades medicinais e em seus valores nutricionais. Os cogumelos, no geral, são conhecidos desde os primórdios como comida e estudos mostram que eles possuem propriedades anticancerígenas, antimicrobiana, antioxidante, antivirais, estimulantes da resposta imune, antidiabéticas e outras (Khan, Tania, 2012). Os cogumelos *Pleurotus*

demonstram uma notável capacidade de adaptação a uma ampla variedade de substratos, dispensando a necessidade de um processo prévio de compostagem.

De acordo com Alexopoulos et al., 1996, a descrição taxonômica de *P. ostreatus* é descrita como:

- Reino Fungi
- Subreino Fungi Superior
- Divisão *Basidiomycota*
- Subdivisão *Basidiomycotina*
- Classe *Himenomycetes*
- Ordem *Agaricales*
- Família *Tricholomataceae*
- Gênero *Pleurotus*
- Espécie *ostreatus*



**Figura 1: placa colonizada com *Pleurotus ostreatus*.**

O gênero *Pleurotus* já é conhecido por suas capacidades de degradação de variados substratos e a posterior formação de um biomaterial como demonstrado por Balaes, Radu, Tanase, 2023. Entretanto, é encontrando na literatura, problemas a respeito da resistência e proteção desses biomateriais formados. Dessa forma é necessário buscar soluções e alternativas que tragam uma maior flexibilidade e resistência desses materiais.

## **2.5 RESINAS NATURAIS**

Na natureza é possível encontrar uma imensa diversidade de metabolismos. Entre as plantas, é comum encontrar organismos responsáveis por produzir subprodutos durante suas atividades. Subprodutos, por exemplo, com bioativos capazes de estimular propriedades antioxidantes (Assimopoulou, Zlatanov, Papageorgiou, 2005). Alguns desses subprodutos das plantas são as gomas, resinas

naturais e o látex. De acordo com Murthy, 2021, as gomas vegetais possuem aplicações em alimentos, cosméticos, farmacêuticos e industriais; Resinas vegetais têm várias aplicações terapêuticas e podem ser utilizadas em materiais industriais, como vernizes, tintas de impressão, corantes, desinfetantes e materiais de perfumaria; Já os látex vegetais contém uma variedade de fitoquímicos que garantem propriedades antibacterianas, antifúngicas, anti-helmínticas, entre outras. Pensando nessas diversas aplicações, as resinas vegetais representam uma alternativa sustentável e ecológica que pode ser utilizado na produção de um biomaterial trazendo funcionalidades como: proteção, resistência e coloração.

### **2.5.1 RESINA DE BREU**

Atualmente, a produção de goma do pinheiro é economicamente significativa em muitos países, com o Brasil destacando-se como um dos principais produtores, logo após a China. Inicialmente, seu propósito era fornecer matéria-prima para as indústrias de papel e celulose. Contudo, ao longo do tempo, descobriu-se que a resinagem de pinheiros vivos possibilitava a extração da goma do pinheiro, e, a partir dela, derivar a terebintina e a colofônia, também conhecida como breu. Essas substâncias são reconhecidas como as resinas de pinus. Dessa forma, o breu representa a forma sólida das resinas extraídas de pinheiros e plantas afins pertencentes à família das coníferas (Mahendra, 2018). Ele é obtido por meio do aquecimento da resina líquida, com o intuito de vaporizar os terpenos líquidos voláteis, os quais constituem um amplo grupo de hidrocarbonetos insaturados.

A resina do pinheiro é um líquido viscoso produzido pelas células especiais presentes nos canais de resina das árvores de coníferas. Ela é composta principalmente por 66% de ácidos resínicos, 25% de terebintina (um tipo de óleo

essencial), 7% de substâncias neutras que não evaporam facilmente e 2% de água. Na indústria, a resina é separada em dois produtos: breu e terebintina (Castro, 2002.). O breu se destaca pela sua capacidade impermeabilizante em cordas e tecidos. Ele é um produto sólido, de cor amarelada, resultante do processo de destilação da goma de pinus.

### **2.5.2 RESINA DE CARNAÚBA**

A cera de carnaúba, um produto de destaque na indústria, é produzida pela palmeira brasileira *Copernicia cerifera* Martius, conhecida popularmente como palmeira da cera de carnaúba. Esta cera vegetal é considerada a mais relevante comercialmente. A extração e exportação da cera de carnaúba representam uma indústria significativa no Brasil. A cera é encontrada tanto na face superior quanto na inferior das folhas da palmeira (Howes, 1936).

A cera de carnaúba possui uma gama diversa de aplicações, indo desde sua utilização na indústria alimentícia até cosméticos, ceras para automóveis e moveis, moldes para dispositivos semicondutores e revestimento para fio dental (Tinto, Elufioye, Roach, 2017). Além disso, ela desempenha um papel fundamental como agente endurecedor em diversas formulações de ceras, e contribui para aumentar os pontos de fusão em misturas de ceras. Adicionalmente, ela é empregada como componente em polimentos destinados a móveis, artigos de couro e calçados (Bayer *et al*, 2011).

Dessa forma, é de grande interesse entender as diferentes possibilidades que a aplicação dessas resinas sobre o biomaterial fúngico pode trazer. Tanto para a formulação de biomateriais mais complexos quanto para a coloração natural e proteção contra outros microrganismos, umidade e calor.

