

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE

MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOCMPÓSITOS OBTIDOS DO  
CULTIVO DE *Pleurotus sajor-caju* EM SUBSTRATO COMPOSTO POR BAGAÇO  
DE MALTE E FOLHAS DE BANANEIRA**

JOARA LÚCIA DO NASCIMENTO DESCHAMPS

JOINVILLE-SC

2020

JOARA LÚCIA DO NASCIMENTO DESCHAMPS

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOCOMPÓSITOS OBTIDOS DO  
CULTIVO DE *Pleurotus sajor-caju* EM SUBSTRATO COMPOSTO POR BAGAÇO  
DE MALTE E FOLHAS DE BANANEIRA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia de Processos, na Universidade da Região de Joinville. Orientadora: Dra. Elisabeth Wisbeck

JOINVILLE –SC

2020

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

D446p	<p>Deschamps, Joara Lúcia do Nascimento Produção e caracterização de biocompósitos obtidos do cultivo de Pleurotus sajor-caju em substrato composto por bagaço de malte e folhas de bananeira / Joara Lúcia do Nascimento Deschamps ; orientadora Dra. Elisabeth Wisbeck. – Joinville: UNIVILLE, 2020.</p> <p>93 p.: il.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos – Universidade da Região de Joinville)</p> <p>1. Resíduos vegetais - Reaproveitamento. 2. Produtos biodegradáveis. 3. Pleurotus. 4. Fungos – Cultura e meios de cultura. I. Wisbeck, Elisabeth (orient.). II. Título.</p> <p>CDD 620.192</p>
-------	---

## Termo de Aprovação

**“Produção e caracterização de biocompósitos obtidos do cultivo de *Pleurotus sajor-caju* em substrato composto por bagaço de malte e folhas de bananeira”**

por

Joara Lúcia do Nascimento Deschamps

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestra em Engenharia de Processos, área de concentração Desenvolvimento e Gestão de Processos e Produtos e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos.

Prof. Dra. Elisabeth Wisbeck  
Orientadora (UNIVILLE)

Prof. Dr. Ozair Souza  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

### Banca Examinadora:

Prof. Dra. Elisabeth Wisbeck  
Orientadora (UNIVILLE)



Documento assinado digitalmente  
Nelson Libardi Junior  
Data: 21/11/2020 08:35:29-0300  
CPF: 052.684.639-93

Dr. Nelson Libardi Junior  
(UFSC)

Prof. Dr. Ozair Souza  
(UNIVILLE)

Joinville, 28 de maio de 2020.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe Marise de Lourdes Deschamps pelo incentivo aos estudos e apoio para que esse sonho se realizasse.

Ao meu pai Lúcio Carlos Deschamps pelo apoio financeiro e pelo exemplo de persistência.

Ao meu amor, Bruno Rauffmann Kopsch por todo suporte, paciência e compreensão durante estes dois anos de laboratório.

À minha irmã Fernanda Cristina Deschamps Ratti pelo apoio, incentivo e presença nos momentos mais importantes.

À professora Dra. Elisabeth Wisbeck pela oportunidade de participar deste projeto, pela orientação deste trabalho e por todos os ensinamentos que levarei para a vida.

À professora Dra. Josiane Costa Riani pelo apoio técnico.

À professora Dra. Andréa Lima dos Santos Schneider pelo estágio de docência e por todos os incentivos e ensinamentos desde a graduação.

Às minhas companheiras de laboratório e pesquisas Eloísa Marschall e Náthali Vieira de Medeiros pelo comprometimento com o trabalho.

Aos funcionários, pesquisadores e professores da UNIVILLE que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela oportunidade de realizar o mestrado por meio de bolsa de estudo.

A todos, minha gratidão,

Joara Lúcia do Nascimento Deschamps

## RESUMO

Na última década vários estudos visando a produção de embalagens biodegradáveis vêm sendo realizados. Resíduos industriais, como bagaço de malte de cervejaria e folhas de bananeira, podem ser reaproveitados para este fim. Para cada 100 L de cerveja produzida são obtidos, aproximadamente, 20 kg de bagaço de malte. Já, o cultivo de banana, abundante na região de Joinville, gera 780 kg de folhas de bananeira para cada tonelada de banana industrializada. Esses resíduos, quando utilizados por fungos não patógenos, podem ser transformados em biocompósitos. O micélio fúngico age como ligante das partículas dos resíduos assumindo o formato do recipiente em que são cultivados, podendo substituir materiais como madeira, plástico e isopor. Fungos do gênero *Pleurotus* possuem a capacidade de metabolizar materiais lignocelulósicos e apresentam facilidade na manutenção das condições de cultivo, o que resultou no aumento da produção destes cogumelos no mundo. No entanto, após a produção de cogumelos, apesar da diminuição da massa de resíduos, ainda resta uma elevada quantidade de resíduo lignocelulósico, chamado substrato residual. Com o intuito de agregar valor a esses resíduos este trabalho teve, como principal objetivo, avaliar a produção de biocompósitos a partir do bagaço de malte adicionado de folhas de bananeira. Foram utilizados dois diferentes substratos para a produção dos biocompósitos: bagaço de malte misturado com folhas de bananeira (1:1) (substrato fresco) e bagaço de malte misturado com folhas de bananeira (1:1) após frutificação e colheita dos cogumelos (substrato residual). Esses substratos foram inoculados com 20% e 30% de *P. sajor-caju*, incubados a 30 °C, triturados e colocados em moldeiras. Após o preenchimento total do micélio fúngico, os biocompósitos foram secos a 40 e 60 °C e submetidos a análises de sorção de água, sorção de umidade do ar compressão, densidade aparente e biodegradabilidade em solo. Tanto para o substrato fresco quanto para o substrato residual a condição que utilizou 30% de inóculo e secagem a 60 °C foi definida como a ideal para o processo e apresentou um tempo global de processo de 18 e 23 dias, velocidade de secagem de 17,52 e 17,66 g/dia, sorção de água após 24 horas de imersão de 157,76 e 177,32%, sorção da umidade do ar de 7,1 e 6,6%, resistência a compressão de 0,015 e 0,04 MPa e densidade aparente de 164 e 242 kg/m<sup>3</sup>. Ambos os substratos apresentaram potencial para produção de biocompósitos no entanto o substrato residual promoveu uma maior resistência à compressão. A produção de biocompósitos no substrato residual tem como vantagem, ainda, a produção de cogumelos de *P. sajor-caju* agregando mais valor aos resíduos da indústria cervejeira e da bananicultura.

**Palavras Chave:** Biocompósitos, *Pleurotus sajor-caju*, micélio fúngico, bagaço de malte, resíduos industriais.

## ABSTRACT

In the last decade several studies aiming the production of biodegradable packaging have been carried out. Industrial waste, such as malt bagasse from breweries and banana leaves, can be reused for this purpose. For every 100 L of beer produced, approximately 20 kg of malt bagasse is obtained. Banana plantations, abundant in the Joinville region, generate 780 kg of banana leaves for every ton of industrialized banana. These residues, when used by non-pathogenic fungi, can be transformed into biocomposites. The fungal mycelium acts as a binder for the particles of the residues assuming the shape of the bowl which they are cultivated, and can replace materials such as wood, plastic and styrofoam. Fungi of the genus *Pleurotus* have the ability to metabolize lignocellulosic materials and the cultivation conditions are easy to maintain, which has resulted an increased production of these mushrooms in the world. However, after the production of mushrooms, despite the decrease in the mass of residues, a high amount of lignocellulosic residue, called residual substrate, remains. With the intention to add value to these residues this work has, as main objective, to evaluate the production of biocomposites made from malt bagasse added to banana leaves. Two different substrates were used for the production of biocomposites: malt bagasse mixed with banana leaves (1:1) (fresh substrate), and malt bagasse mixed with banana leaves (1:1) after fruiting and harvesting the mushrooms (residual substrate). These substrates were inoculated in 20% and 30% of *P. sajor-caju*, incubated at 30°C, triturated and placed in molds. After the total completion of the mycelia cells, the biocomposites were dried at 40 °C and 60 °C and submitted to analyses of water sorption, humidity sorption, compression, apparent density and soil biodegradability. Both for the fresh and the residual substrate the condition that used 30% inoculum and drying at 60 °C was defined as the ideal for the process and presented a global process time of 18 and 23 days, drying rate of 17.52 and 17.66 g/day, water sorption after 24 hours of immersion of 157.76 and 177.32%, air humidity sorption of 7,1 and 6.6 %, compressive strength of 0.015 and 0.04 MPa and apparent density of 164 and 242 kg/m<sup>3</sup>. Both substrates presented potential for biocomposite production, however the residual substrate promoted higher compressive strength. The production of biocomposites in the residual substrate also has the advantage of producing *P. sajor-caju* mushrooms, adding more value to the waste from the brewing and banana industry.

**Key-words:** Composite materials, *Pleurotus sajor-caju*, fungal mycelium, malt bagasse, industrial waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total de cervejarias no Brasil.....	20
Figura 2 - Principais resíduos gerados na indústria cervejeira .....	21
Figura 3 - Bagaço de malte. ....	22
Figura 4 - Ciclo de vida dos fungos .....	27
Figura 5 - Basidiomas de <i>Pleurotus sajor-caju</i> cultivados em bagaço de malte e folhas de bananeira. ....	28
Figura 6 - O ciclo de vida de materiais feitos de micélio. ....	30
Figura 7 - Esquema para produção de biocompósitos. (a) Preparo do substrato, inóculo e corpos de prova (b) Incubação e secagem. ....	31
Figura 8 - Diferentes designs apresentados pelo mundo feitos de micélio. (a) Estrutura em forma de árvore, construída quase inteiramente por micélio. (b) Cadeira com design arrojado, impressa em impressora 3D. (c) Arcos arquitetônicos, construídos com mais de um quilômetro de micélio. (d) Torres construídas com tijolos feitos de micélio. ....	32
Figura 9 - Produtos à base de micélio. (a) Bolsa feita pelo couro Mylo. (b) Sola de sapato utilizando o MycoFlex. (c) Isolante térmico. (d) Vasos de flores. (e) Embalagens para transporte. (f) Luminárias a base de micélio. ....	33
Figura 10 - Pacotes contendo substrato e o apontamento ao respiro de espuma. ...	38
Figura 11 - Biocompósitos antes e após o crescimento micelial. ....	39
Figura 12 - Esquema do processo de fabricação dos biocompósitos. ....	41
Figura 13 - Corpos de prova submetidos à imersão em água.....	42
Figura 14 - Análise de biodegradabilidade em solo, biocompósitos enterrados em Becker de 17 cm .....	44
Figura 15 - Tempo de crescimento micelial ( $t_c$ = dias necessários para a completa colonização fúngica do substrato) e tempo total do processo ( $t_t = t_c +$ dias para a completa recolonização fúngica nas moldeiras) para a produção dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco com 20 e 30% de inóculo. ....	45
Figura 16 - Curvas de secagem, massa (g) x tempo (dias), dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. ....	46

Figura 17 - Corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco. (a) 20% e 40 ° C; (b) 20% e 60 °C; (c) 30% e 40 ° C; (d) 30% e 60 °C. ....	47
Figura 18 - Sorção de água (AA%) em 2 e 24h de imersão dos biocompósitos de substrato fresco. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%. ....	48
Figura 19 - Influência da umidade do ar (AbsUar %) por tempo de exposição (dias) dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 (b) e 30% (a) de inóculo e secos a 40 e 60 °C. As linhas segmentadas com símbolo (▲) e (Δ) referem-se à medida da umidade relativa do ar e a temperatura ambiente, respectivamente, no momento da pesagem.....	49
Figura 20 - Tensão de compressão para os corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 ou 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C antes do período de exposição à umidade do ar e após o período de exposição à umidade do ar. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%. ....	51
Figura 21 - Biodegradabilidade dos biocompósitos de substrato fresco com 20% a 40 °C , 20% a 60 °C, 30 % a 40 °C e 30 % a 60 °C após 15, 30, 60 e 120 dias .....	52
Figura 22 - Tempo de crescimento micelial ( $t_c$ = dias necessários para a completa colonização fúngica do substrato) e tempo total do processo ( $t_t$ = $t_c$ + dias para a completa recolonização fúngica nas moldeiras) para a produção dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual com 20 e 30% de inóculo. ....	53
Figura 23 - Curvas de secagem dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 ou 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. ....	54
Figura 24 - Corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual (a) 20% e 40 ° C; (b) 20% e 60 °C; (c) 30% e 40 ° C; (d) 30% e 60 °C.....	56
Figura 25 - Sorção de água (AA%) em 2 e 24 h de imersão dos biocompósitos de substrato residual. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%. ....	57
Figura 26 - Influência da umidade do ar (AbsUar %) por tempo de exposição (dias) dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. As linhas segmentadas com símbolo (▲) e (Δ) referem-se à medida da umidade relativa do ar e a temperatura ambiente, respectivamente, no momento da pesagem.....	58

Figura 27 - Tensão de compressão para os corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C, antes do período de exposição à umidade do ar e após o período de exposição à umidade do ar. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.....	59
Figura 28 - Biodegradabilidade dos biocompósitos de substrato residual com 20% a 40 °C , 20% a 60 °C, 30 % a 40 °C e 30 % a 60 °C após 15, 30, 60 e 120 dias.....	61
Figura 29 - Corpos de prova dos biocompósitos produzidos com 30% de inóculo e secos a 60 °C em substrato (A) fresco e (B) residual.....	62
Figura 30 - Tempo total do processo ( $t_t$ ) ( $t_t = t_c +$ dias para a completa recolonização fúngica nas moldeiras) e tempo global de processo ( $t_g = t_t +$ tempo de secagem) dos biocompósitos produzidos com 30% de inóculo e secos a 60 °C nos substratos fresco e residual.....	63
Figura 31 - Valores médios de teor de umidade inicial ( $U_i$ ) e final ( $U_f$ ) $\pm$ dp dos biocompósitos de substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%. .....	65
Figura 32 - Valores médios da massa final ( $M_f$ ) $\pm$ dp (g) dos biocompósitos de substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.....	65
Figura 33 - Sorção de água (AA%) em 2 e 24 h de imersão dos biocompósitos produzidos com 30% de inóculo e secos a 60 °C nos substratos fresco e residual. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%. .....	67
Figura 34 - Influência da umidade do ar (AbsUar %) por tempo de exposição (dias) dos biocompósitos de substrato fresco e residual produzidos com 30% de inóculo e secos a 60 °C. As linhas segmentadas com símbolo ( $\blacktriangle$ ) e ( $\triangle$ ) referem-se à medida da umidade relativa do ar e a temperatura ambiente, respectivamente, no momento da pesagem.....	70
Figura 35 - Tensão de compressão $\pm$ dp para os biocompósitos de substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C antes e após a exposição à umidade do ar. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%. .....	71

Figura 36 - Valores médios de densidade  $\pm$  dp ( $\text{kg/m}^3$ ) dos biocompósitos de substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.....72

Figura 37 - Biodegradabilidade dos biocompósitos de substrato fresco e residual com 30 % de inóculo e secos a 60 °C após 15, 30, 60 e 120 dias. ....77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição físico química do bagaço de malte. ....	23
Tabela 2 - Valores médios de teor de umidade inicial e final $\pm$ dp (%), velocidade de secagem $\pm$ dp (g/dia) e tempo de secagem (dias) dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. Letras iguais nas colunas, significam médias sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%. ....	46
Tabela 3 - Valores médios de densidade $\pm$ dp (kg/m <sup>3</sup> ) e tensão de compressão $\pm$ dp (MPa) dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. Letras iguais nas colunas, significam médias sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%. ....	51
Tabela 4 - Valores médios de teor de umidade inicial e final $\pm$ dp (%), velocidade de secagem $\pm$ dp (g/dia) e tempo de secagem (dias) dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. Letras iguais nas colunas, significam médias sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95% ....	55
Tabela 5 - Valores médios de densidade $\pm$ dp (kg/m <sup>3</sup> ) e tensão de compressão $\pm$ dp (MPa) dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 e 30% de inóculo no substrato residual e secos a 40 e 60 °C. Letras iguais nas colunas, significam médias sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%. ....	60
Tabela 6 - Comparação da resistência à compressão (MPa) e da densidade (kg/m <sup>3</sup> ) para biocompósitos produzidos por diferentes materiais e espécies fúngicas. Os trabalhos marcados com (*) não identificaram os resultados obtidos com as condições testadas, apresentando somente a variação obtida para os biocompósitos produzidos. ....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pesquisas envolvendo a utilização do bagaço de malte para aprimorar o seu aproveitamento .....	23
Quadro 2 - Pesquisas sobre o aproveitamento de folhas de bananeira .....	26
Quadro 3 - Pesquisas encontradas na literatura envolvendo biocompósitos fúngicos. ....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS

$A_0$	Área da seção transversal do corpo de prova
AA %	Percentual de sorção de água
ABIA	Associação Brasileira da Indústria de Alimentos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AbsUar %	Sorção da Umidade do ar
ACASC	Associação das Cervejarias Artesanais de Santa Catarina
ANOVA	Análise de Variância
d	Densidade aparente
dp	Desvio Padrão
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão Tecnológica
EPS	Poliestireno Expandido
$F$	Força de compressão
m	Massa
$M_0$ do ar	Massa inicial para análise da influência da imersão em água e umidade do ar
$M_{105\text{ °C}}$	Massa após a secagem a 105 °C
$M_1$ umidade do ar	Massa do corpo de prova após a influência da imersão em água e umidade do ar
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDF	Placa de fibra de média densidade
$M_f$	Massa final constante.
$M_i$	Massa inicial
MRG	Mesorregião
$M_t$	Massa medida a cada tempo de amostragem.
NBR	Norma Brasileira
OSB	Painel de Tiras de Madeira Orientadas
PIB	Produto interno bruto

PNRS	Política nacional dos resíduos sólidos
RUC	Resíduo úmido de cervejaria
$t_c$	Tempo de crescimento micelial
TDA	Trigo Dextrose ágar
$t_f$	Tempo final de secagem
$t_t$	Tempo total do processo
$U_{ar}\%$	Percentual de sorção de umidade do ar
$U_f \%$	Teor de umidade final
$U_i\%$	Teor de umidade inicial
$v$	Velocidade média de secagem
$V$	Volume
$\sigma_c$	Tensão de compressão

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS.....	18
3.2 SETOR CERVEJEIRO .....	19
3.2.1 Processo de produção de cerveja .....	20
3.2.2 Resíduos sólidos da produção de cerveja.....	21
3.3 PRODUÇÃO DE BANANA .....	24
3.3.1 Resíduos sólidos da bananicultura.....	24
3.4 FUNGOS BASIDIOMICETOS E O GÊNERO <i>Pleurotus</i> .....	26
3.5 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	29
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
4.1 MICRORGANISMO E MANUTENÇÃO .....	37
4.2 PREPARO DO INÓCULO .....	37
4.3 PRODUÇÃO DOS BIOCOMPÓSITOS.....	37
4.3.1 Preparo e inoculação dos substratos .....	37
4.3.2 Secagem dos corpos de prova dos biocompósitos .....	40
4.4 ANÁLISES DOS BIOCOMPÓSITOS.....	41
4.4.1 Influência da imersão em água .....	41
4.4.2 Influência da umidade do ar .....	42
4.4.3 Resistência a compressão e densidade aparente.....	43
4.4.4 Biodegradabilidade.....	43
4.4.5 Análise estatística .....	44

<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
5.1 BIOCOMPÓSITOS DE SUBSTRATO FRESCO .....	45
5.2 BIOCOMPÓSITOS DE SUBSTRATO RESIDUAL .....	53
<b>6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

## INTRODUÇÃO

O setor cervejeiro, criado em 1853, é um dos setores mais tradicionais e relevantes do Brasil. Está presente em todas as cidades do país, movimentando uma rede que envolve desde a pesquisa, o cultivo, o processamento a comercialização de insumos e matérias-primas até a entrega do produto ao consumidor (CERVBRASIL, 2016). O setor produz 14 bilhões de litros de cerveja por ano, é responsável por aproximadamente 2% do PIB e contribui com R\$ 25 bilhões de impostos ao ano (MAPA, 2019).

No entanto, como resultado dessa produção de cerveja, tem-se uma grande geração de resíduos, dentre eles o bagaço de malte, que é o subproduto do processo cervejeiro gerado em maior quantidade. Para cada 100 L de cerveja produzidos, são gerados de 20 a 30 kg de bagaço de malte (BONATO, 2016).

A região de Joinville é conhecida pela sua tradição alemã, que traz consigo as cervejarias artesanais. De acordo com uma pesquisa da Associação das cervejarias artesanais de Santa Catarina (Acasc), o estado de Santa Catarina tem mais de 50 marcas de cerveja que, juntas, produzem mais de um milhão de litros por mês (BACK, 2017). Essa produção gera, aproximadamente 250 mil kg de bagaço de malte, que necessita de um destino apropriado.

O bagaço de malte é formado pela parte sólida obtida da filtração do mosto antes da fervura, constituído em sua maior parte de restos de casca e polpa de malte de cevada, mas também de alguns outros grãos utilizados no processo, como arroz, milho e trigo. A quantidade de cada grão varia muito conforme o tipo e a qualidade da cerveja. O bagaço de malte possui um alto teor de matérias nitrogenadas, fibras e polissacarídeos (REINOLD, 1997; CORDEIRO *et al.*, 2012).

Devido ao alto valor nutricional do bagaço de malte, sua vasta disponibilidade durante o ano e seu baixo custo, existem diversos estudos cujo intuito é o aproveitamento deste resíduo. Em sua maior parte, as pesquisas são direcionadas à alimentação animal. Como exemplos, Mendonça (2012) utilizou o resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cabras anglo nubianas no final da lactação e Geron *et al.* (2010) utilizaram o resíduo para alimentação de vacas lactantes. Entretanto, alguns problemas com a utilização deste resíduo para alimentação animal já foram relatados,

principalmente em relação às enfermidades em bovinos como quadros de intoxicação por etanol, neurotoxicose por *Aspergillus clavatus*, acidose ruminal e botulismo (BRUST *et al.*, 2015).

Alternativas têm sido levantadas quanto ao aproveitamento desse resíduo úmido de cervejaria, como a produção de etanol (MOHAMMADI *et al.*, 2011), produção de bandejas biodegradáveis (MELLO e MALI, 2014) e produção de cogumelos comestíveis do gênero *Pleurotus* (SCHULZ, 2016). Segundo Schulz (2016), *Pleurotus* não foi capaz de frutificar ao utilizar apenas o bagaço de malte como substrato, devido à alta compactação do meio. A frutificação foi obtida ao misturar o resíduo com folhas de bananeira.

O cultivo de bananeira também é representativo no Brasil, sendo que Santa Catarina é o quarto estado de maior produção de bananas (EPAGRI, 2018). Essa produção significativa também gera um resíduo biodegradável: as folhas de bananeira. De acordo com Souza *et al.* (2010) para cada tonelada de bananas colhidas são gerados 480 kg de folhas de bananeira, as quais são amplamente utilizadas no cultivo de cogumelos (STURION, 1994; SANTOS, 2000, BONATTI *et al.*, 2004; SILVEIRA *et al.*, 2006; FURLAN, *et al.*, 2008; GERN *et al.*, 2010).

A variedade de substratos metabolizáveis tais como resíduos lignocelulósicos e resíduos orgânicos, a facilidade na manutenção das condições de cultivo e os elevados valores gastronômicos e nutricionais resultaram em um considerável interesse comercial para o cultivo de fungos do gênero *Pleurotus* (CHANG & MILES, 2004). No entanto, mesmo após o cultivo dos cogumelos nos resíduos lignocelulósicos, continua existindo um resíduo denominado substrato residual (GERN *et al.*, 2010). Este substrato residual, por sua vez, pode ser aproveitado na produção de biocompósitos fúngicos (ROCHA, 2018).

Materiais compósitos derivados de recursos naturais renováveis também têm recebido um grande interesse nestes últimos anos, pois é uma alternativa sustentável ao uso de materiais fósseis e derivados de petróleo. Biocompósitos produzidos a partir do crescimento fúngico podem ser mais eficientes e rentáveis do que muitos processos sintéticos e orgânicos em virtude do rápido crescimento dos fungos, do seu alto nível de bioeficiência e da sua capacidade de utilizar múltiplos nutrientes e fontes de recursos (BAYER *et al.*, 2008; JOHANSSON *et al.*, 2012; TRAVAGLINI *et al.*, 2013; LELIVELT *et al.*, 2015; ZIEGLER *et al.*, 2016; PELLETIER *et al.*, 2017; ATTIAS *et al.*, 2017; YANG *et al.*, 2017).

O biocompósito fúngico é produzido pela inoculação de um fungo filamentosos em um substrato composto de um material nutritivo e de partículas descontínuas. O fungo irá metabolizar o material nutritivo durante um período de tempo suficiente para crescer hifas e permitir que as hifas formem uma rede micelial interconectadas no meio e em torno do substrato, ligando assim as partículas do material que assumem o formato do recipiente em que são cultivados, podendo substituir embalagens de madeira, plástico, espuma e isopor (BAYER *et al.*, 2008).

Considerando que o bagaço de malte possui potencial para o cultivo de *Pleurotus sajor-caju* e que o micélio fúngico pode agir como ligante das partículas do resíduo propõe-se a produção e avaliação de biocompósitos a partir do resíduo úmido de cervejaria (bagaço de malte), adicionado de folhas de bananeira, colonizado por *Pleurotus sajor-caju*. Este trabalho visa ampliar o aproveitamento e agregar valor aos resíduos da indústria cervejeira e da bananicultura, utilizando-se das habilidades apresentadas pelos fungos, contribuindo para a redução do desperdício de matérias-primas e dos impactos ambientais negativos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a produção de biocompósitos por *Pleurotus sajor-caju* utilizando como substrato uma mistura de bagaço de malte e folhas de bananeira, tanto no seu estado fresco (ainda não utilizado como substrato) quanto na condição de substrato residual (após colheita dos corpos frutíferos).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Obter biocompósitos fúngicos com 20 e 30% de inóculo de *Pleurotus sajor-caju*, utilizando bagaço de malte adicionado de folhas de bananeira secas (substrato fresco).
- b) Obter biocompósitos fúngicos com 20 e 30% de inóculo utilizando bagaço de malte e folhas de bananeira após o cultivo de cogumelos de *Pleurotus sajor-caju* (substrato residual).
- c) Estabelecer as cinéticas de secagens nas temperaturas de 40 e 60 °C e indicar qual a temperatura mais adequada para desidratação do produto frente as suas propriedades físicas.
- d) Caracterizar e comparar os biocompósitos em termos de tempo de crescimento micelial, velocidades de secagem, influência da umidade da água e do ar, resistência à compressão, densidade aparente e biodegradabilidade em solo.
- e) Indicar, dentre as condições operacionais utilizadas, as de maior potencial para obtenção de um produto final.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS

O governo brasileiro, em dois de agosto de 2010, instituiu a Lei nº 12.305, que implementou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Um dos principais objetivos da PNRS é o incentivo à não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos. Com uma ação direta na indústria, a PNRS fomenta o desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Os materiais gerados em um processo industrial e agrícola que não fazem parte do produto principal são chamados de resíduos agroindustriais. Esses materiais podem ser reaproveitados, ou até mesmo utilizados em outro processo. Os resíduos agroindustriais constituem cerca de 60% do peso total dos resíduos sólidos urbanos do mundo. Alguns exemplos destes resíduos são o papel, papelão, madeira, folhas, galhos de árvores, e diversos outros resíduos agrícolas (LEÃO *et al.*, 2011).

