



Marlon Oliveira Alves Foffano

CULTIVO DE FUNGOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS E SUAS TECNOLOGIAS

Rio de Janeiro
Março de 2025

Marlon Oliveira Alves Foffano

CULTIVO DE FUNGOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS E SUAS TECNOLOGIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadores: Elisa d'Avila Costa Cavalcanti
Ricardo Cunha Michel

Rio de Janeiro
Março de 2025

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço aos meus pais, por todo o apoio e amor ao longo da minha jornada acadêmica. Expresso também minha gratidão ao Laboratório de Biotecnologia Microbiana (LaBiM) pelo apoio e infraestrutura fornecidos. Em especial, agradeço a Professora Elisa d'Ávila Costa Cavalcanti e a Professora Denise M. G. Freire pelas orientações e mentorias, que foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional. Também agradeço a coorientação do Professor Ricardo Cunha Michel que contribuiu ativamente nesse trabalho. Agradeço ainda aos colegas e funcionários do LaBiM, cuja colaboração direta ou indireta foi importante para a realização deste trabalho. Por fim, agradeço aos meus colegas de curso pelo companheirismo e apoio durante esta jornada. Nossas trocas de experiências foram valiosas para meu desenvolvimento. A todos, meu sincero agradecimento.

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Química da UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Licenciado em Química

O presente trabalho aborda o cultivo de cogumelos no contexto educacional, visando suprir a carência de ferramentas práticas e acessíveis para o ensino sobre macrofungos, especialmente em ambientes urbanos com limitada exposição à natureza. Além disso, busca aprofundar o estudo dos fungos nos currículos de ensino básico e superior, considerando sua relevância ecológica, econômica, social e cultural, um tema frequentemente negligenciado e com erros conceituais em materiais didáticos. A iniciativa visa conectar alunos urbanos com a produção de alimentos, ensinando sobre ciências, agricultura urbana e novas tecnologias, e promover a conscientização sobre sustentabilidade e economia circular. Especificamente, o trabalho se concentra no desenvolvimento de um equipamento de baixo custo, uma câmara de frutificação de cogumelos, e de uma aula prática investigativa para instituições educacionais. Há uma reconhecida lacuna de ferramentas pedagógicas práticas e acessíveis para o ensino de macrofungos, particularmente em contextos urbanos, e também uma necessidade de abordar o estudo dos fungos de forma mais significativa nos currículos educacionais. O percurso metodológico envolveu a construção da câmara de frutificação, a validação de sua eficácia através do cultivo do cogumelo *Pleurotus ostreatus* (shimeji branco), e o desenvolvimento de um roteiro para o professor para a implementação da aula prática investigativa. Os resultados obtidos com a câmara de frutificação demonstraram sua eficácia no cultivo controlado de *Pleurotus ostreatus* em ambientes urbanos, mantendo temperatura estável nas temperaturas de 18 e 25 °C e umidade relativa ajustável ($90 \pm 8 \%$), permitindo a colheita de basidiocarpos saudáveis em ciclos de até 7 dias com uma produção máxima total de 230 ± 2 g de cogumelos. O trabalho destaca o potencial do equipamento didático desenvolvido e das aulas práticas investigativas para visibilizar a importância da sustentabilidade na produção de alimentos e a versatilidade dos fungos na alimentação e na economia circular. A aula prática investigativa que utiliza a câmara de frutificação busca promover o aprendizado ativo, desenvolver habilidades práticas, incentivar a inovação, a sustentabilidade e o pensamento crítico, além de conectar alunos urbanos com a produção de alimentos sustentáveis. O trabalho reconhece os desafios na implementação em ambientes escolares, como a necessidade de treinamento de professores e disponibilidade de recursos, mas enfatiza a colaboração como forma de superar esses obstáculos.

Palavras-chave: Cultivo de Cogumelos, Ensino de Ciências, Aprendizagem Ativa, Sustentabilidade, Economia Circular.

Abstract of Undergraduate Thesis presented to Institute of Chemistry/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor in Química