## 2.6 BIOMATERIAIS FÚNGICOS

Em 2012, Myers definiu o termo “biodesign” em seu livro “*Biodesign. Nature, science, creativity*” como: “refere-se especificamente à incorporação de organismos vivos ou ecossistemas como componentes essenciais, melhorando a função da obra final [...]” (2018, p8). Posteriormente, o termo passou a ser utilizado e adotado por diferentes autores e pesquisadores (Strobel, 2023) que ressaltaram que o biodesign é tornar a utilização de organismos vivos para a composição de objetos, tanto de forma estrutural, como ferramenta, em novas funções de produtos ou com uma intenção voltada a sustentabilidade (Vettier, 2019).

A aplicação de fungos para a formação de biomateriais vem ganhando cada vez mais destaque. Além de seu custo considerado reduzido, ele também apresenta viés ambiental e social através de seu modelo sustentável. Já é possível encontrar marcas utilizando o micélio fúngico em projetos de arquitetura fornecendo diversos formatos geométricos e modelos com variadas morfologias e aspectos (Almpani-Lekka *et al*, 2021). Esses microrganismos também estão sendo testados para poderem serem utilizados em outros setores como a moda, através da produção de um couro micelial como demonstrado pela empresa norte americana *Mycoworks*. Esses novos materiais semelhantes ao couro são completamente biodegradáveis no final de sua longa vida útil.

Essa variedade de aplicações se dá devido a plasticidade dos compostos miceliais. De acordo com a abordagem do trabalho, é possível encontrar e produzir modelos de design com formas livres. Isso é possível devido a composição do micélio — quitina, celulose, proteínas e outros polímeros naturais — trazendo um aspecto mais fibroso e natural (Zeller, Zocher, 2011; Mandal, Krishnan, 2021).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MICRORGANISMO

Uma linhagem comercial de *Pleurotus ostreatus*, previamente armazenada e preservada em técnica *Castellani* (1939). O microrganismo foi inoculado e cultivado em placas de Petri esterilizadas contendo meio de Batata Dextrose Ágar (BDA) e mantido em incubação a 28°C por um período de sete a dez dias, ou até que o crescimento micelial se completasse em toda a extensão da placa. As placas foram então armazenadas sob refrigeração para a posterior utilização.

#### 3.2 PREPARAÇÃO DO PRÉ-INOCULO

Para a realização do procedimento foram feitos pacotes de polipropileno contendo 50 gramas de gérmen de trigo, 50 gramas de farelo de trigo e umedecidos com água destilada, totalizando 100 g de material. Placas de Petri contendo os mesmos materiais e as mesmas porcentagens também foram preparados. A preparação e utilização desse substrato mais nutritivo teve como base estudos realizados anteriormente em nosso laboratório (Ratuchne *et al*, 2023) para entender a viabilidade dos nutrientes para o crescimento do *Pleurotus ostreatus*.

Os ensaios então foram esterilizados a 121 °C por 15 minutos. Após o processo de esterilização e resfriamento, os pacotes e as placas foram inoculados com 10 *spots* do micélio fúngico medindo 5mm de diâmetro, anteriormente isolado em placa de Petri. O *Spawn* permaneceu incubado a 28 °C até que o fungo conseguisse colonizar todo o substrato.

### 3.3 SUBSTRATO PARA O BIOMOLDE

Para o desenvolvimento do biomolde final, foram testadas diferentes concentrações de substratos utilizando os resíduos agroindustriais com o objetivo de construir um material mais sólido, resistente e que atendesse as necessidades propostas com o produto. Os resíduos agroindustriais utilizados foram a casca de aveia, a borra de café e a serragem. Sua concentração variava, respectivamente, entre: casca de aveia (100-20%), serragem (45-0%) e borra de café (45-0%). Foram realizados no total 9 experimentos com variações nas concentrações dos substratos em triplicata analisando a velocidade de crescimento do fungo ao longo de 7 dias em uma placa de Petri.

**Tabela 1: Proporções dos substratos serragem, casca de aveia e borra de café em nove testes e variações nas proporções.**

Testes	Serragem (%)	Casca de aveia (%)	Borra de café (%)
1	30	40	30
2	35	30	35
3	40	20	40
4	33,3	33,3	33,3
5	45	10	45
6	30	60	10
7	20	70	10
8	0	80	20
9	0	100	0

O crescimento foi mensurado todos os dias, durante sete dias experimentais. Neste contexto, observar as melhores condições de substrato ao crescimento fúngico.