A agricultura é uma das bases da economia brasileira. Nos últimos 40 anos, o Brasil saiu da condição de importador de alimentos para se tornar um grande provedor para o mundo. Foram conquistados aumentos significativos na produção e na produtividade agropecuárias. No País são produzidos alimentos como: café, cana-de-açúcar, soja, frutas, cereais entre outros (EMBRAPA, 2018).

A indústria alimentar constitui cerca de 9,8% do PIB do País, atingindo em 2017 a cifra de R\$ 642 bilhões. A maior fatia desse mercado, é o de alimentos, que corresponde a 81% do total e que subiu 4,7% em 2017; enquanto que o setor de bebidas ocupa 19% e apresentou um aumento de 4,2% (ABIA, 2017).

Como resultado das várias práticas agrícolas e industriais gera-se elevadas quantidades de resíduos orgânicos, um dos recursos mais ricos em energia do planeta. Apesar da maior parte desses resíduos serem biodegradáveis, destiná-los para aterro é um desperdício, tanto de espaço, quanto na perda de materiais com grande potencial e baixo custo. Em função disto, tem havido grande aumento no interesse da utilização dessa biomassa em processos biotecnológicos (NIGAM e PANDEY, 2009).

### 3.2 SETOR CERVEJEIRO

A indústria da cerveja no Brasil foi implantada por imigrantes europeus. Acredita-se que o holandês Maurício de Nassau junto com o cervejeiro Dirck Dicx fundaram, em 1640, a primeira fábrica de cerveja do País. No entanto, foi somente após a chegada da família real em 1808 que a bebida se popularizou. A maioria das cervejas consumidas eram importadas da Inglaterra (MORADO, 2009).

Em 1830 iniciou-se a produção artesanal da cerveja pelos imigrantes, a princípio somente para consumo familiar. A cerveja local passou a ser comercializada apenas em 1835, quando as famílias começaram a usar escravos e empregar trabalhadores para a produção de cerveja. Com o grande aumento dos impostos no final do século XIX a importação de produtos foi inviabilizada, dando espaço para que a cerveja artesanal brasileira começasse a expandir e dominar o mercado. Nessa época, nasceram grandes marcas da cerveja nacional, tais como Antarctica, Brahma e Skol (MORADO, 2009).

O Brasil tornou-se uma potência em relação a produção de cerveja, é o terceiro maior produtor do mundo, atrás somente dos Estados Unidos e China (BACK, 2017). A indústria cervejeira representa 2% do PIB do País e contribui com R\$ 25 bilhões de reais em impostos por ano, gerando mais de 2,7 milhões de empregos diretos e indiretos e produzindo, aproximadamente, 14 bilhões de litros de cerveja por ano, chegando em 99% dos lares brasileiros (MAPA, 2019)

Este mercado cresce cada vez mais. Desde 2010 o número de cervejarias no Brasil vem crescendo exponencialmente, o que é evidenciado no gráfico da Figura 1, chegando em 2017, a 679 estabelecimentos. A região Sul do País está em primeiro lugar no ranking nacional, tendo 287 estabelecimentos, dentre os quais 78 estão situadas em Santa Catarina (MAPA, 2018).

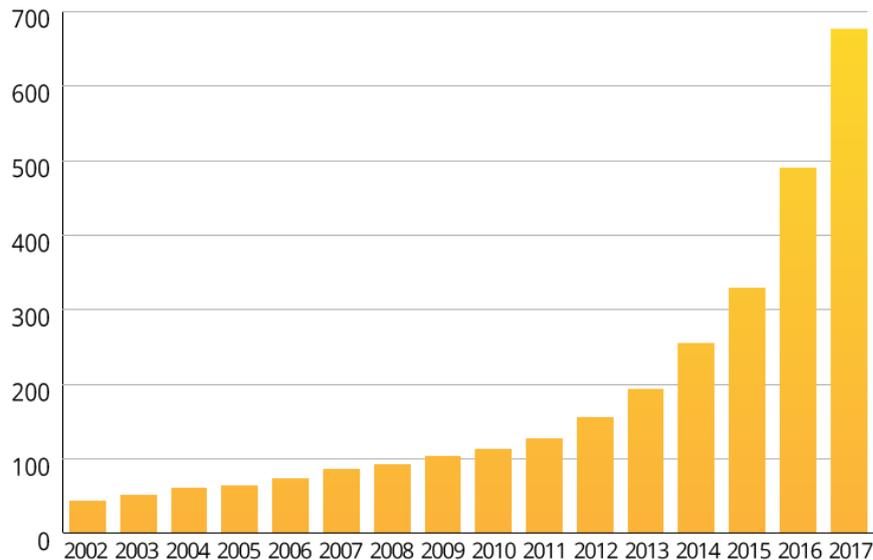


Figura 1 - Total de cervejarias no Brasil

Fonte: MAPA (2018).

Segundo pesquisa da Associação das Cervejarias Artesanais de Santa Catarina (Acasc), dentre os estabelecimentos catarinenses, 50 marcas são cervejas exclusivas do estado; destas, 35 possuem fábricas, seis terceirizam a produção e uma é *brewpub* (bar que fabrica a própria cerveja). Estas cervejarias produzem, juntas, mais de um milhão de litros de cerveja por mês (BACK, 2017).

### 3.2.1 Processo de produção de cerveja

A cerveja é uma bebida aquosa fermentada à base de amido, e aromatizada por lúpulo (DE KEUKELEIRE, 1999). Basicamente, são quatro os ingredientes utilizados para produzir cerveja e exigidos pela Lei da Pureza Alemã (*Reiheitsgebot*), água, malte, lúpulo e fermento (HUIGE, 2006). No entanto, as cervejas comercializadas em alguns países e também no Brasil podem ser produzidas com malte de cevada e/ou malte de trigo (sendo consideradas puro malte) ou com outros cereais não maltados em sua composição, tais como milho e arroz. O processo de fabricação de cerveja consiste em seis etapas principais, a primeira é a malteação, seguida da moagem, brassagem, fermentação, maturação e envasamento (BONATO, 2016).

### 3.2.2 Resíduos sólidos da produção de cerveja

O aumento na produção de cerveja tem sido muito importante para o desenvolvimento econômico do país, no entanto, com esse crescimento a geração de resíduos também aumenta, originando um novo desafio para a indústria cervejeira: a gestão dos resíduos. O foco é criar um método que englobe a reciclagem e a transformação desses resíduos em matérias-primas para desenvolver novos produtos (BONATO, 2016).

Os problemas ambientais mais significativos durante o processo de fabricação de cerveja incluem a grande utilização de água potável e descarte de águas residuais, o alto consumo de energia e os resíduos sólidos gerados tais como o bagaço de malte, trub e fermento (leveduras). O bagaço de malte é obtido na etapa da brassagem após a clarificação do mosto, o Trub é obtido após a fervura e é composto basicamente de restos de lúpulo, malte e proteínas coaguladas. As leveduras são oriundas do processo de fermentação (OLAJIRE, 2012). Na Figura 2 está exposto um resumo da produção de cerveja com os principais resíduos gerados em cada etapa.

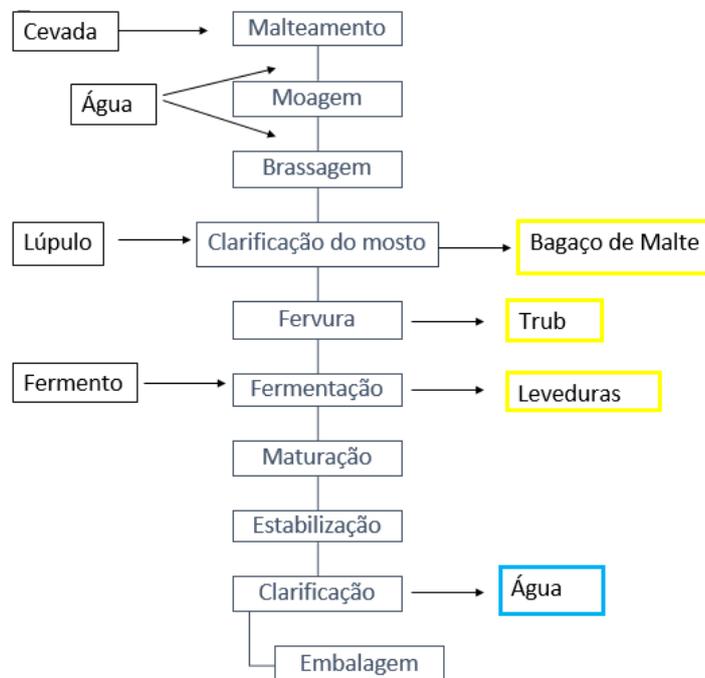


Figura 2 - Principais resíduos gerados na indústria cervejeira

Fonte: Olajire (2012).

De acordo com Mussato *et al.* (2006), o bagaço de malte é a biomassa gerada em maior quantidade, representando, aproximadamente, 85% do total de resíduos sólidos gerados. A cada 100 L de cerveja fabricados, são gerados em torno de 20 kg de massa úmida de bagaço de malte (REINOLD, 1997). Considerando a produção anual brasileira de 2016 – 14 bilhões de litros de cerveja (CERVBRASIL, 2016) – são gerados cerca de 2,8 milhões de toneladas de bagaço de malte por ano.

O bagaço de malte (Figura 3), também conhecido como resíduo úmido de cervejaria (RUC), é formado pela parte sólida obtida da filtração do mosto antes da fervura, constituído em sua maior parte de restos de casca e polpa de malte de cevada, mas também de alguns outros grãos utilizados no processo, como arroz, milho e trigo (REINOLD, 1997; CORDEIRO *et al.*, 2012).



Figura 3 - Bagaço de malte.

Fonte: Janotti (2019).

O bagaço de malte possui um alto teor de matérias nitrogenadas, fibras e polissacarídeos. Na Tabela 1 está apresentada a composição físico química do bagaço de malte.

De acordo com Almeida *et al.* (2017) além de ser uma fonte de proteína e fibra, o bagaço de malte também é rico em ácidos graxos poli-insaturados e compostos bioativos com potencial antioxidante. Devido ao seu alto valor nutricional o bagaço de malte é comumente utilizado como ração animal (KLAGENBOECH *et al.*, 2011), no entanto o elevado teor de umidade deste resíduo torna-se um problema para o transporte e o tempo de armazenamento. Para resolver esse problema faz-se necessária a desidratação do material, pelo processo de secagem, o que aumenta muito o custo para o produtor, tornando-o inviável (GERON *et al.*, 2010).

Tabela 1 - Composição físico química do bagaço de malte.

Parâmetros	*Valores obtidos
Umidade (g.100g <sup>-1</sup> )	75,45± 0,48
Cinzas (g.100g <sup>-1</sup> )	1,29± 0,02
Carboidratos (g.100g <sup>-1</sup> )	15,46± 0,03
Proteínas Totais (g.100g <sup>-1</sup> )	5,37± 0,03
Gorduras Totais (g.100g <sup>-1</sup> )	2,43± 0,05
Fibra Bruta (g.100g <sup>-1</sup> )	3,98± 0,04
Energia (Kcal.100g <sup>-1</sup> )	105,19± 0,03

Fonte: Cordeiro *et al*, 2012

O bagaço de malte tem sido alvo de várias pesquisas para melhorar o seu aproveitamento (Quadro 1). Já foram relatadas pesquisas envolvendo o uso do bagaço de malte para biorremediação (FONTANA, 2016), produção de etanol (MOHAMMADI *et al.*, 2011), produção de cogumelos comestíveis (SCHULZ, 2016) e produção de embalagens biodegradáveis (IVANO, 2013).

Quadro 1 - Pesquisas envolvendo a utilização do bagaço de malte para aprimorar o seu aproveitamento.

APLICAÇÃO	REFERÊNCIAS
Produção de cogumelos comestíveis	(SCHULZ, 2016)
Alimentação animal	(MUKASAFARI <i>et al.</i> , 2018); (BRUST <i>et al.</i> , 2015); (MENDONÇA, 2012); (KLAGENBOECH <i>et al.</i> , 2011); (GERON <i>et al.</i> , 2010); (HASSONA, 1993)
Alimentação humana	(SPINELLI <i>et al.</i> , 2016); (MCCARTHY <i>et al.</i> , 2015)
Biorremediação	(FONTANA,2016)
Produção de biocombustíveis	(FERREIRA <i>et al.</i> , 2019); (GIACOBBE <i>et al.</i> , 2019); (LIGUORI <i>et al.</i> , 2015a); (XI <i>et al.</i> , 2014); (MOHAMMADI <i>et al.</i> , 2011)
Produção de embalagens biodegradáveis	(IVANO, 2013).
Conversão em ácido láctico	(LIGUORI <i>et al.</i> , 2015b)
Produção de enzimas	(PATEL <i>et al.</i> , 2018); (PIEGZA <i>et al.</i> , 2015)
Material adsorvente	(KEZERLE <i>et al.</i> , 2018); (YUNNEN <i>et al.</i> , 2017)

### 3.3 PRODUÇÃO DE BANANA

A banana é uma fruta originária do Sudeste Asiático, seu cultivo iniciou há vários séculos, e foi disseminado nos países do Oriente Médio e Europa Mediterrânea. Foi somente em 1516 que a banana foi introduzida na América Latina em São Domingos. Desde então ganhou expressão no comércio mundial. Por ser uma fruta tropical, a banana é cultivada nas regiões quentes do mundo, onde é produzida praticamente o ano todo (SOUZA *et al*, 1995).

A banana é a fruta mais popular do mundo, o seu cultivo é uma das principais atividades no mundo do agronegócio (SOARES *et al*, 2014). Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, em 2017 a banana é produzida em 128 países e é uma das frutas mais consumidas no mundo. Em 2017, a produção mundial de banana atingiu aproximadamente 125,3 milhões de toneladas. Os quatro maiores produtores foram: Índia com 30,5 milhões de toneladas, China com 22,8 milhões de toneladas, Indonésia com 7,2 milhões de toneladas, e Brasil com 6,7 milhões de toneladas. (FAO, 2017)

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de banana, no entanto, a produção brasileira de bananas é quase que totalmente dirigida ao mercado interno, devido à grande população e ao elevado consumo per capita nacional (25 kg/ano). Cerca de 98% da produção é destinada ao consumo *in natura*, sendo o restante da produção representada pela fruta processada (LIMA & VILARINHOS, 2020)

Os principais estados produtores brasileiros de banana são: Bahia, São Paulo, Minas Gerais e Santa Catarina. A bananicultura catarinense conta com 3.481 produtores com uma produção de 743,2 mil toneladas em 2017. As principais mesorregiões (MRG) produtoras são: o Norte Catarinense (MRG de Joinville e de São Bento do Sul), o Vale do Itajaí (MRG de Blumenau e de Itajaí) e o Sul Catarinense (MRG de Araranguá e de Criciúma) (EPAGRI, 2017).

#### 3.3.1 Resíduos sólidos da bananicultura

Essa grande produção de banana, também é responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos de material vegetal como as folhas, pseudocaule, engaço, coração e o fruto de descarte. Estes resíduos devem ser destinados

adequadamente, para que não sejam ocasionados problemas ambientais e fitossanitários (ATHAYDE, 2014).

As folhas de bananeira representam 15% da planta completa, sendo que possuem uma relação C:N de 25:1, teor de proteína de 9,38%, teor de fibra bruta de 32,3%, com índices de lignina de 15,37%, de celulose de 34,13% e de hemicelulose de 20,1% (STURION, 1994).

Tradicionalmente, estas folhas e demais resíduos (do desbaste e do corte do pseudocaule, após o corte do cacho) são dispostos no solo como cobertura morta, auxiliando na contenção da erosão, evitando a compactação do solo e devolvendo uma parte de nutrientes ao mesmo. No entanto, a incorporação ao solo de matéria orgânica não decomposta implica no processo de humificação, mobilizando intensa atividade microbiana, o que provoca temporariamente uma deficiência de nitrogênio, que é consumido pelos microrganismos em detrimento das plantas (MEDINA, 1990).

Segundo Souza *et al.* (2010), dados levantados em uma empresa de alimentos do município de Garuva-SC, mostram que para cada tonelada de banana industrializada, aproximadamente, 480 kg de folhas são gerados. Tomando como base os dados encontrados na EPAGRI (2017), para uma produção de 743,2 mil toneladas de banana são gerados, aproximadamente, 356 mil toneladas de folhas de bananeira somente em Santa Catarina.

Existem diversas pesquisas apontando o potencial das folhas de bananeira. Elas são amplamente utilizadas para o cultivo de cogumelos comestíveis, por exemplo, Carvalho *et al.* (2013) utilizou as folhas de bananeira para produção de *Pleurotus Ostreatus*, Rampinelli (2009) produziu *Pleurotus djamor* utilizando folhas de bananeira. As folhas de bananeira também são aplicadas na geração de energia, Prá (2018) produziu briquetes a partir de folhas ressecadas de bananeira, Sellin *et al.* (2016) utilizou as folhas de bananeira no processo de pirólise. Já foram relatadas pesquisas utilizando as folhas de bananeira para outras aplicações como: alimentação animal, aditivos de materiais e produção de nanomateriais. No Quadro 2 estão relacionadas algumas pesquisas feitas para o aproveitamento da folha de bananeira.

Quadro 2 - Pesquisas sobre o aproveitamento de folhas de bananeira.

APLICAÇÃO	REFERÊNCIAS
Produção de cogumelos comestíveis	(CARVALHO <i>et al.</i> , 2013); (RAMPINELLI, 2009); (BONATTI <i>et al.</i> , 2004); (BONATTI <i>et al.</i> , 2003); (PATRABANSH & MADAN, 1997); (NIGAM & SINGH, 1996); (STURION, 1994); (BISARIA <i>et al.</i> , 1987)
Geração de energia e fabricação de briquetes	(PRÁ, 2018); (WANG <i>et al.</i> , 2018); (JENA <i>et al.</i> , 2017); (SELLIN <i>et al.</i> 2016); (MAIA <i>et al.</i> , 2014); (FERNANDES <i>et al.</i> , 2013); (SOUZA <i>et al.</i> , 2010)
Alimentação de animais	(FREITAS <i>et al.</i> , 2017); (GERASSEV <i>et al.</i> , 2013)
Como aditivos em materiais (Cimento)	(TAVARES, 2019); (KANNING, 2013)
Isolamento térmico	(ARCARO <i>et al.</i> , 2016)
Vermífugo para Ovinos	(SILVA, 2019); (FREITAS <i>et al.</i> , 2017); (OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2009)
Nanomateriais	(HAJAR <i>et al.</i> , 2019); (KHAN <i>et al.</i> , 2019); (ESPINOSA <i>et al.</i> , 2017); (TARRÉS <i>et al.</i> , 2017); (ZANON, 2016)

### 3.4 FUNGOS BASIDIOMICETOS E O GÊNERO *Pleurotus*

Os fungos são organismos heterotróficos, que antigamente eram considerados plantas primitivas sem clorofila. No entanto, com o passar dos anos algumas características moleculares evidenciaram que os fungos se aproximam mais ao reino animal do que ao reino vegetal. Por terem uma forma de vida diferente dos outros seres vivos criou-se um reino só para eles: o reino Fungi, composto por cinco filos: Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota e Basidiomycota (RAVEN, 2007).

A fonte de energia para que os fungos basidiomicetos se desenvolvam é obtida de materiais orgânicos complexos encontrados em tecidos, mortos ou vivos, de plantas ou animais, ou seja, eles utilizam materiais lignocelulósicos como substrato para o seu crescimento (CHANG e MILES, 2004). Eles são os principais decompositores da biosfera. A decomposição quebra a matéria orgânica incorporada nos organismos, liberando dióxido de carbono na atmosfera e devolvendo compostos nitrogenados e outras substâncias ao solo, onde essas moléculas podem ser novamente utilizadas pelas plantas e, por fim, pelos animais (RAVEN, 2007).

O ciclo de vida dos fungos pertencentes ao filo basidiomycota está ilustrado na Figura 4.

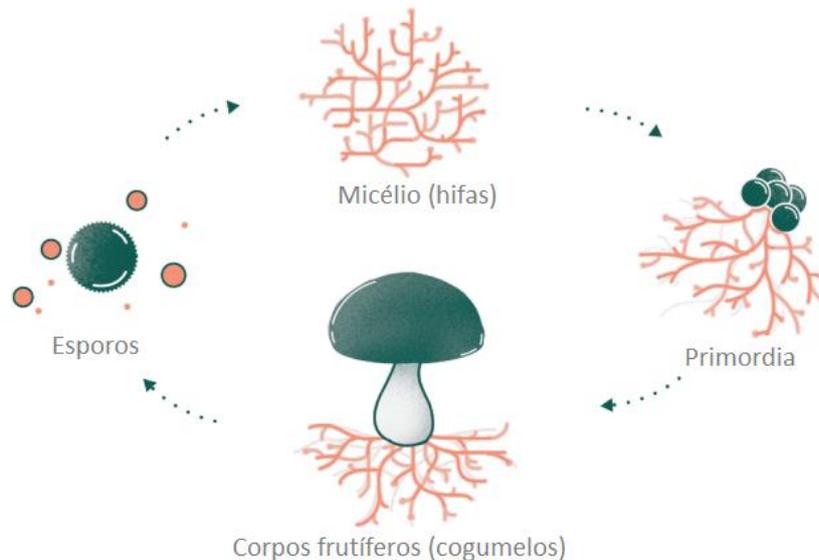


Figura 4 - Ciclo de vida dos fungos

Fonte: Ecovative (2019a)

Os cogumelos comestíveis pertencem ao filo Basidiomycota e são muito nutritivos. Seu valor nutricional pode ser comparado aos ovos, leite e a carne (SANCHEZ, 2010). Existem 300 espécies conhecidas de cogumelos comestíveis, mas somente 30 foram domesticadas e apenas 10 são cultivadas comercialmente, as mais comuns são champignon (*Agaricus bisporus*), cogumelos ostras (*Pleurotus spp.*) e o Shiitake (*Lentinula edodes*), que juntos englobam quase 70% da produção mundial (BARNEY, 1997).

Os cogumelos ostras pertencem ao gênero *Pleurotus*. Existem, aproximadamente, 70 espécies de *Pleurotus* registradas, sendo as mais conhecidas o *Pleurotus ostreatus*, *P. sajar-caju*, *P. eryngii* e *P. cystidiosus*.

Este gênero é conhecido pela facilidade na manutenção das condições de cultivo e pelos seus elevados valores gastronômicos e nutricionais (KANG, 2004). Fazem parte do grupo denominado de “fungos da podridão branca” por produzirem um micélio branco capaz de degradar tanto a celulose quanto a lignina, por meio de um complexo enzimático lignocelulolítico único que faz com que estes fungos degradem uma grande variedade de resíduos lignocelulósicos e resíduos orgânicos (CHANG e MILES, 2004).

Basicamente, qualquer material orgânico que contém lignina e celulose pode ser utilizado como substrato para o crescimento de *Pleurotus*, o que inclui quase todos os resíduos agroindustriais. No entanto, faz-se necessária a suplementação de nitrogênio na maior parte das vezes (KANG, 2004).

Vários resíduos agroindustriais já foram utilizados para a produção de cogumelos da espécie *Pleurotus sajor-caju*, como a palha de feijão (DIAS, 2003), o bagaço de cana-de-açúcar (MODA, 2003), a folha de bananeira (SILVA *et al.*, 2009), a folha de pupunheira (DUPRAT, 2012) e o bagaço de malte (SCHULZ, 2016). Todos esses resíduos mostraram-se favoráveis para o crescimento do fungo. No entanto, quando Schulz (2016) cultivou o cogumelo *Pleurotus sajor-caju* somente em bagaço de malte o fungo não foi capaz de frutificar devido à alta compactação do material, mas o micélio cresceu substancialmente. Para que o fungo frutificasse o autor teve que misturar o bagaço de malte a outro substrato, as folhas de bananeira. Na Figura 5 pode-se observar basidiomas (cogumelos) de *Pleurotus sajor-caju* cultivados em bagaço de malte e folhas de bananeira.



Figura 5 - Basidiomas de *Pleurotus sajor-caju* cultivados em bagaço de malte e folhas de bananeira.

Fonte: Schulz (2016).

### 3.5 MATERIAIS COMPÓSITOS

Os compósitos são materiais constituídos por dois ou mais micro ou macro constituintes que diferem na forma e na composição química. Formados, basicamente, por duas fases diferentes conhecidas como reforço e matriz. O material matriz preenche os espaços entre os materiais reforços atuando como um ligante e garantindo melhores propriedades mecânicas ao material. Plásticos reforçados por fibras, concreto, asfalto, e a madeira são exemplos comuns de materiais compósitos ( SMITH & HASHEMI, 2012 ; VENTURA, 2009).

Originários das sociedades agrícolas primordiais, os primeiros compósitos utilizavam amplamente os recursos naturais. Como exemplo, as paredes eram reforçadas com feixes de palhas para aumentar a integridade estrutural e os Egípcios usavam compósitos de fibras naturais como o papiro para fazer barcos, velas e cordas. No entanto, com o passar do tempo e o avanço tecnológico esses materiais compósitos naturais foram substituídos por derivados de petróleo e metais (VENTURA, 2009).

Nas últimas décadas, com a crescente preocupação com o meio ambiente, houve a reintrodução das fibras naturais nos materiais de engenharia. Conhecidos como biocompósitos, os compósitos cuja uma ou mais fases são constituídas de origem biológica, oferecem uma redução no peso do material, absorção de impacto e benefícios para a saúde ocupacional (QUARSHIE e CARRUTHERS, 2014).

Assim, os compósitos miceliais, também conhecidos como biocompósitos fúngicos, consistem em redes de hifas filamentosas que crescem em um material orgânico de partículas descontínuas, tais como o bagaço de malte e as folhas de bananeira. Ao invés de utilizar processos padrões de fabricação que requerem altas quantidades de energia, a produção deste tipo de material advém do crescimento biológico, além de que se convertem resíduos orgânicos de baixo custo em materiais economicamente viáveis e ambientalmente corretos. O ciclo de vida de materiais feitos de micélio está ilustrado na Figura 6 (JONES *et al*, 2017).