This work addresses mushroom cultivation in an educational context, aiming to address the lack of practical and accessible tools for teaching about macrofungi, especially in urban environments with limited exposure to nature. Furthermore, it seeks to deepen the study of fungi in primary and higher education curricula, considering their ecological, economic, social, and cultural relevance – a topic often neglected and presented with conceptual errors in educational materials. The initiative aims to connect urban students with food production, teaching about science, urban agriculture, and new technologies, and promoting awareness of sustainability and the circular economy. Specifically, this work focuses on the development of a low-cost piece of equipment, a mushroom fruiting chamber, and an investigative practical lesson for educational institutions. There is a recognized gap in practical and accessible pedagogical tools for teaching about macrofungi, particularly in urban contexts, and also a need to address the study of fungi more meaningfully in educational curricula. The methodological approach involved the construction of the fruiting chamber, the validation of its effectiveness through the cultivation of *Pleurotus ostreatus* (white oyster mushroom), and the development of a teacher's guide for the implementation of the investigative practical lesson. The results obtained with the fruiting chamber demonstrated its effectiveness in the controlled cultivation of *Pleurotus ostreatus* in urban environments, maintaining a stable temperature between 18 and 25 °C and adjustable relative humidity ($90 \pm 8 \%$), allowing for the harvest of healthy basidiocarps in cycles of up to 7 days with a maximum total yield of 230 ± 2 g of mushrooms. The work highlights the potential of the developed educational equipment and investigative practical lessons to showcase the importance of sustainability in food production and the versatility of fungi in food and the circular economy. The investigative practical lesson using the fruiting chamber aims to promote active learning, develop practical skills, encourage innovation, sustainability, and critical thinking, as well as connect urban students with sustainable food production. The work acknowledges the challenges in implementation in school environments, such as the need for teacher training and resource availability, but emphasizes collaboration as a way to overcome these obstacles.

Keywords: Mushroom Cultivation, Science Education, Active Learning, Sustainability, Circular Economy.

Sumário

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	ix
1 Introdução	1
2 Revisão da literatura	3
2.1 O Papel dos Fungos: Benefícios e Desafios	3
2.2 Os Macrofungos no Ensino e no Currículo Educacional	4
2.3 Plataformas de Ensino, Pesquisa e Divulgação	10
3 Referencial Teórico	14
3.1 Estratégias Didáticas no Ensino de Ciências	14
4 Percurso Metodológico	16
5 Resultados e Discussão	17
5.1 Câmara de Frutificação	17
5.2 Aula Prática Investigativa	18
5.3 Desafios e Proposta de Adaptação	20
6 Considerações Finais	23
Referências Bibliográficas	24
A Construção da Câmara de Frutificação e Avaliação	41
A.1 Metodologias	41
A.1.1 Construção da Câmara de Frutificação	41
A.1.2 Sistema de Controle e Monitoramento IoT	41
A.1.3 Cultivo de cogumelos <i>Pleurotus ostreatus</i>	44
A.2 Resultados	45
A.2.1 Avaliação da Câmara de Frutificação através do Cultivo de Cogumelos	49

B	Material de Apoio	53
B.1	Cogumelos no Brasil: História e Diversidade	53
B.2	Biologia, Classificação e Morfologia	54
B.3	Composição Química, Valor Nutricional e Alimentício	57
B.4	Compostos Bioativos e Aplicações	59
B.4.1	Antitumoral	62
B.4.2	Antioxidante	64
B.4.3	Imunomoduladora	64
B.5	Desenvolvimento Tecnológico: Novos Produtos e Aplicação	65
B.6	Cultivo e Desenvolvimento de Cogumelos	67
B.6.1	Tipos de Cultivo	67
B.6.2	Tipos de Reprodução	68
B.6.3	Fases de Crescimento e Cultivo	69
C	Roteiro do Professor	80
C.0.1	Objetivo:	80
C.0.2	Descrição:	80
C.0.3	Importância da Atividade:	80
C.0.4	Público-alvo:	80
C.0.5	Tópicos Abordados:	81
C.0.6	Conhecimento Prévio:	81
C.0.7	Possibilidades Educacionais:	81
C.0.8	Temas Transversais:	81
C.1	Proposta Pedagógica	82
C.1.1	Objetivo Geral:	82
C.1.2	Objetivos Específicos:	82
C.1.3	Planejamento da Atividade Investigativa	83
C.1.4	Recursos Necessários:	84
C.1.5	Avaliação:	84
C.1.6	Observação importante:	84