**Figura 2: Substratos nas placas de Petri e o micélio fúngico.**

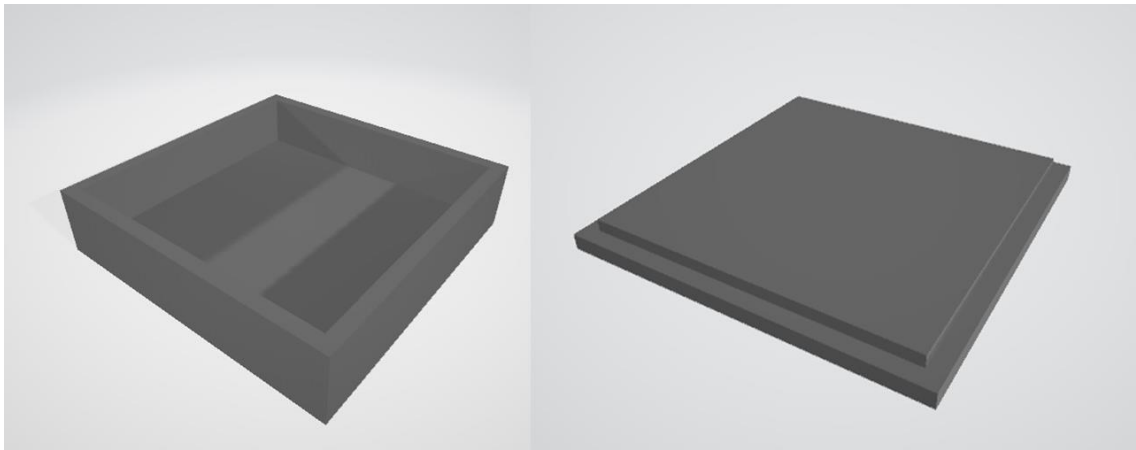


**Figura 3: Substratos na placa de Petri totalmente colonizado.**

### **3.4 DESENVOLVIMENTO DO BIOMOLDE**

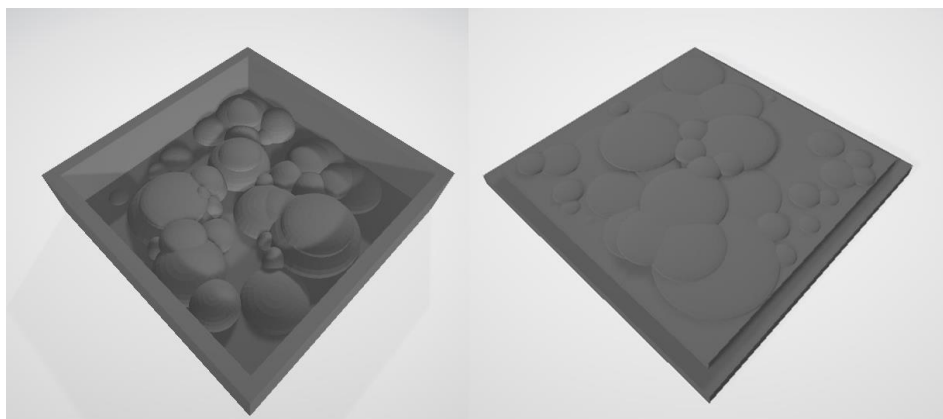
Sendo assim, foi escolhido o substrato do teste 3 e 4, que variava entre 33,3-40% de serragem, 20-33,3% de casca de aveia e 33,3-40% de borra de café para a formação do biomaterial utilizando o biomolde final.

O molde do biomaterial foi produzido e impresso em parceria com o Fab.i H.U (Núcleo de Fabricação Digital e Inovação do HU-UEL — Universidade Estadual de Londrina) sob parceria do professor Dr. Cláudio Pereira de Sampaio. O molde foi desenvolvido no programa Blender, um software de modelagem 3D aberto e gratuito. Foram desenvolvidos no total 3 moldes.



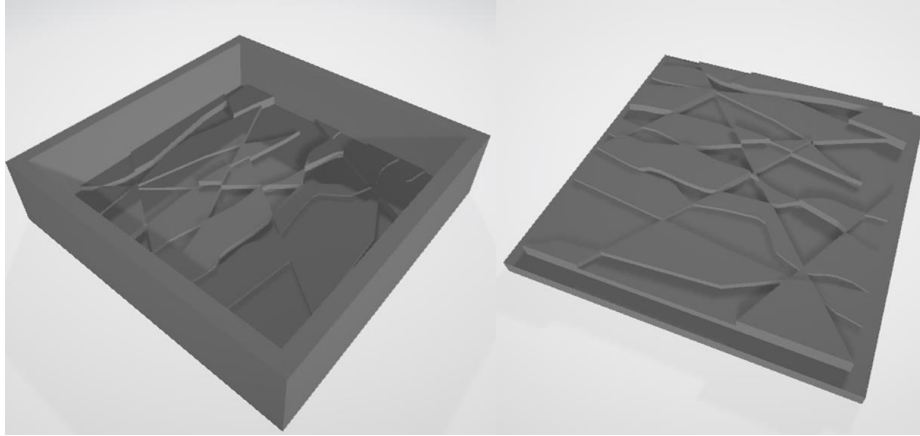
**Figura 4: molde 01 desenvolvido no Blender.**