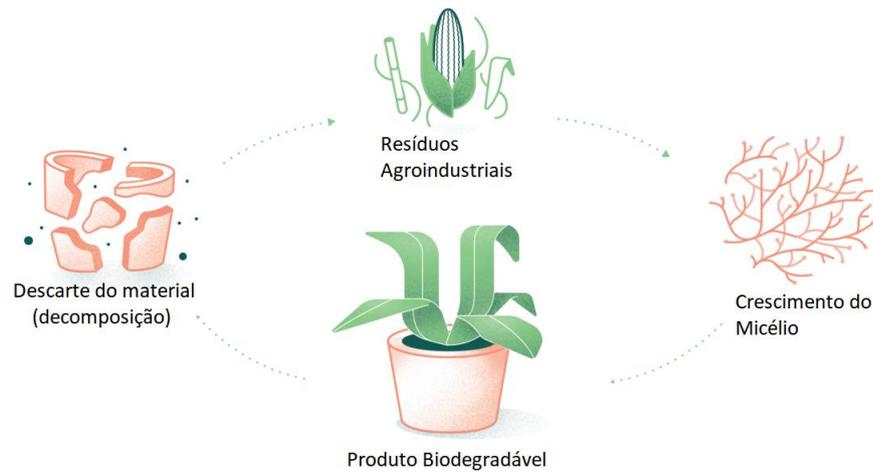


Figura 6 - O ciclo de vida de materiais feitos de micélio.

Fonte: Ecovative (2019a)

Segundo Bayer (2008), o método para produzir biocompósitos consiste em quatro passos. O primeiro passo é inocular um fungo pré-selecionado em um meio ideal; o segundo passo é fazer uma mistura de substratos de partículas dispersas e um material nutriente que é capaz de ser digerido pelo fungo; o terceiro passo consiste em adicionar o inóculo na mistura de maneira asséptica. Estes passos podem ser visualizados na Figura 7a.

O quarto passo é permitir que o fungo metabolize parte do material da mistura por um período de tempo suficiente para que as hifas cresçam e formem uma rede micelial conectando as partículas dispersas, ligando-as de maneira que formem um material único (Figura 7b).

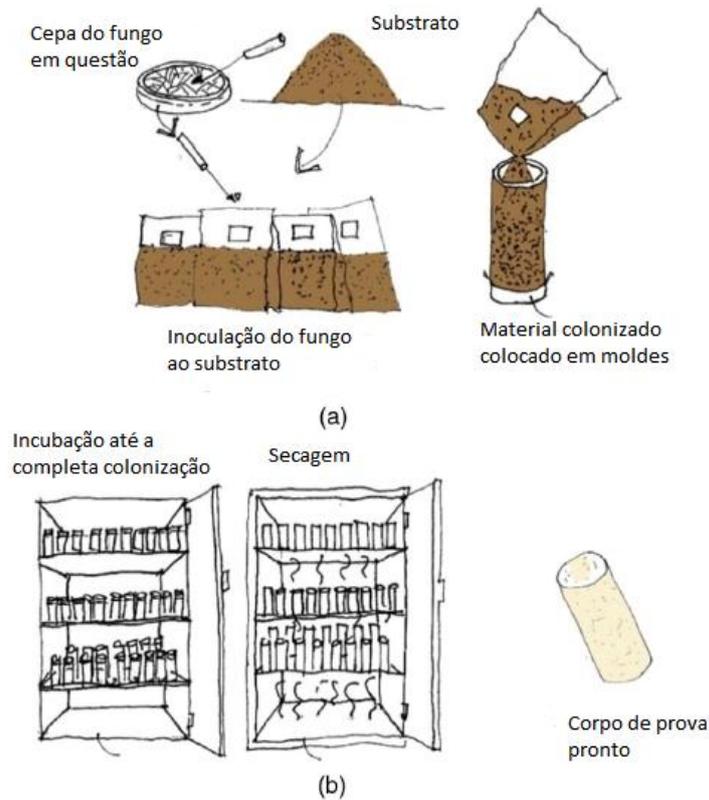


Figura 7 – Esquema para produção de biocompósitos. (a) Preparo do substrato, inóculo e corpos de prova (b) Incubação e secagem.

Fonte: Yang *et al.* (2017).

Materiais feitos com micélio são geometricamente versáteis, resistentes e duráveis o que faz com que eles possam substituir materiais plásticos e outros derivados de combustíveis fósseis. Além dessas características os biocompósitos miceliais, possuem outras qualidades: são resistentes ao fogo, atóxicos, resistentes à água e ótimos como isolantes térmicos (ROSS, 2016). Dessa maneira tornam-se viáveis para diversas aplicações (Figura 8).

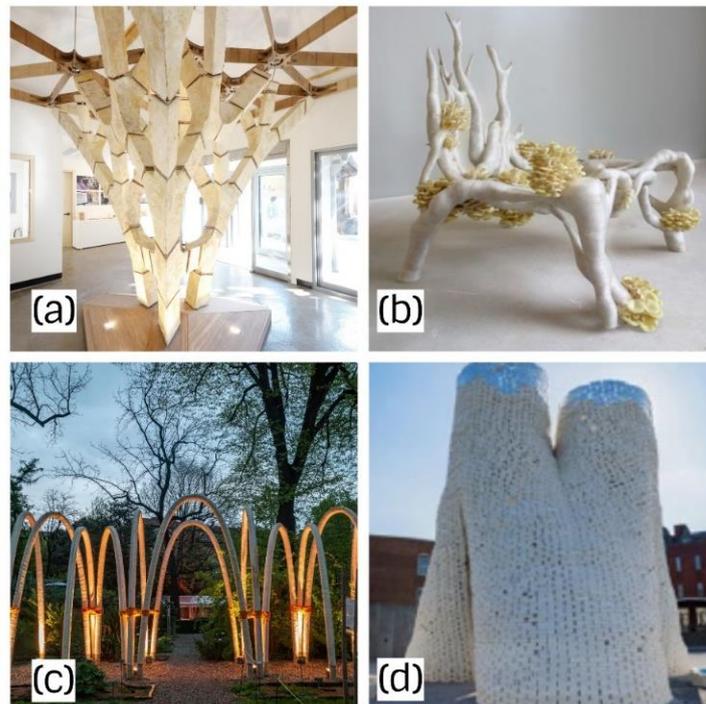


Figura 8 - Diferentes designs apresentados pelo mundo feitos de micélio. (a) Estrutura em forma de árvore, construída quase inteiramente por micélio. (b) Cadeira com design arrojado, impressa em impressora 3D. (c) Arcos arquitetônicos, construídos com mais de um quilômetro de micélio. (d) Torres construídas com tijolos feitos de micélio.

Fonte: Dezeen (2019).

Em 2017, na Bienal de Arquitetura e Urbanismo de Seul, foi apresentada uma estrutura similar com a de uma árvore, construída com blocos de micélio, chamada de “MycoTree” (Figura 8a). Essa estrutura poderia sustentar um prédio de dois andares, se projetada com as geometrias corretas (BLOCK, 2019). Um projeto complexo como uma cadeira de design arrojado (KLARENBECK, 2018), pode ser observado na Figura 8b.

A associação Carlo Ratti, com parceria com a Companhia global de energia, desenvolveu uma estrutura de arcos arquitetônicos construídos com mais de um Km de micélio e apresentadas na semana de Design de Milão, em 2019 (Figura 8c). Essa obra foi chamada de “O Jardim Circular”, pois todo o material utilizado retornará ao solo ou será reutilizado (RATTI, 2019). Um grupo chamado “The Living”, construiu uma torre com 13 metros de altura (Figura 8d), utilizando 10 mil blocos construídos a partir de espigas de milho e micélio (THE LIVING, 2019).

A empresa americana Ecovative possui diversos materiais lançados à base de micélio, tais como uma bolsa fabricada em um couro Mylo (Figura 9a) e sola de sapato

utilizando o MycoFlex (Figura 9b) (ECOVATIVE, 2019b), uma porta com isolante térmico (Figura 9c) (GRYPHON, 2019), vasos decorativos (Figura 9d), embalagens para refrigeração e transporte (Figura 9e) (MUSHROOM PACKAGING, 2019) e luminárias (Figura 9f) (DEZEEN, 2019).

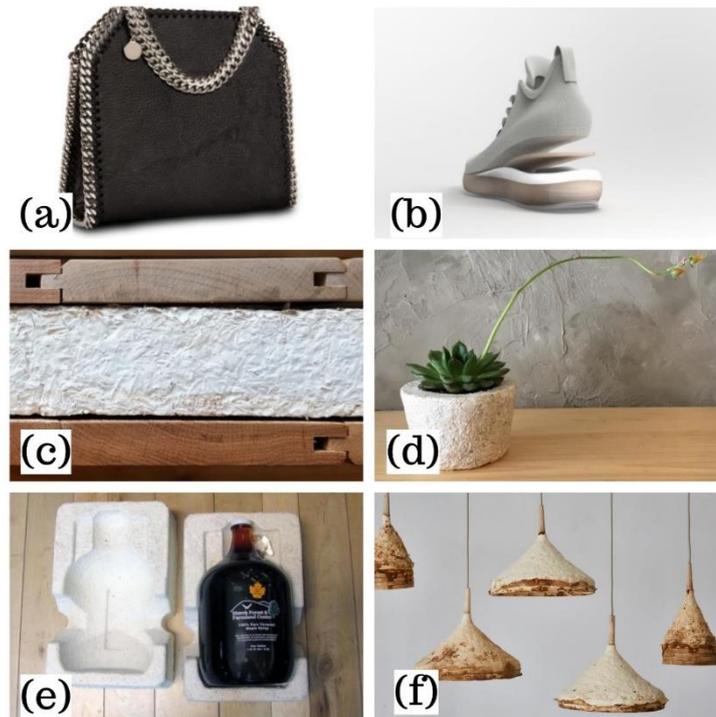


Figura 9 - Produtos à base de micélio. (a) Bolsa feita pelo couro Mylo. (b) Sola de sapato utilizando o MycoFlex. (c) Isolante térmico. (d) Vasos de flores. (e) Embalagens para transporte. (f) Luminárias a base de micélio.

Fonte: (a) e (b) Ecovative, 2019b (c) Gryphon, 2019. (d) e (e) Mushroom Packaging, 2019. (f) Dezeen, 2019.

Existem várias pesquisas na literatura envolvendo biocompósitos miceliais, conforme demonstrado no Quadro 3, cada pesquisa utiliza uma condição diferente, mas todas com o intuito de demonstrar a potencialidade desse material.

A aplicação destes materiais é determinada pelas suas propriedades físicas e mecânicas. Para que o material seja utilizado em embalagens ele deve ter uma baixa densidade, alta resistência a compressão, alta resistência a tração, alta flexibilidade e baixa sorção de água. No entanto, o mercado de embalagens tem se tornado cada vez mais exigente, principalmente para indústria de alimentos, que além das propriedades físicas e mecânicas das embalagens comuns, também procuram por embalagens que interagem de alguma forma com o alimento, seja liberando substâncias conservantes ao longo da vida de prateleira do produto, ou “corrigindo”

alguns problemas naturais do alimento, como sabor amargo por exemplo, em que algumas enzimas podem ser adicionadas ao material de embalagem, minimizando este problema e tornando o produto mais saboroso. Estas embalagens são chamadas de embalagens ativas (REBELLO, 2009). Para tanto, as propriedades bioquímicas dos biocompósitos, como ação antimicrobiana, devem ser levadas em consideração para aplicação destes materiais em embalagens.

Já para ser utilizado como material de isolamento térmico e acústico, as propriedades desejadas são: baixa condutividade térmica, alta absorção acústica, alta capacidade térmica específica, resistência ao calor, baixa sorção de água e alta temperatura de ignição (para ser resistente ao fogo) (GIROMETTA *et al.*, 2019; ELSACKER *et al.*, 2019). As propriedades dos compósitos de micélio podem ser personalizadas conforme sua composição e processo de fabricação (JONES *et al.*, 2019).

Apesar de serem promissores ecologicamente, a produção de biocompósitos fúngicos ainda encontra alguns desafios. As condições ideais para o crescimento fúngico como a escuridão, o calor e a umidade, são muito similares à de outros micro-organismos que competem com os esporos fúngicos, facilitando a contaminação. A produção em larga escala, também representa um desafio, pois pode acumular dióxido de carbono, que é tóxico para os cogumelos em fase de crescimento. Outro problema encontrado são os esporos, que representam um perigo para o sistema respiratório humano se não forem conduzidos de maneira adequada (DAHMEN, 2017).

O mundo precisa ser mais sustentável, e para que isso aconteça é necessário o desenvolvimento de materiais que possuam maior viabilidade econômica, e que sejam produzidos por meio de processos que requeiram baixa energia, tenham mínima emissão de carbono e que, principalmente, sejam 100% biodegradáveis. Os biocompósitos fúngicos podem ser o início de uma nova era de materiais sustentáveis, ecologicamente corretos e economicamente viáveis (JONES *et al.*, 2017).

Quadro 3- Pesquisas encontradas na literatura envolvendo biocompósitos fúngicos.

REFERÊNCIA	SUBSTRATO, ESPÉCIE FÚNGICA E APLICAÇÃO DO BIOCOMPÓSITO
Holt <i>et al.</i> (2012)	<b>Substrato:</b> resíduo do processamento de algodão, amido e gesso. <b>Fungo:</b> <i>Ganoderma sp.</i> (dois tipos de inóculo sólido e líquido). <b>Aplicação:</b> substituição do poliestireno na confecção de embalagens.
Arifin e Yusuf (2013)	<b>Substrato:</b> casca de arroz e grãos de trigo. <b>Fungo:</b> nc*. <b>Aplicação:</b> substituição do poliestireno.
Travaglini <i>et al.</i> (2013)	<b>Substrato:</b> lascas de carvalho vermelho ( <i>Quercus kelloggii</i> ). <b>Fungo:</b> <i>Ganoderma lucidum</i> . <b>Aplicação:</b> não citado
Pelletier <i>et al.</i> (2013)	<b>Substrato:</b> resíduos agroindustriais: grama, Palha de arroz, caules de sorgo, linho, kenaf e cânhamo. <b>Fungo:</b> Fungos basidiomicetos. <b>Aplicação:</b> Isolamento acústico
Jiang <i>et al.</i> (2014)	<b>Substrato:</b> cânhamo e hibiscos reforçados com fibras têxteis naturais. <b>Fungo:</b> não citado. <b>Aplicação:</b> estruturas sanduíche de biocompósito.
Nikolov e Pashov (2014)	<b>Substrato:</b> grãos de trigo. <b>Fungo:</b> não citado. <b>Aplicação:</b> material de construção.
Pedri (2014)	<b>Substrato:</b> resíduo sólido do processamento de palmito de pupunha (bainha). <b>Fungo:</b> <i>Lentinula edodes</i> . <b>Aplicação:</b> substituição ao poliestireno expandido.
Jameson <i>et al.</i> (2014)	<b>Substrato:</b> Madeira de lei e compensado adicionados ou não de café e peróxido de hidrogênio. <b>Fungo:</b> <i>Reishi</i> . <b>Aplicação:</b> não citado
Lelivelt <i>et al.</i> (2015)	<b>Substrato:</b> resíduo de cânhamo e lascas de madeira. <b>Fungos:</b> <i>Coriolus versicolor</i> e <i>Pleurotus ostreatus</i> . <b>Aplicação:</b> não citada
Jiang <i>et al.</i> (2016a)	<b>Substrato:</b> não citado. <b>Fungo:</b> não citado. <b>Aplicação:</b> análise de custos na fabricação de biocompósitos.
Jiang <i>et al.</i> (2016b)	<b>Substrato:</b> não citado. <b>Fungo:</b> não citado. <b>Aplicação:</b> fabricação de um bicompósito reforçado com tecidos
Ziegler <i>et al.</i> (2016)	<b>Substrato:</b> subprodutos de algodão e cânhamo, reforçado com tecido natural. <b>Fungo:</b> não citado. <b>Aplicação:</b> material de embalagem substituído ao poliestireno expandido.
Attias <i>et al.</i> (2017)	<b>Substrato:</b> serragem de eucalipto, carvalho, pinho, macieira e videira. <b>Fungos:</b> <i>Pleurotus pulmonarius</i> , <i>P. ostreatus</i> , <i>P. salmoneostramineus</i> e <i>Aeegerita agrocibe</i> . <b>Aplicação:</b> materiais para utilização em arquitetura e design industrial.
Bajwa <i>et al.</i> (2017)	<b>Substrato:</b> kenaf, cânhamo e milho. <b>Fungos:</b> <i>Daedaleopsis confragosa</i> , <i>Ganoderma resinaceum</i> e <i>Trametes versicolor</i> . <b>Aplicação:</b> não citada
Haneef <i>et al.</i> (2017)	<b>Substrato:</b> celulose e celulose/batata-dextrose. <b>Fungos:</b> <i>Ganoderma lucidum</i> e <i>Pleurotus ostreatus</i> <b>Aplicação:</b> filmes de micélio
Jiang <i>et al.</i> (2017)	<b>Substrato:</b> não citado. <b>Fungo:</b> não citado. <b>Aplicação:</b> fabricação de bicompósito reforçado com tecidos naturais.
Jones <i>et al.</i> (2017)	<b>Substrato:</b> casca de arroz. <b>Fungo:</b> <i>Trametes versicolor</i> . <b>Aplicação:</b> substituição ao poliestireno expandido.
Pelletier <i>et al.</i> (2017)	<b>Substrato:</b> resíduos de algodão, palha de arroz, talos de sorgo e milho e kenaf. <b>Fungo:</b> Basidiomicetos. <b>Aplicação:</b> placas acústicas, substituição de MDF e OSB
Yang <i>et al.</i> (2017)	<b>Substrato:</b> serragem de bétula do alasca ( <i>Betula neoalaskana</i> ), grão de milho, farelo de trigo, fibra natural e sulfato de cálcio. <b>Fungo:</b> <i>Irpex lacteus</i> . <b>Aplicação:</b> material isolante para construção.
Heisel <i>et al.</i> (2017)	<b>Substrato:</b> Resíduos de cana de açúcar e raiz de mandioca, farelo de trigo, fibra natural e sulfato de cálcio. <b>Fungo:</b> <i>Ganoderma Lucidum</i> <b>Aplicação:</b> Blocos para construção da MycoTree
Rocha (2018)	<b>Substrato:</b> Resíduos de erva mate e guaraná farelo de trigo, fibra natural e sulfato de cálcio. <b>Fungo:</b> <i>Pleurotus sajor caju</i> . <b>Aplicação:</b> Embalagens
Ghosh (2018)	<b>Substrato:</b> Cânhamo, faia e vidro reciclado <b>Fungo:</b> <i>Ganoderma sp.</i> <b>Aplicação:</b> Tijolos de vidro de micélio

<b>Appels et al. (2019)</b>	<b>Substrato:</b> Serragem de faia, palha de colza e fibras de algodão suplementados com farelo <b>Fungo:</b> <i>Trametes ochracea</i> e <i>Pleurotus ostreatus</i> <b>Aplicação:</b> não citado
<b>Attias et al. (2019)</b>	<b>Substrato:</b> Resíduos de poda de culturas de maçã e de videira <b>Fungo:</b> <i>Colorius sp</i> , <i>Trametes sp</i> e <i>Ganoderma sp</i> <b>Aplicação:</b> não citado
<b>Agustina et al. (2019)</b>	<b>Substrato:</b> Fibra de açúcar de palma e bagaço de mandioca <b>Fungo:</b> <i>Ganoderma lucidum</i> <b>Aplicação:</b> não citado
<b>Elsacker et al. (2019)</b>	<b>Substrato:</b> cânhamo, linho, pó de palha de trigo e palha de trigo <b>Fungo:</b> <i>Trametes versicolor</i> <b>Aplicação:</b> não citado
<b>Ghazvinian et al. (2019)</b>	<b>Substrato:</b> Serragem e palha <b>Fungo:</b> <i>Pleurotus ostreatus</i> <b>Aplicação:</b> arquitetura
<b>Sun et al. (2019)</b>	<b>Substrato:</b> Madeira e nanofibras de celulose <b>Fungo:</b> <i>Ecovative</i> <b>Aplicação:</b> Embalagens e móveis
<b>Bruscato et al. (2019)</b>	<b>Substrato:</b> Serragem e farelo de trigo <b>Fungo:</b> <i>Pycnoporus sanguineus</i> , <i>Pleurotus albidus</i> e <i>Lentinus velutinus</i> . <b>Aplicação:</b> Espumas
<b>Liu et al. (2019)</b>	<b>Substrato:</b> Talo de algodão <b>Fungo:</b> <i>Ganoderma lucidum</i> . <b>Aplicação:</b> Espumas
<b>Ridzqo et al. (2020)</b>	<b>Substrato:</b> Fibras de bambu <b>Fungo:</b> <i>Ganoderma lucidum</i> <b>Aplicação:</b> Quadros de isolamento.

Fonte: Adaptado de Rocha (2018)

### 3 METODOLOGIA

#### 4.1 MICRORGANISMO E MANUTENÇÃO

A espécie de microrganismo utilizada foi *Pleurotus sajor-caju*, obtida da Coleção de Culturas de Basidiomicetos do Instituto de Botânica (São Paulo/SP) sob o código CCB 019. A manutenção da espécie foi feita em meio TDA (Trigo Dextrose Ágar) (FURLAN *et al.*, 1997), sob refrigeração (4 °C) com repiques realizados a cada três meses.

#### 4.2 PREPARO DO INÓCULO

O inóculo foi constituído por grãos de trigo colonizados com micélio de *Pleurotus sajor-caju*. Inicialmente, os grãos foram lavados em água corrente e cozidos durante 10 min (após início da fervura) em água destilada na proporção 1:2 (massa seca de trigo : volume de água, m/v). O extrato proveniente do cozimento foi drenado e os grãos suplementados com carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>) nas proporções mássicas de 0,35 % e 1,3 %, respectivamente. A adição destes componentes teve a finalidade de manter o pH ligeiramente alcalino e deixar os grãos descompactados. Em seguida, os grãos foram embalados (250 g de grãos de trigo por pacote de polipropileno 200 x 300 mm) e, então, esterilizados em autoclave a vapor (QUIMIS, Q-190-22) a 121 °C durante 1 h. Posteriormente, cada pacote foi inoculado com 3 discos de 8 mm de diâmetro do meio TDA contendo o micélio fúngico. Após a inoculação, os pacotes foram incubados a 28 °C em ausência de luz até a completa colonização da superfície do grão pelo micélio fúngico e por fim, estes foram mantidos sob refrigeração a 4 °C até o uso (BONATTI *et al.*, 2004).

#### 4.3 PRODUÇÃO DOS BIOCOMPÓSITOS

##### 4.3.1 Preparo e inoculação dos substratos

Resíduo de bagaço de malte proveniente da cervejaria Opa Bier de Joinville-SC, resultante da produção de cerveja pilsen, foi utilizado como parte do substrato. Folhas de bananeira, provenientes de agricultores do município de Garuva-SC, foram misturadas ao malte complementando, assim, o substrato para a produção dos biocompósitos.

O primeiro substrato testado, aqui chamado de substrato fresco, foi composto pelo bagaço de malte fresco misturado com folhas de bananeira (1:1) previamente cortadas em forrageiro (partículas de 2 a 5 cm), secas em estufa a 60 °C por 24 h e embaladas, separadamente, em saco de ráfia que foi imerso em água por 12 h e escorrido por, aproximadamente, 2 h (MADAN *et al.*, 1987). Esta mistura foi adicionada de 5% de farelo de arroz em relação à massa seca de substrato, como fonte de nitrogênio, embalados na proporção 100 g de substrato (em relação à massa de substrato seco) por pacote de polipropileno (28 x 40 cm). Para obtenção da relação entre a massa seca e a massa úmida para o bagaço de malte foi considerado o teor de umidade de 73,2% obtido por SCHULZ, 2016. Já para as folhas de bananeira o teor de umidade foi calculado após a imersão em água, através da diferença entre a massa seca e a massa úmida (após a imersão), resultando em uma umidade de 75,4%.

O segundo substrato, denominado de substrato residual, foi formado pelo primeiro substrato (bagaço de malte fresco misturado com folhas de bananeira (1:1)) utilizado após frutificação e colheita dos basidiomas de *Pleurotus sajor-caju*. O substrato residual foi seco em estufa a 105 °C, desintegrado (esfarelado) e colocado em saco de ráfia que, também foi imerso em água por 12 h e escorrido por, aproximadamente, 2 h (MADAN *et al.*, 1987). Em seguida, foi embalado na proporção 100 g de substrato (em relação à massa de substrato seco) em pacotes de polipropileno (28 x 40 cm).

Todos os pacotes foram fechados com respiros de espuma (Figura 10), fixados com fita crepe e esterilizados em autoclave (QUIMIS, Q-190-22) a 121 °C, durante 2 h.



Figura 10 - Pacotes contendo substrato e o apontamento ao respiro de espuma.

Fonte: O autor (2019).

A inoculação foi feita em cabine de segurança biológica (Veco VLSF-12) usando-se 20 ou 30% de inóculo de *Pleurotus sajor-caju* em relação à massa de substrato seco. Foram preparados cinco pacotes para cada fração de inóculo. Os pacotes foram incubados a 30 °C, na ausência de luz, até a completa colonização do substrato pelo micélio fúngico. Esse tempo foi contabilizado e considerado o tempo de crescimento micelial ( $t_c$ ).

Os substratos colonizados foram, então, triturados em processador de alimentos até obter uma mistura homogênea, padronizando assim os substratos a serem moldados. Os substratos processados foram, então, introduzidos e compactados, assepticamente, em moldeiras plásticas cilíndricas de 6 cm de diâmetro, até atingir 2,5 cm de altura para obter-se os corpos de prova (NBR 8082:2016).

Este procedimento foi realizado em cabine de segurança biológica (Veco VLSF-12). Tanto o processador quanto as moldeiras sofreram um tratamento asséptico com álcool 70%. Foram confeccionados 30 corpos de prova para cada fração de inóculo utilizada, ou seja, 60 moldeiras para cada tipo de substrato.

As moldeiras foram fechadas e incubadas na ausência de luz, a 30 °C, até a completa recolonização do substrato pelo micélio fúngico. Este tempo foi contabilizado para cada substrato e fração de inóculo utilizada. O tempo total do processo ( $t_t$ ) foi contabilizado como sendo  $t_c$  + os dias para a completa recolonização fúngica nas moldeiras. A figura 11 ilustra o biocompósitos antes e após o crescimento micelial.



Figura 11 - Biocompósitos antes e após o crescimento micelial.

Fonte: o autor (2019).

#### 4.3.2 Secagem dos corpos de prova dos biocompósitos

Após a completa colonização do substrato, os biocompósitos foram secos em estufa com circulação forçada de ar (SHEL LAB 1370 FX), na temperatura de 40 ou 60 °C. A massa inicial ( $M_i$ ) foi anotada e medições de massa foram realizadas a cada 12 horas até obtenção da massa constante ( $M_f$ ). Com estes dados, curvas de secagem (massa x tempo) foram construídas e a velocidade média de secagem ( $v$  – g/dia), de cada condição (fração de inóculo e temperatura), foi obtida pela Equação (1), onde  $t_f$  era o tempo final de secagem. As massas inicial e final foram diminuídas da massa da moldeira vazia nas duas temperaturas. O teor de umidade inicial ( $U_i$ %) foi determinado de acordo com a Equação (2) .

$$v \text{ (g/dia)} = \frac{M_i - M_f}{t_f} \quad (1)$$

$$U_i \text{ (%) } = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad (2)$$

Já, o teor de umidade final ( $U_f$  - %) foi definido como a umidade dos corpos de prova considerados como produto final, ou seja, após a secagem a 40 ou 60 °C ( $M_f$ ). Para o cálculo de  $U_f$  (%), três corpos de prova continuaram sendo secos a 105 °C ( $M_{105 \text{ °C}}$ ) até a obtenção de massa constante sem umidade, seguindo a Equação (3).

$$U_f \text{ (%) } = \frac{M_f - M_{(105 \text{ °C})}}{M_f} * 100 \quad (3)$$

Os demais corpos de prova secos a 40 ou 60 °C, foram desenformados e armazenados em dessecador até serem utilizados nas análises (item 4.4).