**Fonte: Brunna G. Ramos.**



**Figura 5: molde 02 desenvolvido no Blender.**

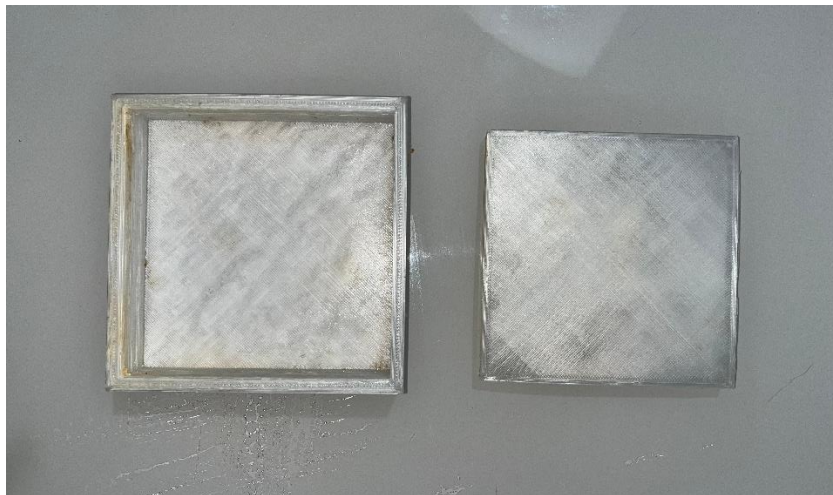
**Fonte: Brunna G. Ramos.**



**Figura 6: molde 03 desenvolvido no Blender.**

**Fonte: Brunna G. Ramos.**

Posteriormente, os moldes foram impressos em uma impressora 3D do laboratório de design de moda da Universidade Estadual de Londrina, exceto o molde 03 que foi impresso no FabLab de Curitiba. O material utilizado na impressão foi o PLA (ácido poliláctico) e ABS (acrilonitrila butadieno estireno). Esses moldes foram então desinfetados na imersão em hipoclorito e uma lavagem com detergente. Posteriormente foi deixado em luz ultravioleta por 15 minutos dentro do fluxo laminar.



**Figura 7: molde 01 impresso.**



**Figura 8: molde 02 impresso.**



**Figura 9: molde 03 impresso.**

O resíduo têxtil utilizado tem origem de roupas pós uso e desfibrada, e foi retirado do banco de resíduos têxteis com tamanho padronizado e picotado. Sua composição era de 100% algodão.



**Figura 10: resíduo têxtil que foi incorporado ao biomaterial.**

Com o molde e os materiais já esterilizados, foram colocados os resíduos conforme as porcentagens do teste 3 e 4 de serragem, casca de aveia e borra de café. Após, foi feito o acréscimo 1% de resíduo têxtil e 5% de Spawn fúngico e então umedecidos com água destilada. Por fim o ensaio foi incubado por 30 dias até o crescimento total do micélio fúngico. Após o crescimento do micélio, o biomaterial formado foi colocado em uma estufa a 60°C por 48 horas para a dessecação do material e morte do microrganismo.

### **3.5 APLICAÇÃO DE RESINAS**

As resinas foram compradas em uma loja virtual chamada GM Ceras. Após a dessecação do biomaterial formado, foram testados os 2 diferentes tipos de resina no exterior do material — resina de pinho e resina de carnaúba e uma mistura destas com glicerina vegetal — com o objetivo de tornar o material mais resistente, agradável visualmente e duradouro. Para a aplicação da resina foram utilizadas as técnicas de mergulho do biomaterial dentro dessas resinas e a aplicação da resina sob

o produto utilizando pincel. A seleção das resinas foi feita de acordo com a disponibilidade, facilidade de acesso e utilizações já existentes delas na indústria.

**Tabela 3: Testes realizados com as diferentes resinas.**

<b>Testes</b>	<b>Componentes</b>	<b>Método</b>
1	Resina de breu	Pincel e imersão
2	Resina de carnaúba	Pincel e imersão
3	Resina de carnaúba, resina de pinho e glicerina em porcentagens idênticas.	Pincel e imersão

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

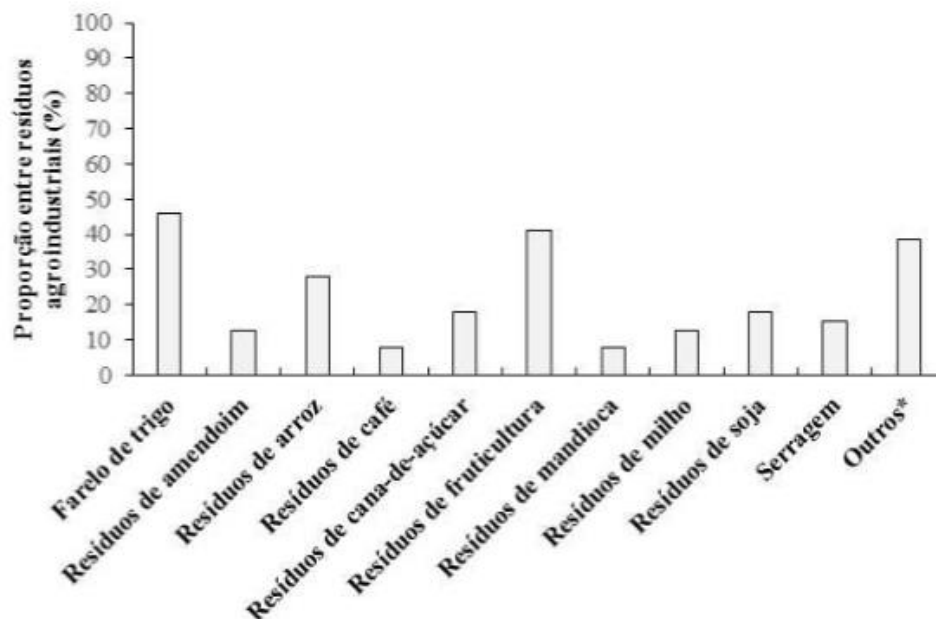
Após os sete dias de incubação a 28 °C do fungo sobre os diferentes substratos, os resultados a respeito dos crescimentos podem ser visualizados na tabela 2, logo abaixo.