Na Figura 12 está demonstrado o fluxograma do processo de obtenção dos biocompósitos produzidos.

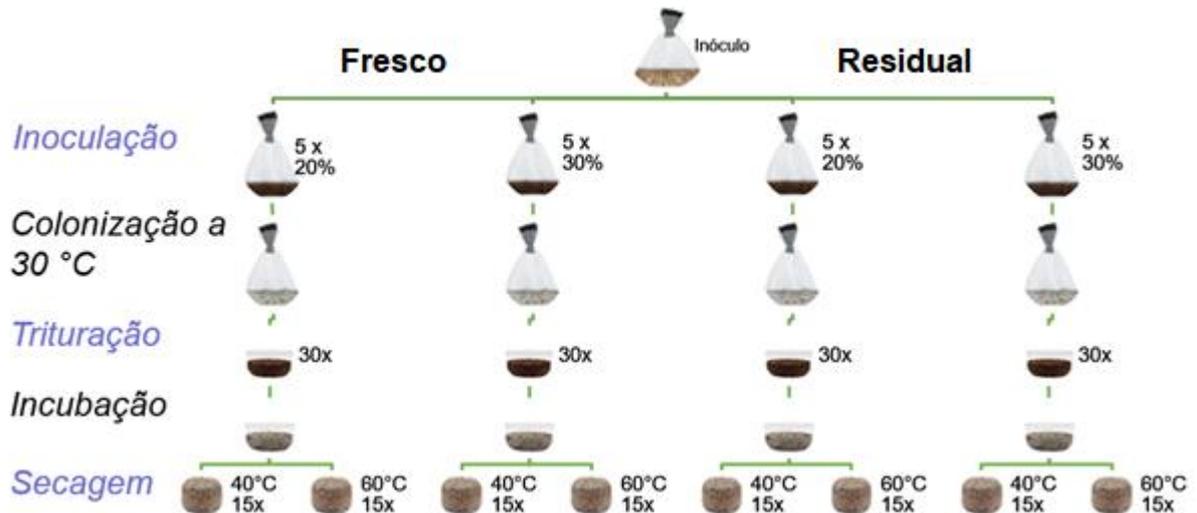


Figura 12 - Esquema do processo de fabricação dos biocompósitos.

Fonte: O Autor (2019)

#### 4.4 ANÁLISES DOS BIOCOMPÓSITOS

Para caracterização dos biocompósitos secos foram realizadas análises de influência da imersão em água (4.4.1), influência da umidade do ar (item 4.4.2), resistência à compressão e densidade aparente (item 4.4.3), biodegradabilidade (item 4.4.4) e análise estatística dos resultados (4.4.5). Após esta análise foi escolhida a melhor fração de inóculo e temperatura de secagem para cada substrato, e definidos como melhor condição de processo.

##### 4.4.1 Influência da imersão em água

A análise de sorção de água foi baseada no método de imersão repetida D-570 (ASTM, 1998). Foram selecionados três corpos de prova de cada condição de produção, que tiveram sua massa inicial ( $M_0$ ) mensurada e depois foram imersos em água destilada, com pH  $7 \pm 1$ , temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , permanecendo cobertos por uma coluna de  $25 \pm 5$  mm de água durante 2 e 24 h (Figura 13), para verificar a estabilização na sorção de água. A cada tempo os corpos de prova foram retirados da água e com auxílio de papel absorvente o excesso de água foi removido. A massa ( $M_1$ ) foi medida e determinado o percentual de sorção de água conforme Equação 4.

$$AA\% = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (4)$$

Onde  $M_1$  é a massa (g) do corpo de prova após os tempos de imersão em água e  $M_0$  é a massa inicial.



Figura 13 - Corpos de prova submetidos à imersão em água.

Fonte: o autor, 2019

#### 4.4.2 Influência da umidade do ar

A fim de verificar a influência do teor de umidade do ar sorvido pelos biocompósitos secos, três corpos de prova de cada biocompósito produzido foram expostos ao ar ambiente com a umidade relativa do ar e a temperatura do ambiente monitoradas durante 60 dias, simulando uma exposição deste material ao ambiente de trabalho. Neste período as amostras foram pesadas (a cada dois dias) e o percentual de sorção de umidade foi calculado de acordo com a Equação 5.

$$U_{ar}\% = \frac{M_t - M_0}{M_i} \times 100 \quad (5)$$

Onde  $M_0$  é a massa (g) inicial do corpo de prova e  $M_t$  é a massa (g) medida a cada tempo de amostragem.

Após este período, a fim de avaliar se o tempo de exposição influenciou a resistência à compressão deste material, os corpos de prova foram analisados de acordo com o item 4.4.3.

#### 4.4.3 Resistência a compressão e densidade aparente

Com o propósito de avaliar a influência da fração de inóculo e da temperatura de secagem na resistência à compressão, sete corpos de prova, preparados conforme o item 4.3, foram submetidos ao teste de compressão, que foi realizado em equipamento EMIC de acordo com a NBR 8082 (ABNT, 2016).

A célula de carga utilizada foi de 100000 N e a velocidade de travessa de 5 mm/min. Antes do ensaio, todas os corpos de prova permaneceram 40 h em ambiente controlado a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $50 \pm 5\%$  de umidade relativa. Em cada quadrante do corpo de prova foram medidas a espessura e o diâmetro com paquímetro, para obtenção de uma espessura inicial média, e diâmetro médio (para o cálculo da área da seção transversal). A densidade aparente ( $d$ ) de cada corpo de prova também foi calculada conforme a Equação 6 utilizando as medidas obtidas antes da compressão para o cálculo do volume ( $V$ ) e a massa ( $m$ ) logo após a secagem.

$$d = \frac{m}{V} \quad (6)$$

A tensão de compressão ( $\sigma_c$ ), foi calculada em 10% de deformação, que é a deformação máxima permitida para utilizações práticas. A Equação 7 foi utilizada para calcular a tensão de compressão, que é dada pela razão entre a força de compressão ( $F$ ) e a área da seção transversal do corpo de prova ( $A_0$ ).

$$\sigma_c = \frac{F}{A_0} \quad (7)$$

#### 4.4.4 Biodegradabilidade

A análise de biodegradabilidade em solo seguiu a metodologia do teste “soil burial’ segundo a norma ASTM G160 (1998). Dois corpos de prova de cada condição,

foram enterrados em uma profundidade aproximada de 10 cm em solo previamente preparado conforme a norma ASTM G160 e acondicionado em copos de Becker de 1 L com cerca de 17 cm de altura.

Os copos de Becker foram mantidos em câmara com controles automáticos de temperatura ( $30 \pm 2$  °C) e umidade relativa do ar (85 a 95 %) (Figura 14). A análise visual foi realizada após 15, 30, 60 e 120 dias. Nestes tempos as amostras foram desenterradas, cuidadosamente limpas e fotografadas.



Figura 14 - Análise de biodegradabilidade em solo, biocompósitos enterrados em Becker de 17 cm

Fonte: o autor, 2019

#### 4.4.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram analisados pelo teste estatístico para rejeição de valores desviantes (Teste Q de Dixon), sendo aceitos ou não (RORABACHER, 1991). Foram também submetidos à análise de variância dos valores médios das amostras, através do Teste Tukey com nível de confiança de 95% (ANOVA).

## 4 RESULTADOS

### 5.1 BIOCOMPÓSITOS DE SUBSTRATO FRESCO

Os pacotes produzidos com a mistura de bagaço de malte e folhas de bananeira na proporção (1:1), com 20 e 30% de inóculo apresentaram um tempo de crescimento micelial (tempo para a completa colonização dos pacotes) de 28 e 12 dias respectivamente.

O tempo de reestabelecimento das hifas e completa colonização das moldeiras foi de 6 e 4 dias para os percentuais de 20 e 30%, respectivamente, resultando num tempo total de crescimento micelial de 34 e 16 dias (Figura 15).

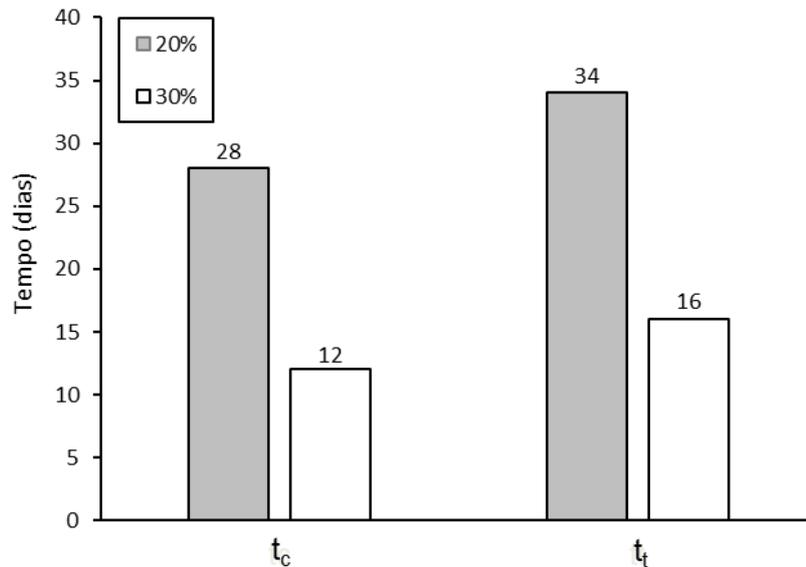


Figura 15 - Tempo de crescimento micelial ( $t_c$  = dias necessários para a completa colonização fúngica do substrato) e tempo total do processo ( $t_t$  =  $t_c$  + dias para a completa recolonização fúngica nas moldeiras) para a produção dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco com 20 e 30% de inóculo.

A condição de 30% mostrou-se mais favorável em relação ao tempo de crescimento micelial e total dos corpos de prova em relação à condição de 20% de inóculo.

Para cessar o crescimento do micélio os corpos de prova foram desidratados nas temperaturas de 40 e 60 °C. A Figura 16 ilustra as curvas de secagem dos biocompósitos produzidos com 20 e 30% de inóculo e seu comportamento nas duas temperaturas de secagem testadas (40 e 60 °C).

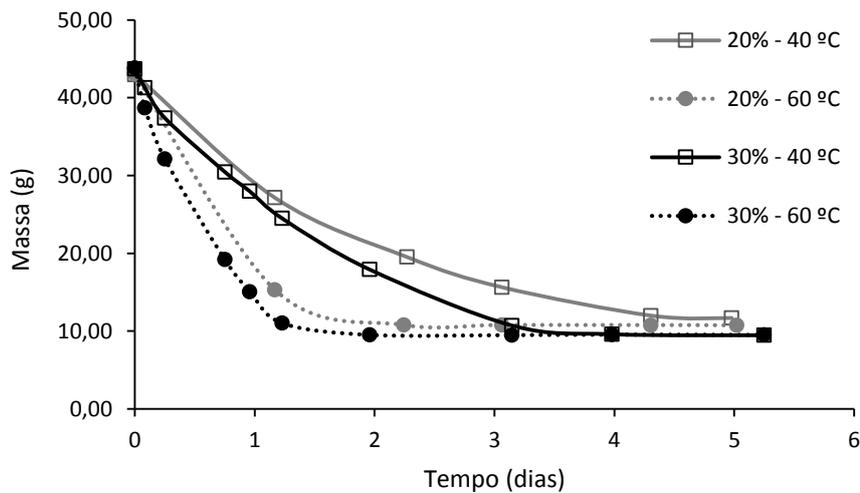


Figura 16 - Curvas de secagem, massa (g) x tempo (dias), dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C.

Analisando as curvas de secagem pôde-se perceber que apresentaram grande diferenciação em relação a temperatura utilizada.

Os valores do teor de umidade inicial (antes do início da secagem), do teor de umidade final (após a secagem), da velocidade de secagem e do tempo de secagem dos corpos de prova, são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2– Valores médios de teor de umidade inicial e final  $\pm$  dp (%), velocidade de secagem  $\pm$  dp (g/dia) e tempo de secagem (dias) dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. Letras iguais nas colunas, significam médias sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

Teor de inóculo (%)	Teor de umidade inicial ( $U_i$ - %)	Temperatura de secagem (°C)	Teor de umidade final ( $U_f$ - %)	Velocidade de secagem (g/dia)	Tempo de secagem (dias)
20	$74,48 \pm 1,89$ a	40	$9,76 \pm 0,30$ g	$7,31 \pm 0,43$ c	4,3
20		60	$5,59 \pm 1,35$ h	$14,49 \pm 0,48$ d	2,2
30	$78,43 \pm 0,96$ b	40	$10,02 \pm 4,41$ g	$8,58 \pm 0,23$ e	4,0
30		60	$4,44 \pm 1,20$ h	$17,52 \pm 0,42$ f	2,0

Na fração de inóculo de 30% o teor de umidade inicial foi 5,3% maior do que a umidade inicial da fração de 20%. No entanto, o teor de umidade final sofreu influência da temperatura de secagem e não da fração de inóculo, sendo cerca de 100% menor na temperatura de 60 °C. O mesmo comportamento pode ser observado para as velocidades de secagem. Apesar de diferentes estatisticamente para cada condição, apresentaram valores mais elevados na temperatura de 60 °C, obtendo uma velocidade de secagem em média 100% maior do que a secagem a 40 °C (Tabela 2).

Maior velocidade de secagem garante um menor tempo de secagem e consequentemente um menor tempo total de processo. Os corpos de prova secos a 60 °C levaram em torno de 2 dias para secarem enquanto os corpos de prova secos a 40 °C, cerca de 4 dias.

Analisando-se os tempos de produção dos corpos de prova (Figura 15) e os tempos de secagem (Tabela 2) observa-se que a condição que utilizou 30% de inóculo e secagem a 60 °C, apresentou um menor tempo global de produção dos corpos de prova (18 dias) em comparação ao inóculo de 30 °C com secagem a 40 °C (20 dias), ao inóculo com 20% a 60 °C (36,2 dias) e ao inóculo com 20% a 40 °C (38,3 dias).

Na Figura 17 estão apresentados os corpos de prova com 20 e 30 % de inóculo e secos a 40 °C e 60 °C. Observa-se que os corpos de prova são muito similares, não apresentando diferenças visuais após a secagem.

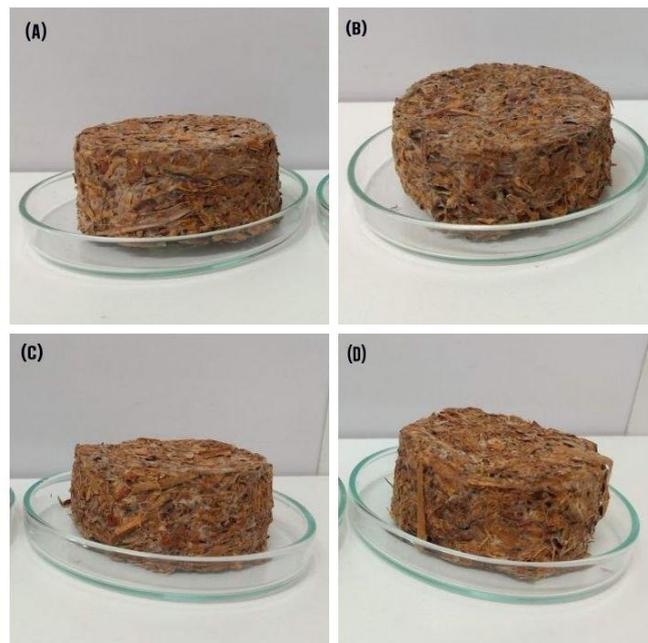


Figura 17 - Corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco. (A) 20% e 40 ° C; (B) 20% e 60 °C; (C) 30% e 40 ° C; (D) 30% e 60 °C.

A Figura 18 representa as condições de sorção de água nos corpos de prova. Após 2 horas de imersão, todos os biocompósitos sorveram em torno de 90% de água, não havendo diferença significativa entre eles. O percentual de inóculo de 30% seco a 40 ° C apresentou uma maior sorção de água (230%) após 24 h de imersão em comparação com as outras frações de inóculo testadas. Ainda na Figura 18, observa-se que os biocompósitos produzidos com 20% de inóculo secos a 40 ° C e os produzidos com 20 e 30% secos a 60 ° C apresentaram sorção de água similar em torno de 160% após 24 horas de imersão.

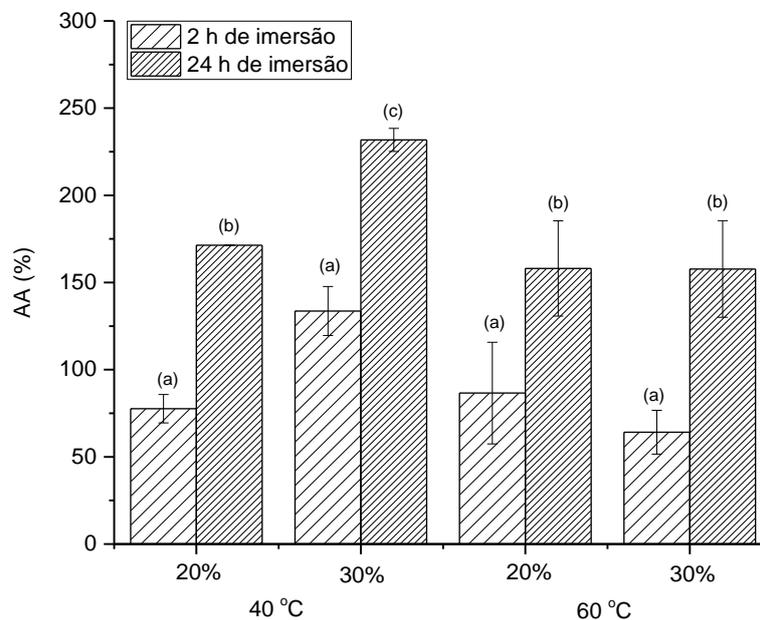


Figura 18 – Sorção de água (AA%) em 2 e 24h de imersão dos biocompósitos de substrato fresco. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

Os gráficos representados pela Figura 19 apresentam a sorção de umidade do ar em todos os corpos de prova testados no período de 60 dias de exposição. A análise dos corpos de prova com 30% de inóculo foi feita em dias diferentes que a dos de 20%. Durante os 60 dias de exposição dos corpos de prova com 20% de inóculo a temperatura ambiente variou de 18,6 a 25,2 °C, enquanto a umidade relativa do ar teve uma variação de 52 a 89%. Já para os corpos de prova de 30% de inóculo a temperatura ambiente variou de 17,7 a 26 °C, enquanto a umidade relativa do ar teve uma variação de 58 a 89%.

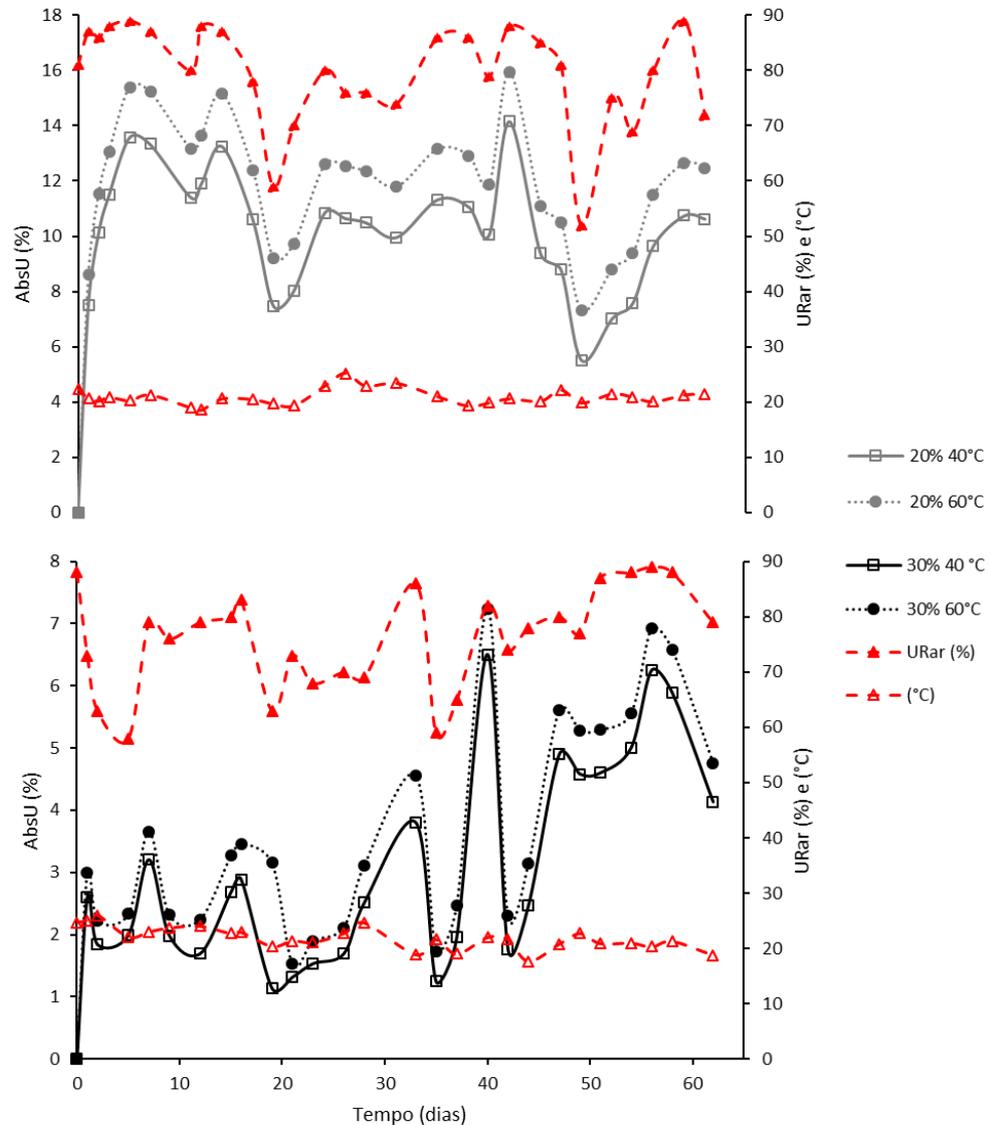


Figura 19 - Influência da umidade do ar (AbsUar %) por tempo de exposição (dias) dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 (b) e 30% (a) de inóculo e secos a 40 e 60 °C. As linhas segmentadas com símbolo (▲) e (Δ) referem-se à medida da umidade relativa do ar e a temperatura ambiente, respectivamente, no momento da pesagem.

Observa-se na Figura 19 que todos os corpos de prova dos biocompósitos sofreram influência da umidade relativa do ar aumentando o percentual de sorção de umidade quando a umidade relativa do ar era mais elevada e diminuindo quando esta era menor. Nos primeiros dias de exposição, rapidamente aconteceu a sorção da umidade do ar pelos corpos de prova e observa-se que aqueles secos a 60 °C adquiriram maior umidade que os secos a 40 °C, o que já era esperado porque os

corpos de prova secos a 60 °C possuíam menor teor de umidade do que 40 °C. No entanto, os biocompósitos com 20% de inóculo apresentaram os maiores percentuais de sorção de umidade. O ponto máximo de sorção de umidade obtido foi de 15,9% pelos corpos de prova com fração de inóculo de 20% secos a 60 °C, seguido dos corpos de prova com 20% de inóculo e secos a 40 °C, que apresentaram 14,1% de sorção de umidade em 42 dias de exposição (Figura 19). Já, os corpos de prova com 30% de inóculo e secos a 60 °C tiveram seu ponto máximo de sorção de 7,1%, enquanto os produzidos com 30% de inóculo e secos a 40°C adquiriram um pouco menos de umidade do ar (6,5%) em 40 dias de exposição.

Verifica-se então, que a fração de inóculo influenciou na sorção de umidade do ar pelos corpos de prova, pois as condições ambientais nos dias de maior sorção de umidade eram similares, 88% de umidade relativa do ar e 22 °C no dia 42 para os corpos de prova com 20% de inóculo e 82% de umidade relativa do ar e 21 °C no dia 40 para os corpos de prova com 30% de inóculo. Assim, devido aos biocompósitos com 30% de inóculo terem, no ponto de máxima sorção, menor percentual de sorção de umidade, 6,8% em média, devem ter preferência na definição das condições de preparo destes biocompósitos.

Apesar da sorção de umidade do ar por estes corpos de prova, durante os 60 dias de análise que os corpos de prova ficaram expostos em uma prateleira do laboratório, não foi observada contaminação, por fungos, como por exemplo os do gênero *Trichoderma*, contaminação comum em substratos fúngicos. Estes fungos apresentam micélio branco com esporulação escura, facilmente detectada a olho nú (CHA, 2004).

Os resultados obtidos para a tensão de compressão estão demonstrados na Figura 20. Verifica-se que os bicompositos produzidos com 20% de inóculo apresentaram maior tensão de compressão antes da exposição à umidade do ar, cerca de 0,011 MPa caindo para 0,07 MPa, após a sorção da umidade do ar, para as duas temperaturas de secagem. A tensão de compressão dos biocompósitos com 30% de inóculo, antes do período de sorção de umidade do ar foi mais elevada (0,014 MPa), independentemente da temperatura de secagem, não apresentando diferença significativa após a sorção de umidade do ar.

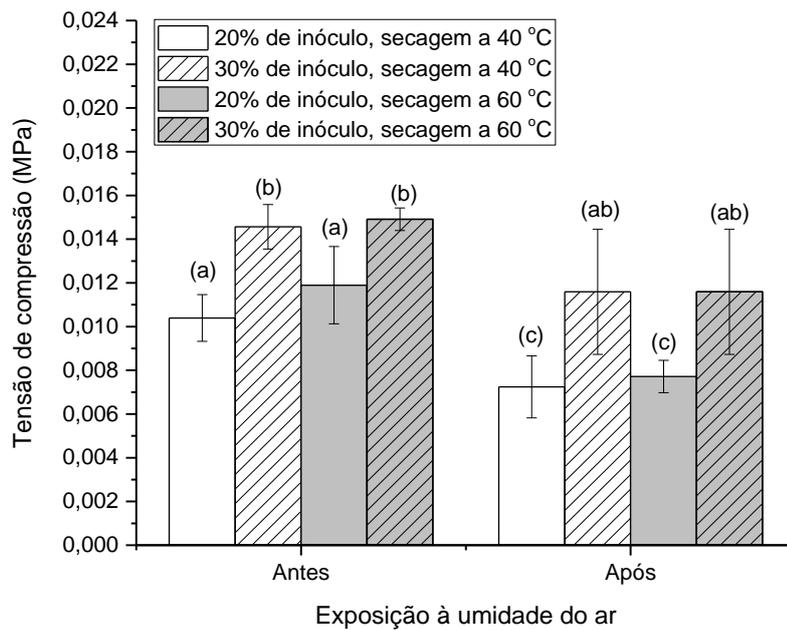


Figura 20 - Tensão de compressão para os corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 ou 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C antes do período de exposição à umidade do ar e após o período de exposição à umidade do ar. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

A relação da densidade do material com a tensão de compressão está demonstrada na Tabela 3 e observa-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre elas. Assim, os valores da tensão de compressão são função somente do teor de inóculo, sendo maior quanto maior este teor.

Tabela 3 - Valores médios de densidade  $\pm$  dp ( $\text{kg/m}^3$ ) e tensão de compressão  $\pm$  dp (MPa) dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato fresco produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. Letras iguais nas colunas, significam médias sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

Teor de inóculo (%)	Temperatura de secagem (°C)	Densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	Tensão de compressão (MPa)
20	40	183 $\pm$ 17 a	0,0104 $\pm$ 0,0011 a
20	60	195 $\pm$ 34 a	0,0119 $\pm$ 0,0018 a
30	40	185 $\pm$ 13 a	0,0146 $\pm$ 0,0010 b
30	60	164 $\pm$ 5 a	0,0149 $\pm$ 0,0005 b

A análise de biodegradabilidade foi feita de maneira visual. Os biocompósitos foram desenterrados após 15, 30, 60 e 120 dias de ensaio (Figura 21). Cabe ressaltar que apesar de nenhuma análise instrumental ter sido realizada para verificar se este material realmente se degradou no solo, em todos os testes, o solo próximo ao material não apresentava sinais, a olho nú, de restos dos biocompósitos. Mesmo assim preferimos aqui falar de desintegração ao invés de biodegradação. Os biocompósitos com 20% de inóculo foram desintegrados com maior facilidade e constatou-se que após 30 dias a desintegração desse material foi expressiva, no entanto para os biocompósitos com 30% de inóculo a desintegração do material pode ser observada mais efetivamente após 60 dias de ensaio. Contudo, para todas as condições, em 120 dias, observa-se uma avançada desintegração em comparação com outros materiais não biodegradáveis como por exemplo o poliestireno expandido (EPSBRASIL, 2019).



Figura 21 - Biodegradabilidade dos biocompósitos de substrato fresco com 20% a 40 °C , 20% a 60 °C, 30 % a 40 °C e 30 % a 60 °C após 15, 30, 60 e 120 dias

Analisando-se todos os resultados obtidos com substrato fresco, observa-se que em relação à fração de inóculo, a de 30% promoveu menor tempo global de processo, menor sorção da umidade do ar e maior resistência a compressão. Em relação à temperatura de secagem, a de 60 °C proporcionou aos corpos de prova menor sorção de água após 24 horas de imersão e apesar de não ter sido a condição que teve maior desintegração, ainda assim, apresentou expressiva desintegração em 60 dias de teste em solo. Assim sendo, para o substrato fresco a condição de 30% de inóculo e secagem a 60°C foi a condição definida nesta etapa para produção dos biocompósitos.

## 5.2 BIOCOMPÓSITOS DE SUBSTRATO RESIDUAL

Os pacotes produzidos com substrato residual, com 20 e 30% de inóculo apresentaram um tempo de crescimento micelial (tempo para a completa colonização do substrato nos pacotes) de 21 e 12 dias, respectivamente (Figura 22).

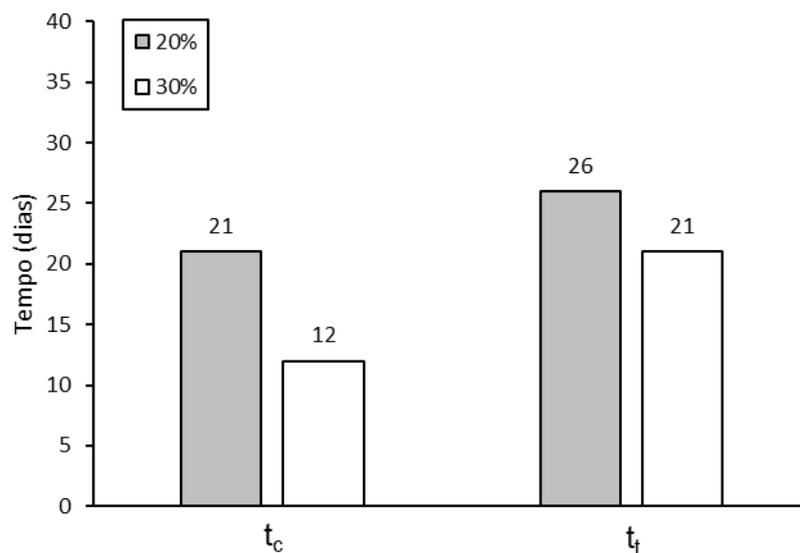


Figura 22 - Tempo de crescimento micelial ( $t_c$  = dias necessários para a completa colonização fúngica do substrato) e tempo total do processo ( $t_t$  =  $t_c$  + dias para a completa recolonização fúngica nas moldeiras) para a produção dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual com 20 e 30% de inóculo.

O tempo de reestabelecimento das hifas e completa recolonização fúngica nas moldeiras foi de 5 e 9 dias, resultando num tempo total ( $t_t$ ) de processo de 26 e 21 dias para 20 e 30% de inóculo, respectivamente. A condição de 30% mostrou-se mais favorável em relação ao tempo de crescimento micelial e total dos corpos de prova, em relação à condição de 20% de inóculo.

Para que o crescimento do micélio cessasse, os corpos de prova foram desidratados nas temperaturas de secagem de 40 e 60 °C. Na Figura 23 estão ilustradas as curvas de secagem dos biocompósitos produzidos com 20 e 30% de inóculo e seu comportamento nas duas temperaturas de secagem testadas.

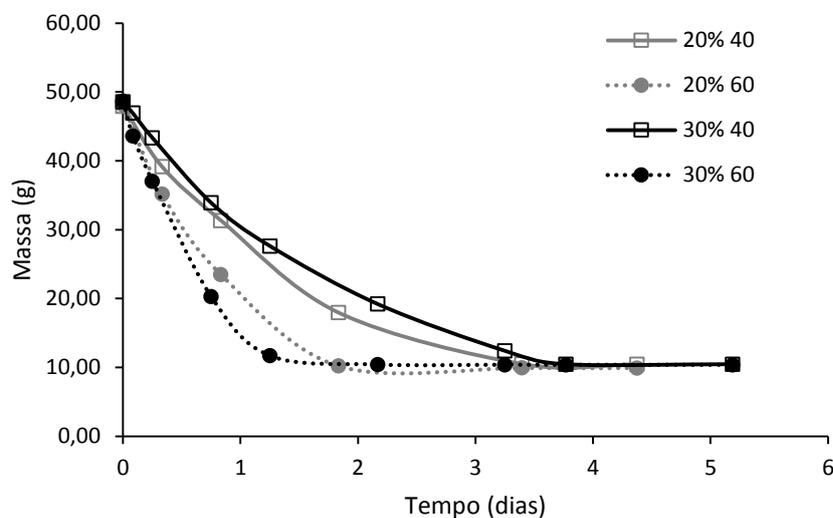


Figura 23 - Curvas de secagem dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 ou 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C.

Analisando as curvas de secagem pôde-se perceber que as frações de inóculo utilizadas não demonstraram influência na velocidade de secagem. No entanto, como esperado, as curvas apresentam grande diferenciação em relação à temperatura utilizada. Os valores do teor de umidade inicial (antes do início da secagem), do teor de umidade final (após a secagem), da velocidade de secagem e do tempo de secagem dos corpos de prova, são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios de teor de umidade inicial e final  $\pm$  dp (%), velocidade de secagem  $\pm$  dp (g/dia) e tempo de secagem (dias) dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. Letras iguais nas colunas, significam médias sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%

Teor de inóculo (%)	Teor de umidade inicial ( $U_i$ - %)	Temperatura de secagem (°C)	Teor de umidade final ( $U_f$ - %)	Velocidade de secagem (g/dia)	Tempo de secagem (dias)
20	78,79 $\pm$ 1,13 <i>a</i>	40	10,29 $\pm$ 1,79 <i>d</i>	11,02 $\pm$ 0,18 <i>b</i>	3,4
20		60	5,67 $\pm$ 0,80 <i>e</i>	17,61 $\pm$ 0,40 <i>c</i>	2,2
30	78,56 $\pm$ 0,71 <i>a</i>	40	7,74 $\pm$ 0,43 <i>de</i>	10,11 $\pm$ 0,12 <i>d</i>	3,8
30		60	6,38 $\pm$ 1,83 <i>e</i>	17,66 $\pm$ 0,21 <i>c</i>	2,2

O teor de umidade inicial não apresentou diferença significativa entre as frações de inóculo. No entanto, o teor de umidade final apresentou teores menores na temperatura de 60 °C. O mesmo comportamento pode ser observado para as velocidades de secagem. Apesar de diferentes estatisticamente para algumas condições, apresentaram valores mais elevados na temperatura de 60 °C, obtendo uma velocidade de secagem em média 67% maior do que a secagem a 40 °C (Tabela 4).

Analisando-se os tempos de produção dos corpos de prova (Figura 22) e os tempos de secagem (Tabela 4) observa-se que a condição que utilizou 30% de inóculo e secagem a 60°C apresentou um menor tempo global de produção dos corpos de prova (23,2 dias) em comparação ao inóculo de 30 °C com secagem a 40 °C (24,8 dias), ao inóculo com 20% a 60 °C (28,2 dias) e ao inóculo com 20% a 40 °C (29,8 dias).

Na Figura 24 estão apresentados os corpos de prova com 20 e 30 % de inóculo residual e secos a 40 °C e 60 °C. Observa-se que os corpos de prova são muito similares, não apresentando diferenças visuais após a secagem.

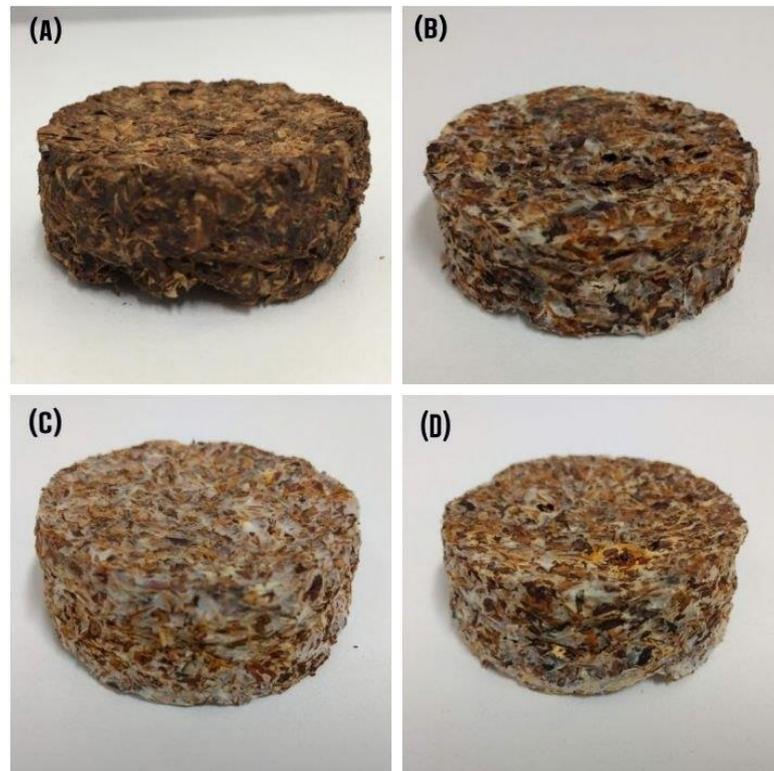


Figura 24 - Corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual (A) 20% e 40 ° C; (B) 20% e 60 °C; (C) 30% e 40 ° C; (D) 30% e 60 °C.

Na Figura 25 estão apresentados os resultados em termos de sorção de água nos corpos de prova com percentuais de 20 e 30% de inóculo residual e secos a 40 e 60 °C.

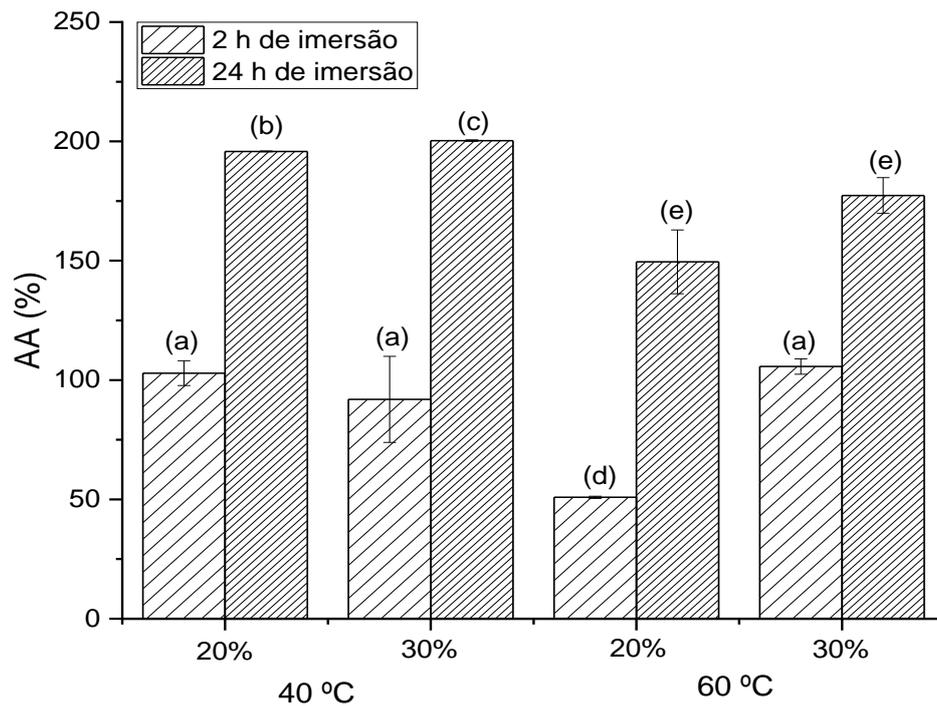


Figura 25 – Sorção de água (AA%) em 2 e 24 h de imersão dos biocompósitos de substrato residual. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

Observa-se na Figura 25 que após 2 h de imersão os biocompósitos sorveram cerca de 100% de água, exceto o de 20% de inóculo seco a 60 °C que sorveu em torno de 50% de água. Após 24 h de imersão os biocompósitos secos a 40 °C apresentaram uma maior sorção de água, em torno de 200%, maior que os secos a 60 °C, que tiveram, em média, 160% de sorção.

Na Figura 26 está apresentada a evolução da sorção de umidade do ar em todos os corpos de prova testados no período de 60 dias de exposição. Durante este tempo a temperatura ambiente variou de 21,4 a 27 °C, enquanto que a umidade relativa do ar teve uma variação de 50 a 82%.

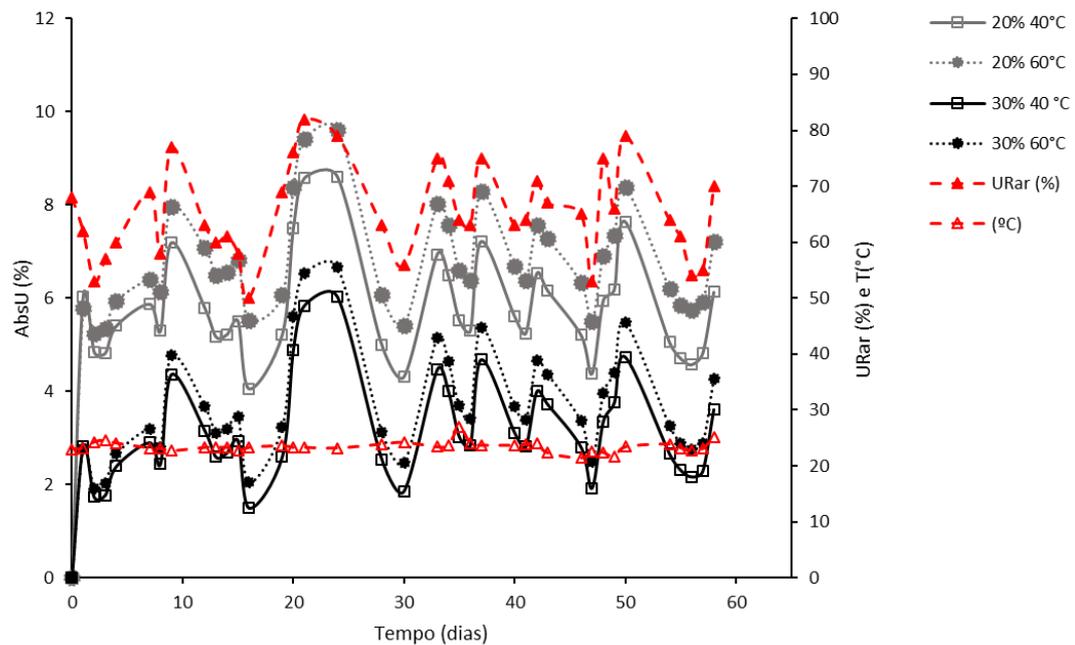


Figura 26 - Influência da umidade do ar (AbsUar %) por tempo de exposição (dias) dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C. As linhas segmentadas com símbolo (▲) e (Δ) referem-se à medida da umidade relativa do ar e a temperatura ambiente, respectivamente, no momento da pesagem.

Todos os corpos de prova sofreram influência da umidade relativa do ar, aumentando o percentual de sorção de umidade com o aumento da umidade relativa do ar e diminuindo quando esta era menor. Apesar da sorção de umidade por estes corpos de prova, durante os 60 dias de exposição ao ambiente do laboratório, não foi observada nenhuma contaminação aparente por fungos, como por exemplo fungos do gênero *Trichoderma*, contaminação comum em substratos fúngicos (CHA, 2004).

O ponto máximo de sorção de umidade foi em 24 dias de exposição. Neste dia a temperatura ambiente marcava 23 °C e a umidade relativa do ar no momento da pesagem era de 79%. Neste dia, os corpos de prova com fração de inóculo de 20% e secos a 60 °C apresentaram 9,6% de sorção seguidos dos corpos de prova com 20% de inóculo e secos a 40°C (8,6%). Já, os corpos de prova produzidos com fração de inóculo de 30% apresentaram menor sorção de umidade do ar neste dia, 6,6 e 6,0% para os secos a 60 e 40 °C, respectivamente.

Assim, da mesma forma que para os corpos de prova produzidos com substrato fresco, a fração de inóculo de 30% favoreceu uma menor sorção de umidade do ar e devem ter preferência na definição das condições de preparo destes biocompósitos.

Os resultados obtidos para a tensão de compressão estão demonstrados na Figura 27.

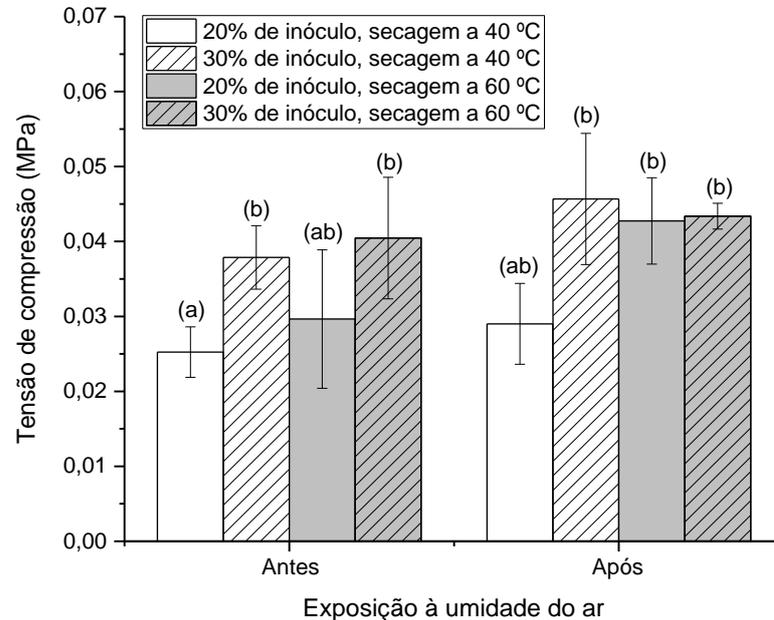


Figura 27 - Tensão de compressão para os corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 e 30% de inóculo e secos a 40 e 60 °C, antes do período de exposição à umidade do ar e após o período de exposição à umidade do ar. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

Antes da sorção de umidade do ar, os corpos de prova produzidos com 20% de inóculo e secos a 40 °C apresentaram menor resistência a compressão (0,025 MPa), permanecendo com a mesma tensão de compressão após a sorção da umidade do ar (Figura 27). Os demais biocompósitos não apresentaram diferença significativa entre si, tanto antes da exposição à umidade do ar quanto após, ficando a tensão de compressão em torno de 0,04 MPa.

A relação da densidade do material com a tensão de compressão está demonstrada na Tabela 5. Percebe-se que a densidade aparente foi igual estatisticamente para todas as condições, não interferindo, portanto, na tensão de compressão.

Tabela 5 – Valores médios de densidade  $\pm$  dp ( $\text{kg/m}^3$ ) e tensão de compressão  $\pm$  dp (MPa) dos corpos de prova dos biocompósitos de substrato residual produzidos com 20 e 30% de inóculo no substrato residual e secos a 40 e 60 °C. Letras iguais nas colunas, significam médias sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

Teor de inóculo (%)	Temperatura de secagem (°C)	Densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	Tensão de compressão (MPa)
20	40	260 $\pm$ 15 a	0,025 $\pm$ 0,003 a
20	60	263 $\pm$ 12 a	0,029 $\pm$ 0,009 ab
30	40	261 $\pm$ 16 a	0,038 $\pm$ 0,004 b
30	60	242 $\pm$ 20 a	0,040 $\pm$ 0,008 b

A análise de biodegradabilidade dos biocompósitos residuais está apresentada na Figura 28. Os biocompósitos foram desenterrados após 15, 30, 60 e 120 dias e a análise foi visual. Lembremos que preferimos aqui falar de desintegração ao invés de biodegradação.

Verificou-se que a desintegração do material foi observada a partir de 60 dias de ensaio e não foi constatada completa desintegração do material após 120 dias. Pode-se observar que o biocompósito produzido com 20% de inóculo e seco a 40 °C, em 120 dias de ensaio, ainda permaneceu na sua forma original, enquanto os demais, neste mesmo tempo, já apresentavam desintegração, independentemente da fração de inóculo e da temperatura de secagem.

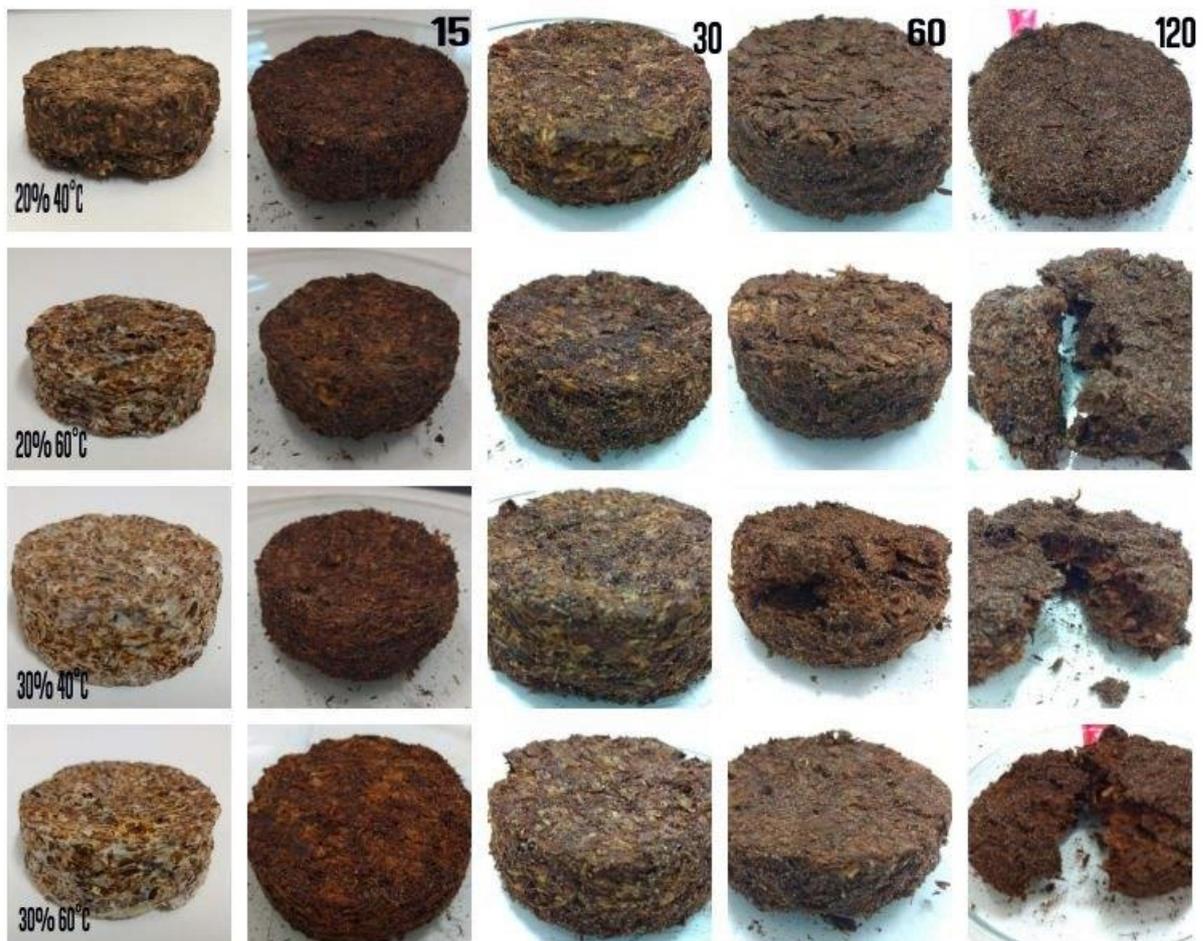


Figura 28 - Biodegradabilidade dos biocompósitos de substrato residual com 20% a 40 °C , 20% a 60 °C, 30 % a 40 °C e 30 % a 60 °C após 15, 30, 60 e 120 dias

Avaliando-se todos os resultados obtidos com substrato residual, é possível verificar que em relação à fração de inóculo, a fração de 30% foi a que promoveu menor tempo global de processo, menor sorção da umidade do ar e a tensão de compressão ficou entre as maiores. Em relação à temperatura de secagem, 60 °C foi a melhor para o processo, pois os corpos de prova secos a esta temperatura apresentaram menor sorção de água, obtiveram tensão de compressão, também, entre as maiores e apresentaram desintegração expressiva em 120 dias de teste em solo, a desintegração expressiva do material é uma característica desejada para que o biocompósito seja facilmente degradado no ambiente após o seu descarte. Dessa maneira, a fração de 30% de inóculo com secagem a 60 °C foi determinada como a melhor condição para o processo de produção de biocompósitos com substrato residual.