**Tabela 2: Crescimento micelial nos diferentes substratos.**

<b>Testes</b>	<b>Média do crescimento ao longo dos dias (cm)</b>	<b>Média do tamanho final (cm)</b>
1	0,48	3,36
2	0,7	4,93
3	0,65	4,6
4	0,57	4,03
5	0,41	2,93
6	0,59	4,13
7	0,7	4,9
8	0,45	3,2
9	0,63	4,43

É possível visualizar que os testes 2, 3, 7 e 9 se destacaram na velocidade de crescimento micelial e seu tamanho final. Os testes que apresentaram os piores crescimentos foram: 1, 5, 8. Contudo, com esses resultados não fica claro uma relação entre os componentes dos substratos e a velocidade do crescimento micelial.

Em um trabalho similar, Santos *et al.* 2018, foi analisado a proporção de resíduos agroindustriais que são empregados para a fermentação em estado sólido. O autor destacou os resíduos da fruticultura, em especial as cascas, polpas, bagaço e sementes de frutas. Os autores também evidenciam que os componentes à base de trigo apresentam uma capacidade superior de promover a produção de celulasas em comparação com outros resíduos.



**Figura 11:** Proporção de resíduos agroindustriais utilizados como substratos em FES. **Fonte: Santos et al 2018.**

A proporção de substratos dos testes 3 (40% de serragem, 20% de casca de aveia e 40% de borra de café) e 4 (33,3% de serragem, 33,3% de casca de

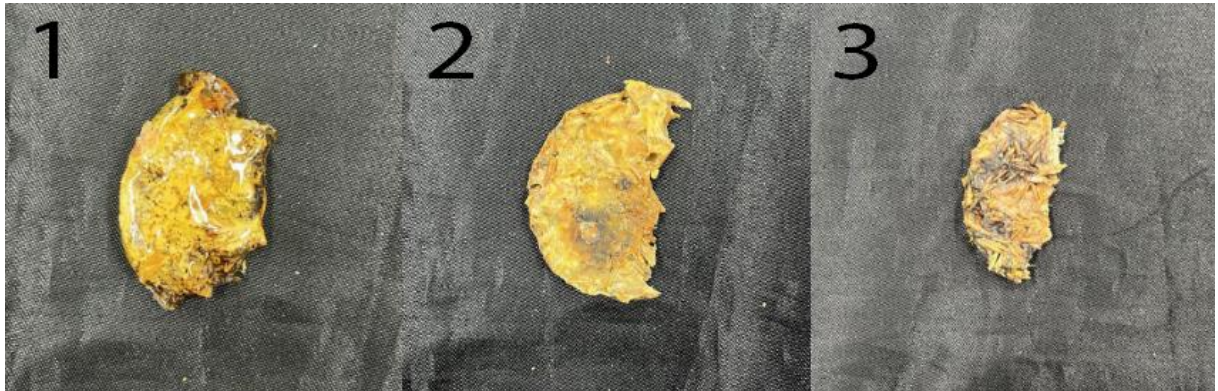
aveia e 33,3% de borra de café), apresentaram as melhores características de resistência e textura para o posterior biomaterial. Eles estavam menos quebradiços e mais uniformes em relação ao crescimento micelial quando comparado com os outros. Era possível visualizar que os biomateriais que continham uma porcentagem mais elevada de casca de aveia apresentavam o material menos resistente e mais aerado, o que o tornava menos compacto — uma dificuldade que deve ser evitado na produção de biomateriais. Na figura 1, é possível visualizar que resíduos do café e a serragem não são frequentemente utilizados quanto os derivados do trigo e resíduos da fruticultura em relação a produção enzimática de uma FES. Porém, no trabalho realizado, eles trouxeram características ao biomaterial que compensavam as dificuldades ocasionadas pela casca de aveia. Por conta da borra de café e da serragem serem componentes menores, eles traziam essa compactação e diminuía essa areação provocada com o excesso de casca de aveia. Dessa forma, essa característica foi usada como determinante para a seleção do substrato utilizado para o biomaterial final.

Os biomateriais que foram testados com as diferentes resinas podem ser visualizados nas figuras abaixo.



**Figura 12: biomateriais testados com as diferentes resinas utilizando o pincel.** Legenda: 1 – biomaterial com resina de breu; 2 – biomaterial com

resina de carnaúba; 3 – biomaterial com resina de breu, carnaúba e glicerina vegetal em mesma proporção.



**Figura 13: biomateriais testados com as diferentes resinas utilizando a técnica de imersão.** Legenda: 1 – biomaterial com resina de breu; 2 – biomaterial com resina de carnaúba; 3 – biomaterial com resina de breu, carnaúba e glicerina vegetal em mesma proporção.

É possível visualizar que os biomateriais testados utilizando a técnica de imersão sofreram uma quebra de sua forma. Isso ocorreu por conta da temperatura elevada das resinas quando em contato com o biomaterial, que o quebrava no momento da retirada das resinas. Isso evidencia que a técnica de mergulho não é a melhor escolha de tratamento para esses biomateriais. Com a técnica do pincel é visível que o biomaterial não sofreu danos e manteve seu formato inicial. Além disso, o controle das resinas é muito maior, o que trouxe uma facilidade maior em manusear os materiais.

Por conta das diferentes características e propriedades das resinas, cada uma delas forneceu aspectos e texturas diferentes para os biomateriais. A resina de breu promoveu e forneceu uma aparência mais brilhante ao biomaterial e não trazia um aspecto de cera. Ao contrário da resina de carnaúba, que acarretou um aspecto mais fosco ao biomaterial e semelhante ao de cera da vela. Era visível também que entre as duas resinas, o breu permaneceu mais resistente enquanto a carnaúba em certos pontos se tornava frágil e levemente quebradiça.