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos itens 5.1 e 5.2 ficou definido que os biocompósitos provenientes de bagaço de malte e folhas de bananeira com *Pleurotus sajor-caju* devem ser preparados com 30% de inóculo e secos a 60 °C. Assim, os dois tipos de biocompósitos preparados nestas condições, ou seja, a partir de substrato fresco e residual serão aqui comparados.

Analisando-se a Figura 29, que compara biocompósitos produzidos com 30% de inóculo secos a 60 °C nos dois substratos utilizados (fresco e residual), percebe-se que apesar do substrato residual já ter sofrido uma degradação prévia, o fungo *Pleurotus sajor-caju* apresentou maior massa micelial neste substrato.

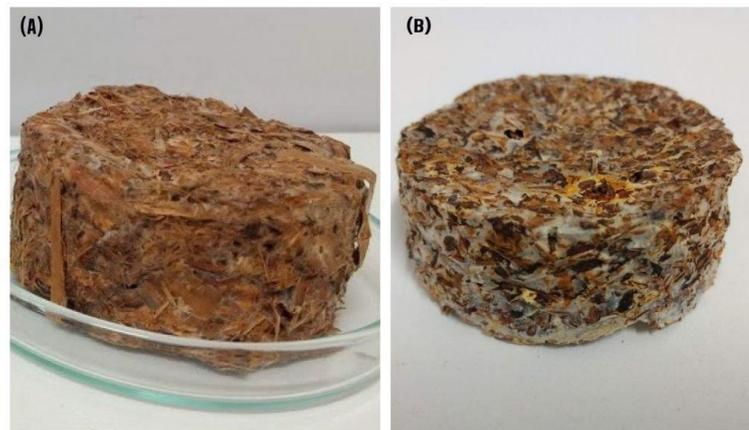


Figura 29 - Corpos de prova dos biocompósitos produzidos com 30% de inóculo e secos a 60 °C em substrato (A) fresco e (B) residual.

Isto pode ser explicado pelo fato de que o substrato residual, que é aquele obtido após o cultivo de *P. sajor-caju*, apresenta maior quantidade de proteínas e cinzas que o substrato fresco (SCHULZ, 2016). Esta maior quantidade é, na sua maioria, proveniente do micélio, melhorando nutricionalmente o substrato residual para novo cultivo de *P. sajor-caju*. Uma maior quantidade de proteínas significa ter nitrogênio facilmente disponível (PATRABANSH e MADAN, 1997) e maior quantidade de cinzas uma composição rica em minerais (BANO e RAJARATHNAM, 1988), principalmente em termos de P e K, também facilmente disponível para o crescimento micelial, tendo, inclusive cogumelos de *P. sajor-caju* alto teor destes nutrientes quando cultivados em substrato de bagaço de malte e folhas de bananeira (SHULZ, 2016).

No gráfico da Figura 30, está apresentado um comparativo dos tempos totais e globais de processo dos biocompósitos produzidos em substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C

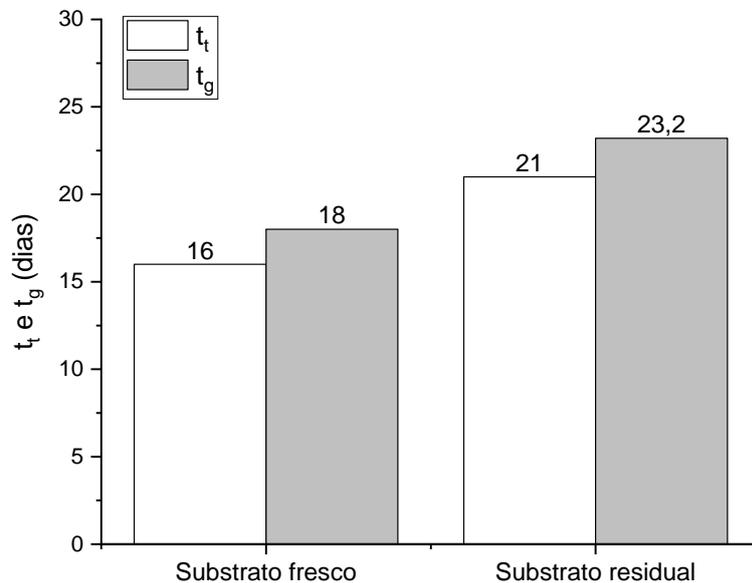


Figura 30 - Tempo total do processo ( $t_t$ ) ( $t_t = t_c +$  dias para a completa recolonização fúngica nas moldeiras) e tempo global de processo ( $t_g = t_t +$  tempo de secagem) dos biocompósitos produzidos com 30% de inóculo e secos a 60 °C nos substratos fresco e residual.

Ao observar o gráfico da Figura 30 verifica-se que, apesar da maior massa micelial aparente (Figura 29), o substrato residual deste trabalho apresentou um maior tempo total de processo (21 dias) que o substrato fresco (16 dias), deve-se lembrar que no substrato residual não houve adição de farelo de arroz, o que pode ter influenciado no maior tempo para completa colonização. O tempo global de processo (tempo total de processo + tempo de secagem) manteve o mesmo comportamento, sendo cerca de 5 dias maior nos biocompósitos de substrato residual (23,2 dias) que nos biocompósitos de substrato fresco (18 dias).

Este mesmo comportamento foi observado na melhor condição definida por Rocha (2018), ou seja, ao produzir biocompósitos com erva-mate e guaraná (1:1) *in natura* inoculados com 10% de *Pleurotus sajor-caju* e secos a 60 °C, obteve um tempo total e global de processo de 18 e 20 dias, respectivamente. Já, para o substrato residual, o tempo total e global de processo foi, também, mais elevado, 37 e 39 dias, respectivamente. No entanto, observa-se que os tempos obtidos por Rocha (2018)

foram mais elevados que os obtidos no presente estudo, provavelmente devido à menor fração de inóculo utilizada pela autora.

Appels *et al.* (2019) quando produziram biocompósitos de serragem de faia, palha de colza e fibras de algodão com *Trametes ochracea* e *Pleurotus ostreatus* obtiveram um tempo de crescimento total de 24 dias para todos os substratos testados, e um tempo global de processo de 25 a 26 dias, tempos similares ao obtido para o substrato residual do presente estudo. No entanto, Pedri (2014) produziu um biocompósito utilizando fibras de pupunheira inoculados com 1/6 de micélio de uma placa de Petri com *Lentinula edodes* e obteve um tempo total de produção de 12 dias. Agustina *et al.* (2019) fizeram biocompósitos com fibra de palma e bagaço de mandioca com inóculo líquido de *Ganoderma lucidum*, e o tempo obtido de crescimento foi de 12 dias, com um tempo global de processo de 13 dias e secagem entre 55 – 60 °C.

Attias *et al.* (2019) utilizaram resíduos de poda de culturas de maçã e de videira com três espécies de fungos diferentes (*Colorius sp*, *Trametes sp* e *Ganoderma sp*,) para a produção de biocompósitos e em todas as amostras testadas, o tempo de crescimento foi de 14 dias em média, com mais 2 dias para o processo de secagem resultando em um tempo global de processo de 16 dias. Valor muito próximo ao obtido no substrato fresco deste estudo.

Constata-se que o tempo total de processo dos biocompósitos avaliados da literatura variam de 11 a 24 dias. Os tempos obtidos neste estudo ficaram dentro desta faixa tanto para o substrato fresco quanto para o residual.

Como biocompósitos feitos de micélio advém de um processo biológico, a umidade inicial adequada é um fator importante para que o fungo cresça e realize as suas funções fisiológicas, contudo, uma vez que a colonização do fungo no substrato está completa, a maior parte da umidade deve ser eliminada para desativar o crescimento fúngico, provendo assim um produto final funcional (GIROMETTA *et al.*, 2019). Assim, nas Figuras 31 e 32 são mostrados os valores de umidade inicial ( $U_i$ ) e final ( $U_f$ ) e as massas finais ( $M_f$ ), respectivamente, dos biocompósitos produzidos com substrato fresco e residual.

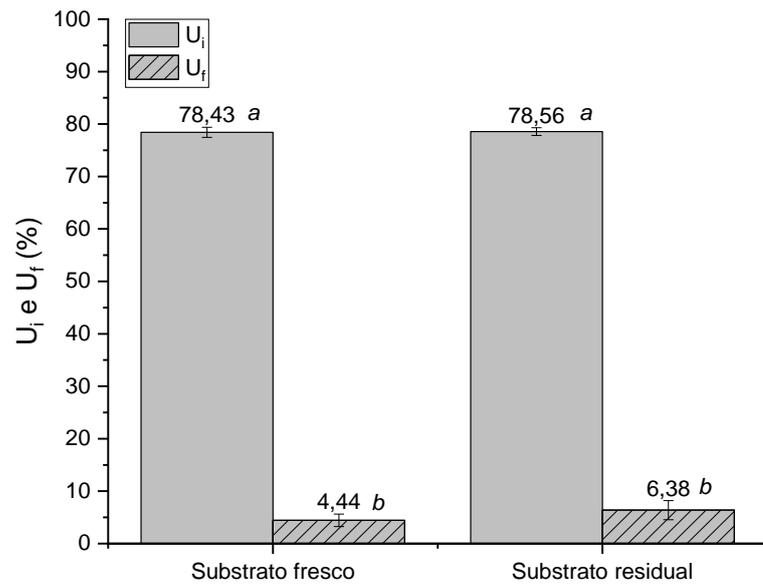


Figura 31 - Valores médios de teor de umidade inicial ( $U_i$ ) e final ( $U_f$ )  $\pm$  dp dos biocompósitos de substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

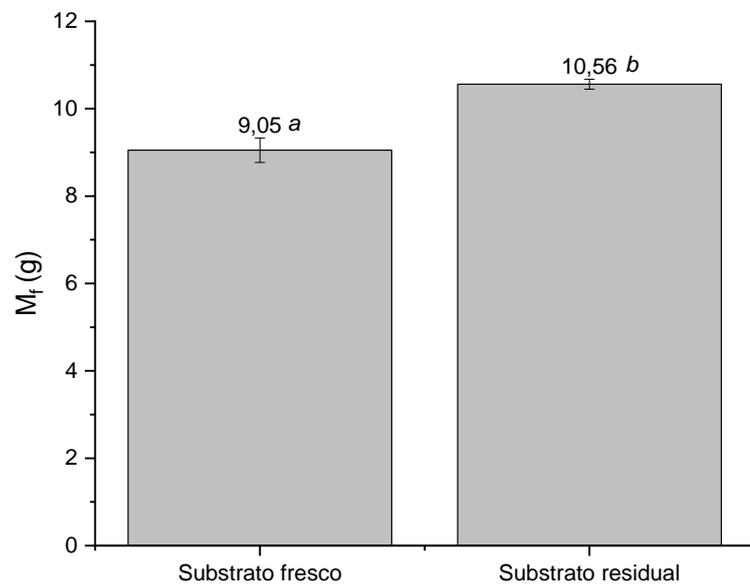


Figura 32 - Valores médios da massa final ( $M_f$ )  $\pm$  dp (g) dos biocompósitos de substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

A umidade inicial e final de ambos os substratos não apresentaram diferença significativa (Figura 31). No entanto, após o processo de secagem a 60 °C os biocompósitos de substrato fresco e residual atingiram uma massa final de 9,05 e 10,56 g, respectivamente (Figura 32), com uma velocidade média de secagem de 17,6 g/dia para ambos os substratos (Tabelas 2 e 4). Apesar de apresentarem a mesma velocidade de secagem e a mesma umidade final, a massa dos biocompósitos de substrato residual é, aproximadamente, 16,6% mais elevada que a massa dos biocompósitos de substrato fresco, provavelmente devido à maior massa micelial nos biocompósitos de substrato residual (Figura 29).

A umidade inicial encontrada por Rocha (2018) para biocompósitos feitos de erva mate e guaraná com *Pleurotus sajor-caju* em substratos *in natura* e residual foi de 68,17 e 73,54%, respectivamente, valores próximos aos obtidos neste trabalho. Já Pedri (2014) encontrou um valor um pouco menor (59,7%) para biocompósitos feitos de fibras de pupunheira com *Lentinula edodes*.

Bruscato *et al.* (2019) obtiveram uma umidade inicial de 69,5% para biocompósitos feitos de serragem e farelo de trigo. Ghazvinian *et al.* (2019) ao produzirem biocompósitos de serragem e palha com *Pleurotus ostreatus* encontraram uma umidade inicial de 67,3 a 69,7 %. Elsacker *et al.* (2019), avaliaram a umidade inicial em biocompósitos feitos de cânhamo, linho, pó de palha de trigo e palha de trigo inoculados com *Trametes versicolor*, e observaram que a umidade inicial para todos os substratos avaliados ficou entre 61,7 e 83,2%.

Verifica-se que a umidade inicial dos biocompósitos fúngicos encontrados na literatura varia de 59,7 a 83,2%. Para o crescimento satisfatório de micélio do gênero *Pleurotus* o substrato deve ter aproximadamente 70% de umidade (YANG, 1986). Os valores encontrados neste trabalho estão dentro da faixa encontrada na literatura, e bem próximo da umidade ideal para desenvolvimento fúngico.

Em termos de umidade final, ou seja, a umidade do produto final, Appels *et al.* (2019) ao produzirem biocompósitos feitos de palha de colza encontraram valores de umidade final de 7,6 a 9,6%, e para os biocompósitos feitos de algodão a umidade final foi de 5,8 a 7,2%, alguns destes biocompósitos foram submetidos a prensagem a quente (150 °C), outros foram prensados a frio (20 °C) e outros não sofreram prensagem.

Agustina *et al.* (2019) produziram biocompósitos feitos de fibra de açúcar de palma e bagaço de mandioca, secos a 55 - 60 °C durante 20 h e obtiveram uma umidade final entre 7,9 a 8,8%.

Os valores encontrados na literatura são maiores do que os obtidos neste trabalho. Contudo, percebe-se que a umidade final apresentada depende do substrato utilizado como também da forma de secagem utilizada, os biocompósitos deste trabalho foram submetidos a um maior tempo de secagem do que os encontrados na literatura, o que resulta em uma menor umidade final.

De acordo com Deacon (2006) a umidade a qual nenhum fungo consegue crescer é abaixo de 14%, no entanto, um pequeno aumento na umidade para 15 a 16% permitirá o crescimento do *Aspergillus spp.*, fungo tolerante ao estresse. A umidade encontrada no presente trabalho para o produto final está abaixo de 14%, valor necessário para inibição do crescimento de fungos, tornando o produto viável e funcional.

No gráfico da Figura 33 pode-se observar os resultados de sorção de água para os biocompósitos produzidos em substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C

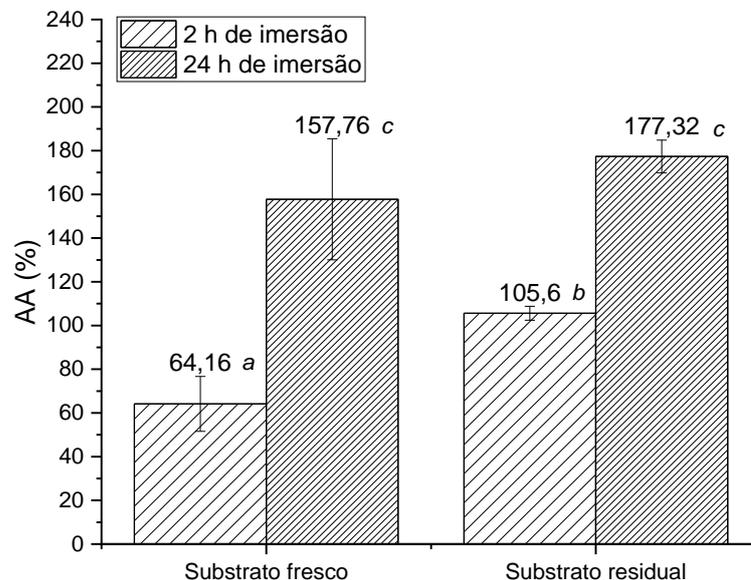


Figura 33 - Sorção de água (AA%) em 2 e 24 h de imersão dos biocompósitos produzidos com 30% de inóculo e secos a 60 °C nos substratos fresco e residual. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

Observando-se a Figura 33 verifica-se que a sorção de água para os biocompósitos de substrato fresco e residual, apresentou diferença significativa somente em 2 h de imersão, sendo que os biocompósitos de substrato fresco sorveram 64,16% de água enquanto o residual, 105,6%. Essa diferença pode ser explicada pela maior massa dos biocompósitos de substrato residual, o que faz com que a sorção de água seja maior, no entanto, após as 24 h de imersão, ambos os biocompósitos não apresentaram diferença significativa na quantidade total de água sorvida (média de 167%)

Rocha (2018), para produção de biocompósitos, utilizou erva mate e guaraná inoculados com *Pleurotus sajor-caju*, observou comportamento similar para a condição de 10% de inóculo e secagem a 60 °C. Os biocompósitos de substrato residual absorveram mais água que os biocompósitos de substrato *in natura*. Em 2 e 24 h de imersão o biocompósito de substrato *in natura* absorveu 41 e 91% e o residual 126 e 154 %, respectivamente.

Agustina *et al.* (2019) obtiveram, também, valores menores que os encontrados neste trabalho, 64,22 a 116,96% de sorção de água após 24 h de imersão para diferentes biocompósitos feitos de fibra de açúcar de palma e bagaço de mandioca com inóculo líquido de *Ganoderma lucidum*.

No entanto, a sorção de água obtida no presente estudo (cerca de 167%), foi muito menor quando comparada a sorção encontrada por Pedri (2014) em biocompósitos feitos de fibras de pupunheira (374%), atingindo o estado de saturação já em 2 h de imersão, e menor, também, que a encontrada por Ziegler *et al.* (2016) que foi de 300% após 50 h de exposição para um material feito de algodão e cânhamo.

Appels *et al.* (2019) também encontraram uma sorção de água maior do que a relatada neste trabalho, após 192 h de imersão absorveram 279 e 508 % de água para biocompósitos feitos de palha de colza e algodão respectivamente, o fungo utilizado foi o *Pleurotus ostreatus*. Já Holt *et al.* (2012) encontraram um valor menor para um biocompósito feito de resíduo de algodão, amido e gesso com *Ganoderma sp.*, sendo 48 e 198% para 3 e 168 h de imersão, respectivamente. Attias *et al.* (2019) ao produzirem biocompósitos com resíduos de poda de culturas de maçã e de videira com *Colorius sp.*, obtiveram um valor de 175% de sorção de água após 24 h, valor bem próximo ao encontrado neste trabalho.

Um dos grandes problemas para a aplicação dos biocompósitos miceliais é a tendência de absorverem grandes quantidades de água (48 a 508%), pois as fibras

vegetais que compõem os biocompósitos possuem natureza hidrofílica em decorrência das hidroxilas presentes na celulose e na hemicelulose, por isso absorvem uma grande quantidade de água (IVANO, 2013).

Biocompósitos feitos de micélio que foram submetidos a prensagem a frio ou a quente absorveram menos que a metade de água do que compósitos secos em estufa com circulação de ar, pois os materiais prensados possuem menos espaços vazios (JONES *et al.*, 2019). De acordo com Sjoqvist *et al.* (2010) quanto maior a porosidade do material maior a capacidade de sorção de água por meio da entrada da água nos espaços vazios (poros), isso indica que quanto menor a sorção de água pelos biocompósitos menor a porosidade e maior a densidade.

A sorção de água pode causar efeitos significativos nas propriedades físicas de um compósito afetando o desempenho mecânico e a durabilidade do material (DANTAS, 2011). Ziegler *et al.* (2016) constataram que à medida que a sorção de água aumentava as amostras perdiam a rigidez superficial e algumas partículas se soltavam da superfície, o mesmo aconteceu neste trabalho. Para tanto, a sensibilidade à água é um critério importante para muitas aplicações práticas de compósitos (MA *et al.*, 2009). De acordo com Castro *et al.* (2013), quanto menor o teor de água absorvido, melhor o desempenho do material para uma possível aplicação em que o material se encontre em contato com água. Para diminuir a sorção de água de um material deve-se aumentar a densidade ou revestir a superfície externa com um material hidrofóbico (KLYOSOV & KLESOV, 2007).

Com relação a sorção de umidade do ar, o comportamento foi muito similar para os biocompósitos de substrato fresco e para os biocompósitos de substrato residual (Figura 34). Todos os corpos sofreram influência da umidade relativa do ar, aumentando o percentual de sorção de umidade com o aumento da umidade relativa do ar, e diminuindo quando esta era menor. Os biocompósitos de substrato fresco tiveram seu ponto máximo de sorção de 7,1% (82 % URar e 22 °C) enquanto os de substrato residual sorveram 6,6 % no pico máximo de sorção (79 % URar e 23,2 °C).

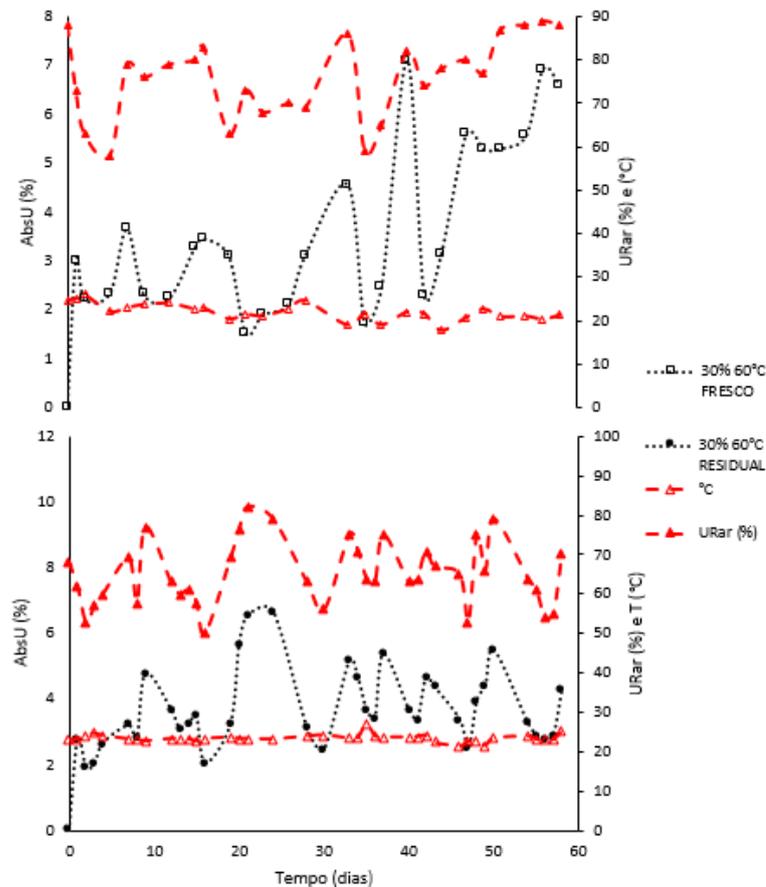


Figura 34- Influência da umidade do ar (AbsUar %) por tempo de exposição (dias) dos biocompósitos de substrato fresco e residual produzidos com 30% de inóculo e secos a 60 °C. As linhas segmentadas com símbolo (▲) e (△) referem-se à medida da umidade relativa do ar e a temperatura ambiente, respectivamente, no momento da pesagem.

A sorção de umidade do ar é uma propriedade importante que determina a qualidade e a durabilidade do produto final (GIROMETTA *et al.*, 2019). A intenção desta análise foi simular a exposição do produto às condições ambientais. ROCHA (2018) fez esta mesma análise durante 30 dias para os biocompósitos produzidos com erva mate e guaraná e estes absorveram em torno de 12 % de umidade. No entanto, em algumas literaturas os testes relacionados à influência da umidade do ar foram realizados em ambientes com temperatura e umidade relativa do ar controlados.

Por exemplo, Appels *et al.* (2019) analisaram o comportamento dos biocompósitos feitos de serragem de faia, palha de colza e fibras de algodão com *Trametes ochracea* e *Pleurotus ostreatus* quando expostos a um ambiente com umidade relativa de 60 e 80% a 40°C. Os biocompósitos absorveram entre 3,15 e 8,22% e 7,57 e 11,63% quando expostos a umidade relativa de 60 e 80%, respectivamente. Constatou-se que a sorção da umidade depende principalmente do

substrato utilizado, mas também da espécie de fungo, pois alguns fungos possuem natureza hidrofóbica devido a algumas proteínas encontradas no micélio como hidrofobinas (ZIEGLER *et al.*, 2016).

No gráfico da Figura 35 pode-se observar os resultados de tensão de compressão para os biocompósitos produzidos em substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C antes e após a exposição à umidade do ar.

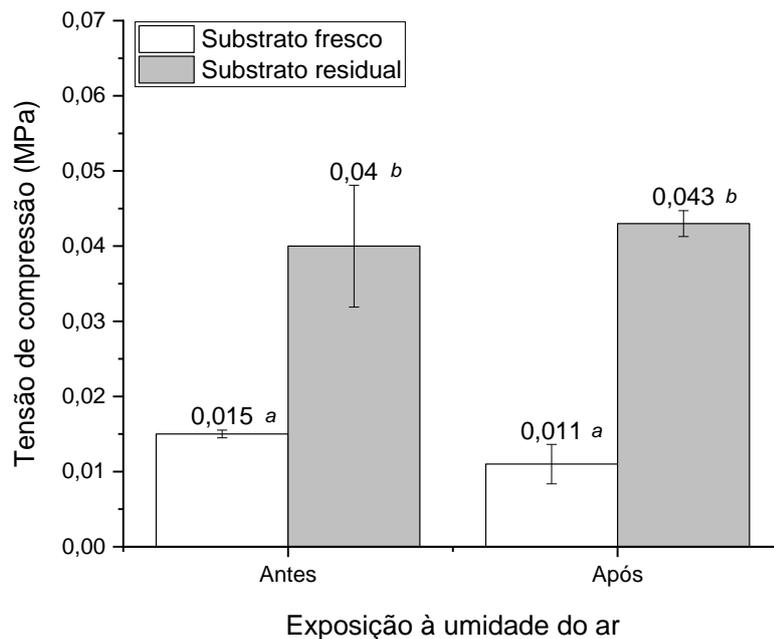


Figura 35 - Tensão de compressão  $\pm$  dp para os biocompósitos de substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C antes e após a exposição à umidade do ar. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

O biocompósito produzido com substrato residual, foi o que apresentou a melhor resistência a compressão, aproximadamente 0,04 MPa, 2,7 vezes mais resistente que o biocompósito com substrato fresco que apresentou tensão de compressão de 0,015 MPa. Esse resultado pode ser explicado pelo tamanho das partículas dos materiais, o substrato fresco apresentou maior heterogeneidade devido ao maior tamanho das partículas da folha da bananeira, o que dificultou a adesão do material que apresentou muitos espaços vazios, diminuindo também a densidade (Figura 36). Entretanto, o substrato residual apresentou maior homogeneidade quanto ao tamanho das partículas, pois este já havia sofrido degradação prévia, o que pode ter promovido uma maior densidade (242 kg/m<sup>3</sup>).