A glicerina vegetal, na mistura do teste 3, foi pensada pela promoção de flexibilidade e possibilidade em tornar o biomaterial mais plástico. Este teste utilizando as duas resinas e a glicerina vegetal não trouxe o aspecto característico do breu e nem da carnaúba. Ele aparentou uma mescla entre os dois. Entretanto, o biomaterial absorveu mais desta mistura, ao contrário das duas resinas, que acabavam por permanecer mais sobre a superfície do biomaterial.

Contudo, não foi realizado testes mais detalhados e profundos a respeito, por exemplo, da diferença de resistência que cada uma das resinas forneceu ao biomaterial. Este tipo de resultado se deu de forma mais qualitativa e visual. A respeito do design e textura que as resinas trazem ao biomaterial, são resultados subjetivos, mas esteticamente o breu é mais agradável. Pensando nas formas de aplicação do material, a resina de pinho fez o acabamento ficar com toque de aspecto “colante”, que a depender da aplicação (projetos de interiores ou acessórios de moda por exemplo) poderia gerar certos desconfortos.

Os biomateriais quando formados utilizando os moldes impressos em impressora 3D trouxeram algumas adversidades. Os moldes 2 e 3, que possuíam mais textura e um design mais “complexo”, não conseguiram trazer a resistência e estrutura para o micélio não se quebrar. Enquanto o molde 1, na qual era formado uma superfície lisa, não foram encontrados problemas na formação. Isso pode ter ocorrido devido a problemas de impressão que encontramos nos moldes 2 durante o fatiamento do molde, que resultaram em alguns fiapos que podiam dificultar a retirada do biomaterial do molde.



**Figura 14: biomaterial formado utilizando o molde 1.**



**Figura 15: biomaterial formado utilizando o molde 2.**

Dessa maneira, o molde 03 foi desenvolvido e impresso no FabLab, laboratório de fabricação por prototipagem com chancela do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), em Curitiba. Entretanto, apesar de ele ter adquirido o aspecto necessário e sem problemas na impressão, como demonstrado na figura 9, sua fermentação não completou 30 dias até a entrega do trabalho, o que impediu de trazer resultados a respeito do biomaterial. Isso ocorreu devido à distância do laboratório até Londrina e ao tempo de espera para a impressão do material somado ao longo tempo de fermentação para a produção final do biomaterial.

## 5. CONCLUSÕES

Desta forma, foi importante o estudo realizado pela possibilidade de entender como as resinas e os biomateriais fúngicos iriam interagir, qual a melhor utilização delas e se elas de fato acrescentariam fatores positivos aos biomateriais. Ao fim, foi possível visualizar as diferenças de aplicações dessas resinas. O biomaterial que mais aparentou resistência e satisfação foram os que possuíam um substrato composto de: 40% de serragem, 20% de casca de aveia e 40% de borra de café ou 33,3% de serragem, 33,3% de casca de aveia e 33,3% de borra de café, com posterior acréscimo de 1% resíduo têxtil e 5% de inóculo fúngico. Com o trabalho, ficou claro a importância e possibilidade da inserção de resíduos agrícolas e industriais na produção de objetos e materiais, de maneira mais sustentável e ecológica. Além disso, foi muito importante o entendimento da interdisciplinaridade entre o entendimento biológico e do design para a construção do biomaterial final.

Ficou evidente que o tratamento das resinas utilizando a metodologia do pincel foi mais eficiente do que a técnica de imersão. Por fim, para a resposta de qual resina foi mais eficiente seria necessário a realização de testes relacionados a resistência desses biomateriais.

Em estudos futuros, é possível realizar testes que analisam as enzimas secretadas pelo fungo e buscar entender a porcentagem de aproveitamento de cada um dos resíduos agroindustriais para então visualizar se o substrato pode ser aprimorado. Além disso, é possível realizar testes que evidencie se está ocorrendo alguma degradação do resíduo têxtil ou se ele está apenas sendo incorporado como biomaterial, e não assimilado pelo metabolismo do fungo, ocasionando sua biodegradação semelhante ao trabalho de Ratuchne *et al.*, 2023.

É possível e necessário realizar estudos a respeito da resistência a adversidades que esses biomateriais podem sofrer como: alteração de temperatura, pH, umidade do ambiente, presença ou ausência de sol, entre outros com um tempo de estudo mais prolongado.

## REFERÊNCIAS

ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKWELL, M. (1996). **Introductory Mycology**. 4<sup>a</sup> ed. New York: Wiley.

ALMPANI-LEKKA, D. et al. A review on architecture with fungal biomaterials: the desired and the feasible. **Fungal Biology and Biotechnology**, v. 8, n. 1, 19 nov. 2021.

ANAND, A. et al. Assessment of crop residues-based electricity generation potential for energy security in Bangladesh. **Bioresource Technology Reports**, v. 15, p. 100812, set. 2021.

ARTUR SPAT RUVIARO et al. Characterization and investigation of the use of oat husk ash as supplementary cementitious material as partial replacement of Portland cement: Analysis of fresh and hardened properties and environmental assessment. **Construction and Building Materials**, v. 363, p. 129762–129762, 1 jan. 2023.