Observa-se ainda, na Figura 35, que após a exposição dos biocompósitos à umidade do ar, os valores de tensão de compressão não variaram significativamente, mostrando que durante 60 dias, o material conservou sua propriedade no quesito resistência à compressão.

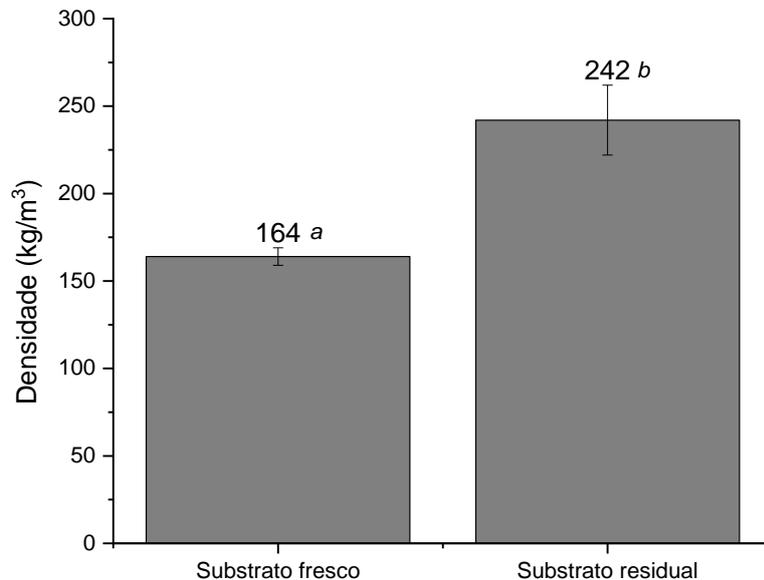


Figura 36 - Valores médios de densidade  $\pm$  dp (kg/m<sup>3</sup>) dos biocompósitos de substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a 60 °C. Letras iguais significam valores sem diferença significativa pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

Ziegler *et al.* (2016) comenta que a baixa resistência à compressão pode estar relacionada à estrutura porosa do material, ou seja lugares onde o micélio não cresceu deixando partículas soltas, afetando a resistência a compressão. Elsacker *et al.* (2019) afirma que quanto menor o tamanho da fibra maior a resistência a compressão do material. De acordo com Yang *et al.* (2017) o tempo de incubação está diretamente ligado à resistência a compressão, quanto maior o tempo de incubação maior a resistência a compressão devido ao maior crescimento e estabelecimento do micélio.

Comparando os trabalhos relatados na Tabela 6, que apresenta a tensão de compressão e densidade de diferentes biocompósitos encontrados na literatura, percebe-se que a resistência a compressão varia muito, não segue um padrão e depende da interação do reforço (resíduos agroindustriais) com a matriz (fungo utilizado).

Por exemplo, Bruscato *et al.* (2019) analisou a resistência a compressão de três diferentes biocompósitos utilizando o mesmo material como reforço (serragem e farelo de trigo) e variando o ligante (fungo), os resultados encontrados tiveram diferenças significativas. Para o fungo *Pycnoporus sanguineus* e *Lentinus velutinus* a resistência a compressão foi de 1,3 MPa, já para o fungo *Pleurotus albidus* a resistência diminuiu para 0,4 Mpa, valor consideravelmente maior do que o encontrado nesse trabalho. Rocha (2018) também obteve um valor mais elevado, para o biocompósito de erva mate e guaraná *in natura* (0,094 MPa) e para o residual foi de 0,14 MPa. Pedri (2014) encontrou um valor ainda maior de 0,23 MPa para o biocompósito de fibra de pupunha.

Tabela 6 - Comparação da resistência à compressão (MPa) e da densidade (kg/m<sup>3</sup>) para biocompósitos produzidos por diferentes materiais e espécies fúngicas. Os trabalhos marcados com (\*) não identificaram os resultados obtidos com as condições testadas, apresentando somente a variação obtida para os biocompósitos produzidos.

Material	Resistência a compressão (MPa)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Referências
1. Bagaço de malte, folhas de bananeira (fresco) e 30% de <i>Pleurotus sajor-caju</i> (secagem a 60 °C)	0,014	164	Este trabalho
2. Bagaço de malte, folhas de bananeira (residual) e 30% de <i>Pleurotus sajor-caju</i> (secagem a 60 °C)	0,04	242	Este trabalho
3. Serragem, farelo de trigo e <i>Pycnoporus sanguineus</i>	1,3	320	Bruscato <i>et al.</i> (2019)
4. Serragem, farelo de trigo e <i>Lentinus velutinus</i>	1,3	350	Bruscato <i>et al.</i> (2019)
5. Serragem, farelo de trigo e <i>P. albidus</i>	0,4	300	Bruscato <i>et al.</i> (2019)
6. Cânhamo e <i>Trametes versicolor</i>	0,51	99	Elsacker <i>et al.</i> (2019)
7. Linho e <i>Trametes versicolor</i>	0,31	135	Elsacker <i>et al.</i> (2019)
8. Serragem e <i>P. ostreatus</i>	0,14	552	Ghazvinian <i>et al.</i> (2019)
9. Palha e <i>P. ostreatus</i>	0,02	277	Ghazvinian <i>et al.</i> (2019)
10. Erva mate e guaraná ( <i>in natura</i> ) e 10% de <i>P. sajor-caju</i> (secagem a 60 °C)	0,094	-	Rocha (2018)

11. Erva mate e guaraná (residual) e 10% de <i>P. sajor-caju</i> (secagem a 60 °C)	0,14	-	Rocha (2018)
12. Lascas de madeira, serragem e <i>G. lucidum</i>	0,17	420	Heisel <i>et al.</i> (2017)
13. Resíduos de cana de açúcar, raiz de mandioca e <i>G. lucidum</i>	0,61	440	Heisel <i>et al.</i> (2017)
14. Polpa de serragem de bétula soltas e <i>Irpex lacteus</i> com duas semanas de incubação.	0,2	195	Yang <i>et al.</i> (2017)
15. Algodão e fibra de tecido e fungo não especificado	1,18	-	Ziegler <i>et al.</i> (2016)
16. Resíduos de Cânhamo e <i>Coriolus versicolor</i> *	0,024 - 0,093	170-260	Lelivelt <i>et al.</i> (2015)
17. Fibras de pupunha e <i>Lentinula edodes</i>	0,23	-	Pedri (2014)
18. Carvalho vermelho e <i>G. lucidum</i>	0,49	318	Travaglini <i>et al.</i> (2013)
19. Resíduo de algodão amido, gesso e <i>Ganoderma sp.</i> *	0,072	66,5 -224	Holt <i>et al.</i> (2012)

No entanto o valor encontrado por Ghazvinian *et al.* (2019) para o biocompósito de palha com *Pleurotus sstreatus* foi de 0,03 – 0,02 MPa, próximo do valor obtido neste trabalho. Lelivelt *et al.* (2015) produziu biocompósitos de resíduos de cânhamo com *Coriolus versicolor* e obteve 0,024 a 0,093 MPa de resistência a compressão. Holt *et al.* (2012) também obteve um valor mais baixo, 0,072 MPa para o biocompósito feito de resíduo de algodão, amido e gesso com *Ganoderma sp.*

Além dos efeitos das variações de substrato e das espécies de fungos, o biocompósito pode ser aperfeiçoado por meio de fatores endógenos e exógenos como as condições de fermentação, a tecnologia na fabricação, o pós processamento e modificações genéticas ou bioquímicas (ATTIAS *et al.*, 2019). Alguns aditivos são capazes de melhorar a resistência à compressão do material (JONES *et al.*, 2017). Um estudo utilizando *Pleurotus sp.* e cascas de sementes de algodão demonstrou que com uma pequena concentração de látex a resistência à compressão praticamente dobrou, passou de 0,177 para 0,343 MPa (HE *et al.*, 2014).

Outra alternativa é adicionar uma bioresina contendo amido, água e maltodextrina. A bioresina é compatível com o crescimento fúngico e pode atuar como uma fonte de nutriente extra para o fungo em crescimento. O amido pode ser ativado

termicamente para auxiliar numa maior coesão entre a interface fungo e resíduo, já a maltodextrina ajuda no aumento da viscosidade (JIANG *et al.*, 2013). De acordo com Tudryn *et al.* (2018) adicionar carboidratos após a etapa de homogeneização do material contribui para um melhor crescimento das hifas, tornando a rede mais contínua e, conseqüentemente, aumentando a força do material.

As propriedades mecânicas dos compósitos miceliais podem ser significativamente melhoradas adicionando uma etapa ao processo: a prensagem a frio ou a quente, pois com a pressão aplicada a porosidade do material é reduzida, a densidade do material aumenta e as fibras são reorientadas no plano do material (JONES *et al.*, 2019 ; DAI *et al.*, 2007)

A resistência à compressão é uma propriedade importante quando se trata de materiais que serão utilizados em embalagem (JONES *et al.*, 2017). Uma maior resistência à compressão sugere uma menor chance de danos ao produto quando uma grande carga é aplicada (YANG *et al.*, 2017).

No Brasil, um dos principais produtos utilizados para embalagens é o EPS, popularmente conhecido como Isopor<sup>®</sup>, marca registrada da empresa Knauf. É um plástico resultante da polimerização do estireno em água. O produto final são pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, que se destinam à expansão por meio de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas (EPSBRASIL, 2019).

Apesar da resistência a compressão encontrada no presente trabalho ser menor do que os valores encontrados na literatura não descarta-se a possibilidade de utilizar este biocompósito para embalagens pois os biocompósitos produzidos no presente trabalho apresentaram uma resistência à compressão (~0,04 MPa) similar à resistência à compressão do poliestireno expandido (EPS) de densidade 10 kg/m<sup>3</sup> (0,035 MPa) (ABNT, 2016b). Ainda assim é necessária uma melhora no processo de homogeneização do material e até mesmo um maior tempo de incubação do biocompósito.

Outra propriedade desejada para materiais utilizados em embalagens é uma baixa densidade. Para o biocompósito de substrato fresco a densidade encontrada foi de 164 kg/m<sup>3</sup>, já para o de substrato residual a densidade foi de 242 kg/m<sup>3</sup>, 47% maior do que a densidade do biocompósito de substrato fresco (Figura 36). Esse valor corresponde aos valores encontrados na literatura para biocompósitos fabricados com resíduos agroindustriais (Tabela 6). Lelivelt *et al.* (2015) obtiveram densidade de 170

a  $260 \text{ kg/m}^3$  para diferentes biocompósitos feitos de resíduos de cânhamo com *Coriolus versicolor*. Já, Ghazvinian *et al.* (2019) analisaram a densidade de um biocompósito feito de serragem e *Pleurotus ostreatus* e encontraram um valor ainda maior,  $552 \text{ kg/m}^3$ .

De acordo com Jones *et al.* (2019) a densidade dos compósitos miceliais varia muito conforme o substrato utilizado, compósitos contendo subprodutos agrícolas como fibras e palhas têm uma densidade mais baixa ( $60 - 130 \text{ kg/m}^3$ ) que compósitos contendo subprodutos florestais como serragem ( $87 - 300 \text{ kg/m}^3$ ). Já, Girometta *et al.* (2019), na sua revisão bibliográfica, descreveu que a densidade do micélio sozinho varia de  $30$  a  $50 \text{ kg/m}^3$ , enquanto a densidade das fibras naturais é de  $1200$  a  $1500 \text{ kg/m}^3$ , e a densidade da madeira varia de  $300$  a  $880 \text{ kg/m}^3$ . Isso significa que a adição de micélio a estes materiais diminui a densidade do compósito.

Ainda que a densidade dos compósitos miceliais seja alta em relação ao EPS ( $10 \text{ kg/m}^3$ ) eles são mais leves que outros compósitos feitos de madeira como o MDF, placa de fibra de média densidade, ( $500 - 1000 \text{ kg/m}^3$ ) e o OSB, chapa de tiras de madeira orientadas, ( $550 - 700 \text{ kg/m}^3$ ) (ASHBY *et al.*, 2002). E como concluído por Lopez *et al.* (2016) são leves o suficiente para serem utilizados em embalagens alimentares e de eletrodomésticos.

Em relação à análise de biodegradabilidade, esta foi somente visual, não sendo possível quantificar gravimetricamente. Os biocompósitos produzidos em substrato fresco e residual com 30% de inóculo e secos a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  foram desenterrados após 15, 30, 60 e 120 dias de ensaio ( Figura 37). Verifica-se que o biocompósito de substrato fresco desintegrou-se com maior facilidade do que o biocompósito de substrato residual, apresentando maior desintegração a partir de 60 dias de exposição. Dessa maneira constata-se que quanto mais compactado e maior a densidade micelial maior o tempo para desintegração.



Figura 37 - Biodegradabilidade dos biocompósitos de substrato fresco e residual com 30 % de inóculo e secos a 60 °C após 15, 30, 60 e 120 dias.

Não foi possível identificar a desintegração completa do material em ambos os substratos mesmo após 120 dias de exposição. De acordo com Oliveira (1983), frequentemente se observa substâncias ou materiais que em laboratório apresentam uma biodegradabilidade fraca, e quando expostas às mesmas condições, mas em escala real, se biodegradam totalmente em períodos curtos. Apesar de não ter sido observada completa desintegração do material é possível afirmar que este material se degrada facilmente quando comparado a outros materiais utilizados em embalagens como o EPS que apesar de ser 100% reciclável não é facilmente degradado e pode persistir por mais de 200 anos na natureza (SOUZA & ASSIS, 2014).

Ao comparar os resultados encontrados para os dois substratos têm-se que um menor tempo de processo foi alcançado para a produção dos biocompósitos em substrato fresco, no entanto o substrato residual promoveu uma maior densidade micelial, resultando em uma maior resistência à compressão (0,04 MPa) e maior densidade aparente (242 kg/m<sup>3</sup>). As outras propriedades não tiveram diferenças significativas entre os substratos.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou a possibilidade de produzir biocompósitos miceliais a partir do bagaço de malte e folhas de bananeira, agregando valor aos resíduos e contribuindo com a minimização de impactos ambientais caso fossem descartados.

O fungo *Pleurotus sajor caju* foi capaz de crescer e promover a ligação das partículas dos resíduos tanto no substrato fresco (ainda não utilizado no cultivo de cogumelos) quanto no substrato residual (substrato já cultivado, obtido após colheita de cogumelos).

Dentre as diferentes condições de inóculo avaliadas ( 20% e 30% ) e temperaturas de desidratação do produto (40 °C e 60 °C), as condições de 30% de inóculo e secagem a 60 °C proporcionaram maiores velocidades de crescimento micelial e de secagem, respectivamente, em ambos os substratos avaliados..

Essa condição apresentou um tempo global de processo de 18 e 23 dias, velocidade de secagem de 17,52 e 17,66 g/dia, os respectivos produtos obtidos apresentaram sorção de água (após 24 horas de imersão) de 157,76 e 177,32%, sorção da umidade do ar de 7,1 e 6,6%, resistência a compressão de 0,0145 e 0,04 MPa e densidade aparente de 164 e 242 kg/m<sup>3</sup> para os biocompósitos produzidos com substrato fresco e residual, respectivamente.

Por meio da análise visual de biodegradabilidade foi possível concluir que quanto mais compactado e maior a densidade micelial resultante maior o tempo para início da desintegração. Não foi possível identificar a desintegração completa do material em ambos os substratos mesmo após 120 dias de teste em solo.

Ao comparar os resultados obtidos para os biocompósitos produzidos nos substratos fresco e residual (30% e 60 °C), têm-se que um menor tempo de processo foi alcançado para a produção dos biocompósitos em substrato fresco, no entanto o substrato residual promoveu uma maior densidade micelial, resultando em uma maior resistência à compressão e maior densidade aparente. O substrato residual ainda tem uma vantagem sobre o substrato fresco, este é obtido após o cultivo de cogumelos de *P. sajor caju* que possuem alto valor comercial, dessa maneira agrega ainda mais valor ao resíduo das indústrias cervejeiras e da bananicultura.

A resistência a compressão obtida foi pequena quando comparada com outros biocompósitos relatado na literatura, contudo, por estar próxima do valor da

resistência a compressão do EPS utilizado para embalagens, o produto pode ser considerado como aplicável para este fim. Para tanto, ainda é necessária uma melhoria no processo de moagem para obter uma maior homogeneidade das partículas e também uma adequação do tempo de incubação. É necessário avaliar a necessidade de adicionar uma etapa ao processo realizando a prensagem a frio ou a quente, ou até mesmo adição de aditivos como o látex ou uma bioresina para melhorar as propriedades do material.

Deve-se ainda caracterizar este material em relação a resistência ao impacto, resistência à tração e flexão, condutividade térmica, absorção acústica e resistência à chama para dessa maneira identificar a melhor aplicação para estes biocompósitos. Para trabalhos futuros sugere-se também a determinação do tempo de prateleira do produto até contaminação microbiana. Ainda, a avaliação do potencial antimicrobiano de *Pleurotus sajor-caju*, para a produção de embalagens ativas e inteligentes, pode ser verificada.

## REFERÊNCIAS

ABIA. **Relatório anual 2017.** Disponível em: <<https://www.abia.org.br/vsn/temp/z201843relatorioABIA2017.pdf>> Acesso em 03 mai. 2019.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8082: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica – **Determinação da resistência a compressão**. Rio de Janeiro, 2016.

AGUSTINA, W.; ADITIAWATI, P.; KUSUMAH, S.S.; DUNGANI, R. Physical and mechanical properties of composite boards from the mixture of palm sugar fiber and cassava bagasse using mycelium of *Ganoderma lucidum* as a biological adhesive, **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science** , 374., 2019.

ALMEIDA, A.R.; GERALDO, M.R.F.; RIBEIRO, L.F.; SILVA, M.V.; MACIEL, M.V.O.B.; HAMINIUK, C.W.I. Bioactive compounds from brewer's spent grain: phenolic compounds, fatty acids and in vitro antioxidant capacity. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 39, n. 3, p. 269–277, 2017.

APPELS, F.V.W.; CAMERE, S.; MONTALTI, M.; KARANA, E.; JANSEN, K.M.B.; DIJKSTERHUIS, J.; KRIJGSHELD, P.; AND WOSTEN, H.A.B. Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites, **Materials and Design**, v. 161, p. 64-71, 2019.

ARCARO, S.; MAIA, B.G.D.O.; SOUZA, M.T.; CESCONEITO, F.R.; GRANADOS, L.; OLIVEIRA, A.P.N.D. Thermal Insulating Foams Produced from glass Waste and Banana Leaves. **Materials Research**, v. 19, n. 5, p. 1064-1069, 2016.

ARIFIN, Y. H.; YUSUF, Y. Mycelium Fibers as New Resource For Environmental Sustainability. **Procedia Engineering**, v. 53, p. 504 – 508, 2013

ASHBY, M.F.; JOHNSON, K. ,**Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design**, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **D570-95: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. New York, 1998.

ASTM **G160 – 98 Standard Practice for Evaluation Microbial Susceptibility of Nonmetallic Materials by Laboratory Soil Burial**, 1998.

ATHAYDE, C.S. **Análise dos resíduos gerados pela bananicultura como possível fonte de geração de energia**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 166p., 2014

ATTIAS, N.; DANAI, O.; TARAZI, E.; GROBMAN, Y. J. Developing novel applications of mycelium based bio-composite materials for architecture and design. **Building with**

**bio-based materials: Best practice and performance specification.** September 6th-7th. Zagreb, Croatia. 2017.

ATTIAS, N.; DANAI, O.; ABITBOL, T.; TARAZI, E.; EZOV, N.; PEREMAN, I.; GROBMAN, Y.J. Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. **Journal of Cleaner Production**. 2019

BACK, P. **Marcas de cervejas artesanais produzem juntas mais de 1 milhão de litros por mês em SC, 2017.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/sc-que-da-certo/noticia/marcas-de-cervejas-artesanais-produzem-juntas-mais-de-um-milhao-de-litros-por-mes-em-sc.ghtml>>. Acesso em: Ago.2018

BAJWA, D. S.; HOLT, G. A.; BAJWA, S. G.; DUKE, S. E.; MCINTERE, G. Enhancement of termite (*Reticulitermes flavipes L.*) resistance in mycelium reinforced biofiber-composites. **Industrial Crops & Products**, 2017.

BANO, Z. A.; RAJARATHNAM, S. *Pleurotus* mushrooms. Part II. Chemical composition, preservation, ad role and human food. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 27, n. 2, p. 87-158, 1988.

BARNEY, D.L. **Growing Mushrooms Commercially** – Risks and Opportunities. University of Idaho, 1997.

BISARIA, R.; MADAN, M.; BISARIA, V.S. Biological efficiency and nutritive value of *Pleurotus sajor-caju* cultivated on different agro-wastes. **Biological Wastes**, v. 19, n.4, p.239-255, 1987

BAYER, E., MCLNTYRE, G., SWERSEY, B.L. Method for producing grown materials and products made thereby. WO 2008/073489 A2, 2008.

BLOCK, P. **MycoTree.** Disponível em: <<https://www.block.arch.ethz.ch/brg/project/mycotree-seoul-architecture-biennale-2017>> Acesso em: 04, mai. 2019.

BONATO, S.V. **Método para gestão de resíduos na cadeia cervejeira do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 66, 2016.

BONATTI, M., KARNOPP, P., SOARES, H.M., FURLAN, S.A. Estudo da composição de cogumelos das espécies *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* cultivados em palha de bananeira. **Saúde e ambiente**, v. 4, n.1 p. 31-35, 2003.

BONATTI, M., KARNOPP, P., SOARES, H.M., FURLAN, S.A. Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteridtics when cultivated in different lignocellulosic wastes. **Food Chemistry**, v. 88, p. 425-428, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2010

BRUSCATO, C.; MALVESSI, E.; BRANDALISE, R.N.; CAMASSOLA, M. High performance of macrofungi in the production of mycelium-based biofoams using sawdust d Sustainable technology for waste reduction. **Journal of cleaner production**, v. 234, p. 225-232, 2019

BRUST, L.A.C., ARAGÃO, A.P., BEZERRA JR, P.S., GALVÃO, A., FRANÇA, T.N., GRAÇA, F.A.S., PEIXOTO, P.V. Enfermidades em bovinos associados ao consumo de resíduos de cervejaria. **Pesquisa Veterinária Brasil**, v. 35, n.12, p. 956-964, dez, 2015.

CARVALHO, C.S.M.; AGUIAR L.V.B.; CAMPOS, C.S.; MINHONI, M.T.A.; ANDRADE, M.C.N. Cultivo *in vitro* de *Pleurotus ostreatus* em resíduos de bananeira. **Ambiência - Revista do setor de ciências Agrárias e Ambientais**, v. 9, n.3, 2013

CASTRO, D. O.; FROLLINI, E.; MARINI, J.; RUVOLO-FILHO, A. Preparação e caracterização de biocompósitos baseados em fibra de curauá, biopolietileno de alta densidade (BPEAD) e polibutadieno líquido hidroxilado (PBHL). **Polímeros**, v. 23, n. 1, p. 65-73, 2013

CERVBRASIL. Associação Brasileira da indústria da cerveja. **Anuário 2016**. Disponível em: <<http://www.cervbrasil.org.br>>. Acesso em jun. 2018

CHA, J.S. Pest and Disease Management. **Mushroom grower's handbook** – Oyster mushroom cultivation, (Mushroom Ed.), Seoul, Mushroom-Heineart Inc, pp. 172-186, 2004.

CHANG, S.T.; MILES, P.G. **Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect and environmental impact**. New York: CRC Press, 451p., 2004.

CORDEIRO, L.G., EL-AOUAR, A.A., GUSMÃO, R.P. Caracterização do Bagaço de Malte oriundo de cervejarias. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento sustentável**, v. 7, n.3, p. 20-22, jul-set, 2012.

DAHMEN, J.; Soft Futures : Mushrooms and Regenerative Design Mushrooms and Regenerative Design. **Journal of Architectural Education**, v. 4883, n. March, 2017.

DAI, C.; YU, C.; ZHOU, X. Heat and mass transfer in wood composite panels during hot pressing. Part II. Modeling void formation and mat permeability, **Wood and Fiber Science**, v.37, n.2, p. 242-257, 2007.

DANTAS, C.M. **Influência da quantidade de absorção de água nas propriedades mecânicas de compósitos poliméricos de manta de fibra de vidro, híbrido e tecido juta**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia mecânica, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 96 p., 2011.

DEACON, J.W.; **Fungal Biology**. Blackwell-Wiley, ed 4.; p. 384, Oxford, UK, 2006.

DE KEUKELEIRE, D.; **Fundamentals of Beer and Hop Chemistry**. Química Nova, v. 23, 1999.

DEZEEN. **Mycelium Design**. Disponível em: <<https://www.dezeen.com/tag/mycelium-design/>> Acesso em 04 de mai. 2019

DIAS, E. S.; KOSHIKUMO, E.M.S.; SCHWAN, R.F.; SILVA, R. Cultivo do cogumelo *Pleurotus sajor-caju* em diferentes resíduos agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 6, p. 1363–1369, 2003.

DUPRAT, M.F.L.B. **Estudo da produção de *Pleurotus ostreatus* em resíduos de *Bactris gasipaes* (pupunheira)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Processos- Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), Joinville. 2012.

ECOVATIVE DESIGN. **Mushroom Materials**. Disponível em <http://www.ecovatedesign.com/>. Acesso em Ago. 2018.

ECOVATIVE. **Ecovative Mycelium Material - Instruction Manual**. Disponível em: <<https://s3-us-west-2.amazonaws.com/ecovative-website-production/documents/Grow-It-Yourself-Instruction-Manual-v1.0.pdf>> Acesso em 04, mai. 2019a.

ECOVATIVE. **MycoFlex**. Disponível em: <<https://ecovatedesign.com/mycoflex>> Acesso em 04, mai. 2019b.

ELSACKER, E.; VANDELOOK, S.; BRANCART, J.; PEETERS, E.; DE LAET, L. Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. **PLoS ONE**, v. 14, n. 7, 2019.

EMBRAPA. **Visão 2030. O futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030++o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829>>. Acesso em 03 mai. 2018.

EPAGRI. **Balanco Social 2018** – Epagri, 2018. Disponível em: <[http://docweb.epagri.sc.gov.br/pub/DOC\\_42519.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/pub/DOC_42519.pdf)>. Acesso em Jul. 2020.

EPAGRI. **Sintese anual da agricultura de Santa Catarina 2016-2017**. Disponível em: < [http://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/Sintese-Anual-da-Agricultura-SC\\_2016\\_17.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese-Anual-da-Agricultura-SC_2016_17.pdf) >. Acesso em Ago. 2018.

EPSBRASIL. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>. Acesso em dez.2019.

ESPINOSA, E.; TARRÉS, Q.; DOMÍNGUEZ-ROBLES, J.; DELGADO-AGUILAR, M.; MUTJÉ, P.; RODRÍGUEZ, A. Recycled fibers for fluting production: The role of

lignocellulosic micro/nanofibers of banana leaves, **Journal of Cleaner Production**, 2017.