ASSIMOPOULOU, A.; ZLATANOS, S.; PAPAGEORGIOU, V. Antioxidant activity of natural resins and bioactive triterpenes in oil substrates. **Food Chemistry**, v. 92, n. 4, p. 721–727, out. 2005.

AUSTRALASIAN CIRCULAR TEXTILE ASSOCIATION . **Thread Count NSW Textile Data Report**. 2021. Disponível em: <<https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate-site/resources/recycling/thread-count-report.pdf>>.

BALAES T, RADU B-M, TANASE C. Mycelium-Composite Materials—A Promising Alternative to Plastics? **Journal of Fungi**. 2023; 9(2):210.

<https://doi.org/10.3390/jof9020210>

BHARGAV, S. et al. **Solid-state Fermentation: An Overview**. Acesso em: 20 abr. 2024.

BIASI, C. A. F. **DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura**, 12 set. 2017. Disponível em: <[https://www.abras.com.br/pdf/Apresent\\_FAO.pdf](https://www.abras.com.br/pdf/Apresent_FAO.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2024

BONONI, V.L.; CAPELARI, M.; MAZIERO, R.; TRUFEM, S.F.B. Cultivo de cogumelos comestíveis. Icone Editora, São Paulo, 206p, 1999.

BOULTON, J. & MCCALLION, A., CURTIS, J. **Transitioning to a circular textile economy in Australia – Summary of Findings**. Monash University, 2020.

CASTRO, P. R. C. **Fisiologia da Produção de Resina em Pinus**. jun. 2017. Disponível em: <<https://www.aresb.com.br/portal/wp-content/uploads/2017/06/FISIOLOGIA-DA-PRODU%C3%87%C3%83O-DE-RESINA-EM-PINUS.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2024

CHANG, S. T.; MILES, P. G. **EDIBLE MUSHROOMS & THEIR CULTIVATION**. 1. ed. Universidade de Minnesota: CRC-Press, 1989. p. 1–345

COELHO, Andriéli Aparício. **RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE AVEIA: APLICAÇÃO EM ALIMENTOS E SEUS IMPACTOS - UMA REVISÃO**. Tese (Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2020.

COLE, G. T. **Medical Microbiology**. 4. ed. University of Texas Medical Branch at Galveston, Galveston, Texas: S. Baron, 1996.

DEEPALAKSHMI, Krishnamoorthy; SANKARAN, Mirunalini. Pleurotus ostreatus: an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. **Journal of Biochemical Technology**, v. 5, n. 2, p. 718-726, 2014.

DYER, P. S.; PAOLETTI, M. Reproduction in *Aspergillus fumigatus*: sexuality in a supposedly asexual species? **Medical mycology**, v. 43 Suppl 1, p. S7-14, 2005.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future** (2017). Disponível em:

<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>>.

**Ellen MacArthur Foundation**, *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition* (2015).

FARINAS, C. S. Developments in solid-state fermentation for the production of biomass-degrading enzymes for the bioenergy sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 179–188, dez. 2015.

FRÅNE, A. et al. The Nordic textile reuse and recycling commitment – a certification system for used textiles and textile waste . **Nordic Council of Ministers**, p. 1–116, 2017.

HOLE, G.; HOLE, A. S. Recycling as the way to greener production: A mini review. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, n. 1, p. 910–915, mar. 2019.

MURTHY, HOSAKATTE NIRANJANA. Chemical Constituents and Applications of Gums, Resins, and Latexes of Plant Origin. **Reference series in phytochemistry**, p. 1–21, 1 jan. 2021.

HOWES, F. N. Sources of Vegetable Wax. **Bulletin of Miscellaneous Information (Royal Gardens, Kew)**, v. 1936, n. 10, p. 503, 1936.

JOZALA, A. F. et al. Biopharmaceuticals from microorganisms: from production to purification. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 1, p. 51–63, dez. 2016.

JUNG, K.-W. et al. Two-stage UASB reactor converting coffee drink manufacturing wastewater to hydrogen and methane. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 9, p. 7473–7481, maio 2012.

KHAIRE, K. C.; MOHOLKAR, V. S.; GOYAL, A. Bioconversion of sugarcane tops to bioethanol and other value added products: An overview. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 4, p. 54–68, 2021.

KHAN, M. I.; WANG, L.; PADHYE, R. Textile waste management in Australia: A review. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 18, n. 1, p. 200154, abr. 2023.

KHAN, MD. A.; TANIA, M. Nutritional and Medicinal Importance of Pleurotus Mushrooms: An Overview. **Food Reviews International**, v. 28, n. 3, p. 313–329, jul. 2012.

KIRK, P.M. et al. Dictionary of the fungi. 10 ed. CAB International, Wallingford. 2008

KÜES, U.; LIU, Y. Fruiting body production in basidiomycetes. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 54, n. 2, p. 141–152, 15 ago. 2000.

LUNARDI, J. S. **CULTIVO DE PLEUROTUS OSTREATUS UTILIZANDO BAGAÇO DE MALTE, SERRAGEM E CASCA DE ARROZ**. Trabalho de Conclusão de Curso

em Engenharia Química — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2019: [s.n.].

Madigan, Michael & Martinko, John. (1997). Brock Biology of Micro-Organisms. Prenticehall, inc.

MAHENDRA, V. Rosin Product Review. **Applied Mechanics and Materials**, v. 890, p. 77–91, abr. 2019.