FERNANDES, E.R.K.; MARANGONI, C.; SOUZA, O.; SELLIN, N.; Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. **Energy Conversion and Management**, v.75, p. 603-608, 2013

FERREIRA, S.; MONTEIRO, E.; BRITO, P.; CASTRO, C.; CALADO, L.; VILARINHO, C.; Experimental Analysis of Brewers' Spent Grains Steam Gasification in an Allothermal Batch Reactor. **Energies**, v. 12, n. 5, p. 912, 2019.

FAO. Food and agriculture organization of the united nations. FAO, 2017. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 04 jul. 2020.

FONDAZIONE PLART. **The future of plastic**. Disponível em <[http://www.fondazioneplart.it/en-us/mostre/the\\_future\\_of\\_plastic.aspx](http://www.fondazioneplart.it/en-us/mostre/the_future_of_plastic.aspx)> Acesso em Ago.2018.

FONTANA, K. B.; LENZI, G.G.; WATANABE, E.R.L.R.; LENZI, E.K.; PIETROBELLI, J.A.M.T.; CHAVES, E.S. Biosorption and Diffusion Modeling of Pb ( II ) by Malt Bagasse. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2016,p. 11, 2016.

FREITAS, C.E.S.; DUARTE, E.R.; ALVES, D.D.; MARTINELE, I.; D'AGOSTO, M.; CEDROLA, F.; FREITAS, A.A.D.M.; SOARES, F.D.D.S.; BELTRAN, M. Sheep fed with banana leaf hay reduce ruminal protozoa population. **Trop anim Health prod**. 2017.

FURLAN, S.A., VIRMOND, L.J., MIERS, D. A., BONATTI, M., GERN, R.M.M., JONAS, R. Mushrooms strains able to grow at high temperatures and low pH values. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 13, n.6, p. 689-692, 1997.

FURLAN, S.A.; GERN, R.M.M.; WISBECK, E.; BONATTI, M.; SILVEIRA, M.L.L.; SILVA, H.H. Possibilities of *Pleurotus* applications in food, health and environmental technologies. In: KOUTINAS, A.; PANDEY, A.; LARROCHE, C. Ed. **Current Topics on Bioprocesses in Food Industry**. Asiatech Publishers, INC. Vol II, cap. 16, p. 197-203, 2008.

GERASSEV, L.C.; MOREIRA,S.D.J.M.; ALVES, D.D.; AGUIAR, A.C.R.; MONÇÃO, F.P.; DOS SANTOS, A.C.R.; SANTANA, C.J.L.; VIEGAS, C.R. Viabilidade Econômica da utilização dos resíduos da bananicultura na alimentação de cordeiros confinados. **Revista brasileira saúde e produção animal**, v. 14, n.4, p.734-744, 2013.

GERN, R.M.M., LIBARDI JUNIOR, N., PATRICIO, G.N., WISBECK, E., BONATTI, M., FURLAN, S.A. Cultivation of *Agaricus blazei* on *Pleurotus* spp. spent substrate. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, p. 939-944, 2010.

GERON, L.J.V., ZEOULA, M.L., ERKEL, A.J., PRADO, I.N., BUBLITZ, E., PRADO, O.P.P., Consumo, digestibilidade dos nutrientes, produção e composição do leite de vacas alimentadas com resíduo de cervejaria fermentado. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n.1, p. 69-76, 2010.

GHAZVINIAN, A.; FARROKHSIAR, P.; VIEIRA, F.; PECCHIA, J.; GURSOY, B.; Mycelium -Based Bio-Composites for Architecture: Assessing the effects of cultivation factors on Compressive Strength. **Material Studies and Innovation**, v.2, 2019.

GHOSH, T. **Developing a compopsite mycelium glass brick unit**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, na Universidade de Oklahoma. 95p., 2018.

GIACOBBE, S.; PISCITELLI, A.; RAGANATI, F.; LETTERA, V.; SANNIA, G.; MARZOCHELLA, A.; PEZZELLA, C. Biotechnology for Biofuels Butanol production from laccase - pretreated brewer ' s spent grain. **International Journal of Chemical Engineering**, p. 1–9, 2019.

GIROMETTA, C.; PICCO, A.M.; BAIGUERA, R.M.; DONDI, D.; BABBINI, S.; CARTABIA, M.; PELLEGRINI, M.; SAVINO, E. Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. **Sustainability**, v. 11, 2019

GRYPHON. **Supernatural Entry Doors**. Disponível em: < <https://gryphon.newframeworks.com/>>. Acesso em 04, mai. 2019.

HAJAR, U.; WARDOYO, A.Y.P.; MASRUOH. Developing and characterization of an ultrafine filter made of banana leaf and water hyacinth to reduce motorcycle emission. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, n.2, p.- 1959- 1965, 2019.

HANEEF, M.; CESERACCIU, L.; CANALE, C.; BAYER, I.S.; GUERRERO, J.A.H.; ATHANASSIOU, A. Advanced materials from fungal mycelium: fabrication and tuning of physical properties. **Scientific Reports**, 7, 1-11, 2017.

HASSONA, H. Z. High fibre bread containing brewer's spent grains and its effect on lipid metabolism in rats. **Food / Nahrung**, v. 37, n. 6, p. 576–582, 1993.

HE, J.; CHENG, C. M.;SU, D. G.; ZHONG, M. F. Study on the Mechanical Properties of the Latex-Mycelium Composite. **Applied Mechanics and Materials**, v. 507, p. 415–420, 2014.

HEISEL, F. *et al.* Design , Cultivation and Application of Load-Bearing Mycelium Components: The MycoTree at the 2017 Seoul Biennale of Architecture and Urbanism. **Sustainable Construction** . v. 6, n. 1, p. 296–303, 2017.

HOLT, G.A.; MCINTYRE, G.; FLAGG, D.; BAYER, E.; WANJURA, J.D.; PELLETIER, M.G. Fungal mycelium and cotton plant materials in the manufacture of biodegradable molded packing material: Evaluation Study of Select Blends of Cotton Byproducts. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, 6(4), p. 431–439, 2012.

HUIGE, N. J. **Brewery by-products and effluents, Handbook of brewing** , p. 656 - 713. Boca Raton: CRC Press, 2006

IVANO, L. R. P. F. M. **Bandejas biodegradáveis à base de amido de mandioca e resíduo fibroso da indústria cervejeira**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, na Universidade Estadual de Londrina (UEL), 122p., 2013.

JAMESON, C.; THOMAS, T.; WILLIAMS, R. Mycelium Material Study. p. 1–38, 2014.

JANOTTI, P. **Sustentabilidade: Mr. Tugas faz parceria para reaproveitar bagaço** Disponível em: < <https://aterradacerveja.com.br/noticias/sustentabilidade-mr-tugas-parceria-com-fazenda-para-reaproveitar-bagaco-de-malte.html>> . Acesso em: mai. 2019

JENA, S.P.; MISHRA, S.; ACHARYA, S.K.; MISHRA, S.K. An experimental approach to produce biogas from semi dried banana leaves. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 19, p. 173-178, 2017

JIANG, L.; WALCZYK, D.; MCINTYRE, G. Vacuum infusion of mycelium-bound biocomposite preforms with natural resins. **CAMX - The Composites and Advanced Materials Expo Conference Proceedings**. Orlando, FL, October 13-16, 2014.

JIANG, L.; WALCZYK, D.; MCINTYRE, G.; BUCINELL, R. A new approach to manufacturing biocomposite sandwich structures: mycelium-based cores. **Proceedings of the ASME 2016 International Manufacturing Science and Engineering Conference. MSEC2016**. USA, 2016a.

JIANG, L.; WALCZYK, D.; MCINTYRE, G.; BUCINELL, R.; TUDRYN, G. Manufacturing of biocomposite sandwich structures using mycelium-bound cores and preforms. **Journal of Manufacturing Processes**. v. 28, p. 50-59, 2017.

JIANG, L.; WALCZYK, D.; MCINTYRE, G.; CHAN, W.K. Cost modeling and optimization of a manufacturing system for mycelium-based biocomposite parts. **Journal of Manufacturing Systems**, 2016b.

JIANG, L.; WALCZYK, D.; MOONEY, L.; PUTNEY, S. **Manufacturing of mycelium-based biocomposites**. Conference Paper, 2013.

JOHANSSON, C.; BRAS, J.; MONDRAGON, I.; NECHITA, P.; PLACKETT, D.; SIMON, P.; SVETEC, D. G.; VIRTANEN, S.; BASCHETTI, M. G.; BREEN, C.; CLEGG, F.; AUCEJO, S. Renewable fibers and bio-based materials for packing applications – A review of recente developments. **BioResources**, v. 7, n. 2, p. 2506-2552, 2012.

JONES, M.; HUYNH, T.; DEKIWADIA, C.; DAVER, F.; JOHN, S. Mycelium composites: A review of engineering characteristics and growth kinetics. **Journal of Bionanoscience**, v. 11, n. 4, p. 241–257, 2017.

JONES, M.; MAUTNER, A.; LUENCO, S.; BISMARCK, A.; JOHN, S. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. **Materials & Design**, 2019.

KANG, W.S. Descriptions of commercially important Pleurotus species, In: **Mushroom grower's handbook – Oyster mushroom cultivation**, (Mushroom Ed.), Seoul, Mushroom-Heineart Inc, p. 54-61, 2004.

KANNING, R.C. **Utilização da cinza de folha de bananeira como adição em argamassas de cimento portland.** Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, na Universidade Federal do Paraná, 192 p. 2013.

KEZERLE, A.; VELIC, N.; HASENAY, D.; KOVACEVIC, D. Lignocellulosic Materials as Dye Adsorbents: Adsorption of Methylene Blue and Congo Red on Brewers' Spent Grain. **Croatia Chemica Acta**, v. 91, n. 1, p. 53–64, 2018.

KHAN, S.U.H.; KHAN, S.M.; MARIAM, A.; MAJEED, A.; MOHAMMAD, J.; KUMAR, R.; TRIVEDI, R.N. Green synthesis of colloidal silver using banana (*Musa balbisiana*) leaf extract. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 1, p.622-625, 2019.

KLAGENBOECH, R.; THOMAZINI, M.H.; SILVA, G.M.C. Resíduo Úmido de Cervejaria: Uma Alternativa na Alimentação Animal. *In*: Anais do III ENDICT - Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR. 2011

KLARENBECK, E. **Designers of the Unusual.** Disponível em <http://www.ericklarenbeek.com/>. Acesso em Ago.2018

KLYOSOV, A. A.; KLESOV, A. A. **Wood-plastic composites.** Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 2007.

LEÃO, A.L., CHERIAN, B.M., SOUZA, S.F., THOMAS, S. Produção de materiais alternativos a partir de resíduos agroindustriais, se apresenta como alternativa viável para a redução de custos na disposição dos rejeitos. **Revista Citricultura Atual**, n.80,fev, 2011.

LELIVELT, R. J. J.; LINDNER, G.; TEUFFEL, P. M.; LAMERS, H. M. The production process and compressive strength of mycelium-based materials. **First International Conference on Bio-based Building Materials.** Clermont-Ferrand, France (p. 1-6), 2015.

LIGUORI, R.; SOCCOL, C.R.; VANDENBERGHE, L.P.S.; WOICIECHOWSKI, A.L.; FARACO, V. Second Generation Ethanol Production from Brewers' Spent Grain. **Energies**, v. 8, p. 2575–2586, 2015a.

LIGUORI, R.; SOCCOL, C.R.; VANDENBERGHE, L.P.S.; WOICIECHOWSKI, A.L.; IONATA, E.; MARCOLONGO, L.; FARACO, V. Selection of the Strain *Lactobacillus acidophilus* ATCC 43121 and Its Application to Brewers' Spent Grain Conversion into Lactic Acid. **BioMed Research International**, v. 2015, 9 p., 2015b.

LIMA, M. B.; VILARINHOS, A. D. Importância econômica e social. **Agência de Informações Embrapa**, Brasília. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01\\_28\\_41020068055.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01_28_41020068055.html). Acesso em: 04 jul, 2020.

LIU, R.; LONG, L.; SHENG, Y.; XU, J.; QIU, H.; LI, X.; WU, H. Preparation of a kind of novel sustainable mycelium/cotton stalk composites and effects of pressing temperature on the properties. **Industrial Crops and Products**, v. 141, 2019.

LOPEZ, J.A.N.; MENDEZ, G.J.; RUELAS, X.C.; NAJERA, J.A.L. Assessment of edible fungi and films bio-based material simulating expanded polystyrene. **Materials Manuf. Process**. v. 31, p.1085 -1090, 2016.

MADAN, M., VASUDEVAN, P., SHARMA, S. Cultivation of *Pleurotus sajor-caju* on different agro-wastes. **Biological Wastes**, v.22, p.241-250, 1987.

MAIA, B.G.O.; SOUZA, O.; MARANGONI, C.; HOTZA, D.; OLIVEIRA, A.P.N.; SELLIN, N. Production and characterization of fuel briquettes from banana leaves waste. **Chemical Engineering Transactions**, v. 37, p. 439-444, 2014.

MA, X.; CHANG, P. R.; YU, J.; STUMBORG, M. Properties of biodegradable citric acid-modified granular starch/thermoplastic pea starch composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 75, p. 1-8, 2009.

MAPA. (2018). **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/a-serveja-no-brasil>>. Acesso em mar. 2019

MAPA. (2019). **Ministério cria câmara setorial para a cadeia produtiva da cerveja**. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ministerio-cria-camara-setorial-para-a-cadeia-produtiva-da-serveja>>. Acesso em: jul. 2020

MCCARTHY, A. L.; O'CALLAGHAN, Y.; CONNOLLY, A.; PIGGOTT, C.O.; FITZGERALD, R.J; O'BRIEN, N.M. A study of the ability of bioactive extracts from brewers' spent grain to enhance the antioxidant and immunomodulatory potential of food formulations following in vitro digestion. **In vitro and animal studies**, v. 7486, n. 2, p. 230–235, 2015.

MEDINA, J.C. **Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**, Campinas: ITAL, 131p., 1990.

MELLO, L.R.P.F., MALI, S. Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. **Industrial Crops and Products**, v. 55, p. 187-193, 2014.

MENDONÇA, L.M. **Utilização do resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cabras anglo nubiana em final de lactação**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação e Estudos em recursos naturais, na Universidade Federal do Sergipe, p. 26, 2012.

MODA, E. M. **Produção de Pleurotus sajor-caju em bagaço de cana-de-açúcar lavado e o uso de aditivos visando sua conservação “in natura”**. Dissertação de mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, p. 84 p., 2003

MOHAMMADI, A; RAZAVI, S.H.; MOUSAVI, S. M.; REZAEI, K. A comparison between sugar consumption and ethanol production in wort by immobilized *Saccharomyces Cerevisiae*, *Saccharomyces Ludwigii* and *Saccharomyces Rouxii* on Brewer's Spent Grain. **Brazilian Journal of Microbiology**, vol.42, n.2, p.605-615, 2011.

MORADO,R. **Larousse da cerveja**. 1º.ed. Editora Lafonte, 2009.

MUKASAFARI, M. A.; AMBULA, M.K; KAREGE, C.; KING'ORI, A.M. Effects of substituting sow and weaner meal with brewers' spent grains on the performance of growing pigs in Rwanda. **Tropical Animal Health and Production**, v. 50, n. 2, p. 393–398, 2018.

MUSHROOM PACKAGING. **Shop Ecovative**. Disponível em: <<https://mushroompackaging.com/pages/shop>> Acesso em: 04, mai. 2019.

MUSSATO, S.I; DRAGONE, G; ROBERTO, I.C; Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. **Journal of Cereal Science**, v. 43, p.1 -14, 2006.

NIGAM, P.S; PANDEY, A. **Biotechnology for agro-industrial residues utilisation. Utilisation of agro-residues**. 1 ed. Springer, 465p, 2009.

NIGAM, P.; SINGH, D. Processing of agricultural wastes in solid state fermentation for microbial protein production. **Journal of scientific & industrial research**, v. 55, p.373-380, 1996.

NIKOLOV, A.; PASHOV, D. Mycelium composites - new ecological building materials. First scientific - **applied conference with international participation "project management in construction"/pmc/ University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy**, 2014.

OLAJIRE, A. A. The brewing industry and environmental challenges. **Journal of Cleaner Production**, p. 1–21, 2012.

OLIVEIRA, J. S. **Operações e processos fundamentais em engenharia sanitária: fundamentos de depuração biológica**. 1ª Edição. Universidade Nova de Lisboa, p. 256, 1983

OLIVEIRA, L.N.; DUARTE, E.R.; NOGUEIRA, F.A.; SILVA, R.B.D.; FILHO,D.E.D.F.; GERASEEV, L.C. Efficacy of banana cropp residues on the inhibition of larval development in *Haemonchus spp*. From sheep. **Ciência Rural**, 2009.

PATEL, A.; MIKES, F.;BUHLER, S.; MATSAKAS, L. *et al*. Valorization of Brewers ' Spent Grain for the the Production of Lipids by Oleaginous Yeast. **Molecules**, v. 23 p.3052, 2018.

PATRABANSH, S.; MADAN, M.; Studies on cultivation, biological efficiency and chemical analysis of *Pleurotus sajor-caju* (FR). Singer on diferente bio-wastes. **Acta Biotechnology**. v. 17, n.2, p. 107-122, 1997.

PEDRI, Z.C. **Uso de biomassa lignocelulósica e *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler para desenvolvimento de um biocompósito.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Regional de Blumenau (FURB), Blumenau, 2014.

PELLETIER, M.G.; HOLT, G.A.; WANJURA, J.D.; BAYER, E.; MCINTYRE, G., An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates. **Industrial Crops and Products**, v. 51, p. 480-485, 2013.

PELLETIER, M.G.; HOLT, G.A.; WANJURA, J.D.; LARA, A.J.; TAPIA-CARILLO, A.; MCINTYRE, G.; BAYER, E. An evaluation study of pressure-compressed acoustic absorbers grown on agricultural by-products. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 342-347, 2017.

PIEGZA, M.; LABA, W.; KANCELISTA, A.; WITKOWSKA, D.; KAWA-RYGIELSKA, J. Evaluation of brewer ' s spent grain as a substrate for trichoderma hydrolytic enzymes production and source of majorly fermentable sugars. **Acta Sci. Pol., Biotechnologia** v. 14, n. 3, p. 17–32, 2015.

PRÁ, F.B. **Avaliação do aproveitamento de folhas ressecadas de bananeira na produção de briquetes por extrusão.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, na Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, 83 p., 2016

QUARSHIE, R; CARRUTHERS, J; Technology Overview Biocomposites. 1. ed. **Materials KTN and NetComposites Ltda**, 2014.

RAMPINELLI, J. R. **Produção de *Pleurotus djamor* e avaliação do seu potencial de crescimento.** Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 124 p, 2009.

RATTI, C. **The Circular Garden.** Disponível em:< <https://carloratti.com/project/the-circular-garden/>> Acesso em 04, mai. 2019.

RAVEN,P.H.; EVERT,R.F.; EICHHORN,S.E.; **Biologia Vegetal.** 7°.ed. Coord. Trad. J.E. Kraus. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2007.

REBELLO, F.D.F.P. Novas tecnologias aplicadas às embalagens de alimentos. **Revista Agrogeoambiental.** p. 156-164, 2009.

REINOLD, M.R. **A Cervejaria e o meio ambiente. Manual prático de cervejaria,** 1 ed. São Paulo: Aden, 217p, p. 163-197, 1997.

RIDZQO, I.F.; SUSANTO, D.; PANJAITAN, T.H.; PUTRA, N. Sustainable Material: Development Experiment of Bamboo Composite Through Biologically Binding Mechanism. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**, v. 713, 2020.

ROCHA, M.I. **Produção de biocompósitos de *pleurotus sajor-caju* utilizando resíduos de erva-mate e guaraná.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Processos, na Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, 86 p., 2018

RORABACHER, D.B. Statistical treatment for rejection of deviant values: critical values of Dixon's "Q" parameter and related subrange ratios at the 95% confidence level. **Analytical Chemistry**, v.63, n.2, p.139-146, 1991.

ROSS, P. Method for producing fungus structures. US 9,410,116 B2, 2016.

SANCHEZ, C. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. **Appl Microbiol Biotechnol**. 2010.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. Cervejas e Refrigerantes. **Uma ética para quantos?**, n. 2, p. 81–87, 2012.

SANTOS, V.M.C.S. **Contribuição ao estudo da produção de *Pleurotus spp* em resíduos lignocelulósicos**. Dissertação de mestrado, na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SCHULZ, J.G. **Estudo da produção de *Pleurotus sajor-caju* em resíduo de cervejaria (bagaço de malte)**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, na Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, 76 p., 2016

SELLIN, N.; RICARDO, D.; MARANGONI, C.; SOUZA, O. Oxidative fast pyrolysis of banana leaves in fluidized bed reactor. **Renewable Energy**, v. 96, p. 56–64, 2016.

SILVA, J.M.D. **Folha de bananeira (*Musa spp.*) como vermífugo alternativo para ovinos no Amazonas**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, na Universidade Federal do Amazonas, p. 44, 2019.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S.K.; MUNIZ, E.C.; RUBIRA, A. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v.32, n.3, p.661-671, 2009.

SILVEIRA, M.L.L. **Comparação entre o desempenho de inóculo sólido e inóculo líquido para o cultivo de *Pleurotus ostreatus* DSM 1833**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 90p. 2003.

SILVEIRA, M.L.L., WISBECK, E., NINOW, J.L., GERN, R.M.M., FURLAN, S.A. *Pleurotus* cultivation in submerged culture and nutritional value of fruit bodies cultivated in solid culture. LARROCHE, C., PANDEY, A., DUSSAP, C.G. (Org.). **Current topics on bioprocesses in food industry**. New Delhi: *Asiatech Publishers*, Inc., p. 197-203, 2006.

SJOQVIST, M.; BOLDIZAR, A.; RIGDAHL, M. Processing and water absorption behaviour of foamed potato starch. **Journal of Cellular Plastics**, p. 1-22, 2010.

SMITH, W.F., HASHEMI, JAVAD. **Fundamentos de engenharia e Ciência dos materiais.**, 5 ed. Porto Alegre: AMGH Editora , 677p, p. 452, 2012.

SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M.; LACERDA, W. S.; SILVA, S. O.; DONATO, S. L. R. Comparison of techniques used in the prediction of yield in banana plants. **Scientia Horticulturae**, v.167, p.84-90, 2014.

SOUZA, A. T., PEIXOTO, A. DA N., WACHHOLZ, D. Banana. **Estudo de economia e mercado de produtos agrícolas, 2** . Instituto de planejamento e economia agrícola de santa catarina. Florianópolis, 1995.

SOUZA, L. M.; ASSIS, C. D. Placas para alvenaria de vedação com uso de espuma de poliestireno expandido (EPS). **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**, v. 18, n. 2, p. 865- 873, 2014.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T. M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.438-443., 2010

SPINELLI, S.; CONTE, A.; NOBILE, M.; Food and Bioproducts Processing Microencapsulation of extracted bioactive compounds from brewer ' s spent grain to enrich fish-burgers. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 450–456, 2016.

STURION, G.L. **Utilização da folha de bananeira como substrato para o cultivo de cogumelos comestíveis (Pleurotus spp.)**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos, na Universidade de São Paulo, Piracicaba, 147p, 1994.

SUN, W.; TAJVVIDI, M.; HUNT, C.G.; MCINTYRE, G.; GARDNER, D.J. Fully Bio-Based hybrid composites made of wood, fungal mycelium and cellulose nanofibrils. **Scientific reports**, v. 9, 2019.

TARRÉS, Q.; ESPINOSA, E.; DOMÍNGUEZ-ROBLES, J.; RODRÍGUEZ, A.; MUTJÉ, P.; DELGADO-AGUILAR, M. The suitability of banana leaf residue as raw material for the production of high lignin content micro/nano fibers: From residue to value-added products. **Industrial Crops and Products**, v. 99, p. 27-33, 2017.

TAVARES, J.C. **Potencialidade do uso da cinza da folha de bananeira como substituição parcial do cimento Portland em concretos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 65, 2019.

THE LIVING. **Hy - Fi**. Disponível em: <<http://www.thelivingnewyork.com/>> Acesso em 04, mai. 2019

TRAVAGLINI, S.; NOBLE, J.; ROSS, P.G.; DHARAN, C.K.H. Mycology matrix composites proceedings. **American Society for Composites - Twenty-Eighth Technical Conference**, 2013.

TUDRYN, G.J.; SMITH, L.C.; FREITAG, J.; BUCINELL, R.; SCHADLER, L.S. Processing and morphology impacts on mechanical properties of fungal based biopolymer composites, **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 4, p. 1473-1483, 2018.

VENTURA, A. M. F. M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência e tecnologia dos materiais**, v. 21, p. 10–19, 2009.

XI, X.; YAN, J.; QUAN, G.; CUI, L. Removal of the Pesticide Pymetrozine from Aqueous Solution by Biochar Produced from Brewer's Spent Grain at Different Pyrolytic Temperatures. **BioResources**, v. 9, n. 4, p. 7696–7709, 2014.

WANG, X.; WU, S.; RAO, X.; CHI, J.; XU, S. The study of banana leaf fiber based biomass pellets fuel. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 192, 2018.

YANG, X.M. **Cultivation of edible mushroom in China**. Agriculture Printing House. Beijing, PR China, p. 489-510, 1986.

YANG, Z.; ZHANG, F.; STILL, B.; WHITE, M.; AMSTISLAVSKI, P. Physical and mechanical properties of fungal mycelium-based biofoam. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 7, 2017.

YUNNEN, C.; YE, W.; CHEN, L.; LIN, G.; JINXIA, N.; RUSHAN, R. Continuous fixed-bed column study and adsorption modeling: Removal of arsenate and arsenite in aqueous solution by organic modified spent grains. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 26, n. 4, p. 1847–1854, 2017.

ZANON, C.D. **Produção de nanocompósitos: obtenção de nanofibras de celulose de folhas de bananeira via oxidação catalítica**. Dissertação de mestrado da faculdade de Engenharia de Alimentos, na Universidade estadual de Campinas, 130 p., 2016

ZIEGLER, A.R.; BAJWA, S.G.; HOLT, G.A.; MCINTYRE, G.; BAJWA, D.S. Evaluation of physico-mechanical properties of mycelium reinforced green biocomposites made from cellulosic fibers. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 32 n.6, p. 931-938, 2016.

## AUTORIZAÇÃO

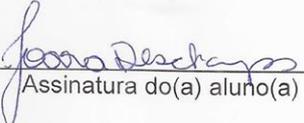
Nome do(a) autor(a): Joara Lúcia do Nascimento Deschamps

RG: 5833935

Título da Dissertação: Produção e caracterização de biocompósitos obtidos do cultivo de *Pleurotus sajor-caju* em substrato composto de bagaço de malte e folhas de bananeira.

Autorizo a Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, através da Biblioteca Universitária, disponibilizar cópias da dissertação de minha autoria.

Joinville, 04 de agosto de 2020.

  
Assinatura do(a) aluno(a)