MANDAL, Sunanda; KRISHNAN, Remya. Fungi: The budding source for biomaterials. *Microbial Biosystems*, v. 6, n. 1, p. 55-65, 2021.

MISHRA, A. et al. Biocatalytic and antimicrobial activities of gold nanoparticles synthesized by *Trichoderma* sp. **Bioresource Technology**, v. 166, p. 235–242, ago. 2014.

MOLNÁR, Z. et al. Green synthesis of gold nanoparticles by thermophilic filamentous fungi. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, 2 mar. 2018.

MURTHY, P. S.; MADHAVA NAIDU, M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 45–58, set. 2012.

MYERS, W. Biodesign. Nature, science, creativity. High Holborn: Thames & Hudson, 2018.

MYLENA UHLIG SIQUEIRA et al. Brazilian Agro-industrial Wastes as Potential Textile and Other Raw Materials: a Sustainable Approach. **Materials Circular Economy**, v. 4, n. 1, 26 jan. 2022.

PANDEY, Ashok. Solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, v. 13, n. 2-3, p. 81–84, 2003. DOI: 10.1016/s1369-703x(02)00121-3.

RAJESH BANU, J. et al. Biorefinery of spent coffee grounds waste: Viable pathway towards circular bioeconomy. **Bioresource Technology**, v. 302, p. 122821, abr. 2020.

RATUCHNE, A. et al. *Pleurotus ostreatus* and a novel fungal composite: Development and bioremediation of plastic wastes. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 19, p. 200167, 1 nov. 2023.

REDAELLI, R.; BERARDO, N. Prediction of fibre components in oat hulls by near infrared reflectance spectroscopy. **Journal of the Science of Food and Agriculture/Journal of the science of food and agriculture**, v. 87, n. 4, p. 580–585, 8 jan. 2007.

SADH, Pardeep. Kumar; DUHAN, Surekha; DUHAN, Joginder Singh. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. **Bioresour. Bioprocess.**, v. 5, n. 1, 2018. DOI: 10.1186/s40643-017-0187-z.

SANDRIN, Raceli. **Caracterização físico-química de diferentes frações da aveia (Avena Sativa L.) e atividade antioxidante de seus extratos**. Tese (Mestrado em Engenharia Química) - Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2013.

SANJAY MANDE. Biomass gasifier-based power plants: potential, problems, and research needs for decentralized rural electrification. 2005.

SANTOS. P.S, SOLIDADE. L.S, SOUZA. J.G.B, LIMA. G.S, BRAGA Jr. A.C.R, ASSIS. F.G.V. de, LEAL. P.L. Fermentação em Estado Sólido em Resíduos Agroindustriais para a Produção de Enzimas: Uma Revisão Sistemática. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Brasil, 4. , 2., 2018.

SCHNEIDER, V. E. et al. Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, p. 1–129, 2012.

SINGHANIA, R. R. et al. Recent advances in solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 44, n. 1, p. 13–18, abr. 2009.

STROBEL, Elisa. **DESIGN WITH THE LIVING - LEARNING TO WORK TOGETHER**. Tese (Doutorado em Design) - Pós Graduação em Design, Setor de Artes Comunicação e Design, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2023.

SUGIHARTO, S. et al. Effect of dietary supplementation with *Rhizopus oryzae* or *Chrysonilia crassa* on growth performance, blood profile, intestinal microbial population, and carcass traits in broilers exposed to heat stress. **Archives Animal Breeding**, v. 60, n. 3, p. 347–356, 29 set. 2017.

SUGIHARTO, S. A review of filamentous fungi in broiler production. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 64, n. 1, p. 1–8, jun. 2019.

TAMANINI, C. Evaluation of oat hull for biotechnological production of xylitol. **Acta scientiarum. Technology (Online)**, v. 26, n. 2, p. 117–125, 2008.

TINTO, W. F.; ELUFIOYE, T. O.; ROACH, J. Waxes. **Pharmacognosy**, p. 443–455, 2017.

UBER, T. M. et al. Enzymes from basidiomycetes—peculiar and efficient tools for biotechnology. **Elsevier eBooks**, p. 129–164, 1 jan. 2023.

VETTIER, L. Biodesign, comment penser la production avec le vivant? *Philosophical Readings*, v. 11, n. 1, p. 26-32, 2019.

WAINAINA, S.; TAHERZADEH, M. J. Automation and artificial intelligence in filamentous fungi-based bioprocesses: A review. **Bioresource Technology**, v. 369, p. 128421, 30 nov. 2022.

WALKER, G. M.; WHITE, N. A. Introduction to Fungal Physiology. In: **Fungi: Biology and Applications**. [s.l.] Kevin Kavanagh, 2017. v. 3p. 1–34.

WANG, Y. Fiber and Textile Waste Utilization. **Waste and Biomass Valorization**, v. 1, n. 1, p. 135–143, 4 fev. 2010.

WELCH, R. W.; HAYWARD, M. V.; JONES, H. The composition of oat husk and its variation due to genetic and other factors. **Journal of the Science of Food and Agriculture/Journal of the science of food and agriculture**, v. 34, n. 5, p. 417–426, 1 maio 1983.

ZAMANI, Bahareh. **Carbon footprint and energy use of textile recycling techniques**. Tese (Mestrado em Ciências) - Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 2011.

ZELLER, Penelope; ZOCHER, Dena. Ecovative's breakthrough biomaterials. **Fungi Magazine**, v. 5, n. 1, p. 51-56, 2012.