Lista de Figuras

2.1	Cultivo de shimeji branco em rolo de papel higiênico.	7
2.2	Freightfarms em ambiente escolar.	10
5.1	Etapas do cultivo de cogumelos.	19
5.2	Etapas do cultivo de cogumelos em rolos de papel higiênico em sala de aula.	21
A.1	Diagrama esquemático da câmara de frutificação com seu sistema de controle e monitoramento baseado em IoT. O controlador com Wi-Fi ESP32 atua como o processador central, possibilitando controle e monitoramento remoto. Os relays são responsáveis por acionar cargas mais pesadas quando necessário, como o sistema de refrigeração, composto pelo condensador e evaporador, e o sistema de umidificação. O Sensor de temperatura e umidade monitora as condições ambientais e se comunica com o controlador. O sistema de ventilação e iluminação estão conectados diretamente a alimentação do sistema funcionando constantemente.	42
A.2	Diagrama do sistema de controle ambiental baseado em IoT exibindo as camadas de interação do usuário e visualização de dados, camada de comunicação, componentes de hardware e ambiente controlado de cultivo de cogumelos.	43
A.3	Diagrama do loop de controle de temperatura e umidade baseado em internet das coisas.	44
A.4	Câmara de frutificação de cogumelos IoT construída a partir de um refrigerador de porta de vidros, um umidificador e um sistema de monitoramento e controle baseado em IoT.	46
A.5	Monitoramento da temperatura e umidade durante a frutificação de cogumelos a 25 °C e 90% de umidade.	47
A.6	Análises estatística dos dados de temperatura e umidade da câmara de frutificação no período de 24 horas.	48

A.7	Análise das condições ambientais durante 7 dias de frutificação de cogumelos. (a) Variação diária de umidade (azul) e temperatura (vermelho) ao longo de sete dias, com barras de erro indicando a dispersão dos dados. (b) Gráfico de dispersão de calor para a umidade, mostrando a densidade de pontos através de uma escala cromática, correlacionando a frequência e a distribuição de dados de umidade dos dias de cultivo. (c) Box plot da temperatura, ressaltando a mediana, os quartis e potenciais outliers, refletindo a distribuição temperaturas na câmara. (d) Box plot da umidade com elementos estatísticos similares, ilustrando a distribuição e consistência dos níveis de umidade. (e) Histograma de frequência para a temperatura com uma curva de ajuste, evidenciando a distribuição e a tendência central das temperaturas registradas. (f) Histograma para a umidade, também com curva de ajuste, detalhando a contagem de ocorrências das faixas de umidade durante o período observado.	50
A.8	Blocos de cultivo de <i>P. ostreatus</i> ao longo do cultivo em câmara de frutificação.	51
A.9	Resultados experimentais da frutificação de blocos de cultivo de <i>P. ostreatus</i> cultivados à 18 °C e 25 °C com ou sem sacola de polipropileno.	51
B.1	Produção nacional de cogumelos comestíveis e medicinais (2016).	54
B.2	<i>Valvariella volcacea</i> com as estruturas do píleo, stipe e volva expostas (imagem a esquerda) e <i>Amanita phalloides</i> com suas estruturas: píleo, stipe, volva, anel e parte do micélio (imagem a direita)	55
B.3	Resíduos agroindustriais, em sequência, serragem de madeira peletizada, sabugo de milho e bagaço de malte.	56
B.4	Processo de compostagem (imagem a esquerda) e cultivo e corpo de frutificação de <i>A. bisporus</i> em composto (imagem a direita).	56
B.5	Ilustração das fases de crescimento e representação da parede celular dos cogumelos.	58
B.6	Corpo de frutificação do <i>Gnoderma lucidum</i>	60
B.7	Corpo de frutificação do <i>Agaricus brasiliensis</i> , popularmente conhecido como champignon do Brasil.	61
B.8	Compostos tóxicos presentes em algumas espécies de cogumelos.	61
B.9	Cogumelos mágicos (<i>Psilocybe cubensis</i>) crescidos no esterco.	62
B.10	Cogumelos medicinais: <i>Cordyceps</i> , <i>Inocybe</i> , <i>Schizophyllum</i> e <i>Calvatia</i>	63
B.11	Aplicações tecnológicas de bio-blocos como materiais biodegradáveis.	66
B.12	Aplicação de bio-blocos em construção.	67
B.13	<i>Auricularia auricula</i> em toras de madeira.	69

B.14 Técnica de reprodução assexuada de cogumelos comestíveis e medicinais.	70
B.15 Quatro principais fases do cultivo de cogumelos comestíveis e medicinais.	72
B.16 Diagrama das principais fases do crescimento de cogumelos mediada pelo gatilho de transição entre fases.	73
B.17 Faixas de temperatura ótimas de frutificação de cogumelos comestíveis e medicinais.	74
B.18 Faixas de temperatura ótimas de colonização de cogumelos comestíveis e medicinais.	74
B.19 Efeitos de diferentes concentrações de CO_2 na morfologia dos cogumelos <i>Pleurotus ostreatus</i>	76
B.20 <i>Flammulina velutipes</i> cultivado de forma axênica em ambiente controlado.	76
B.21 <i>Flammulina velutipes</i> encontrado na natureza.	77
B.22 <i>Gonoderma lucidum</i> cultivado em alta concentração de CO_2 com iluminação (imagem a esquerda) e sem iluminação (imagem a direita). .	78
B.23 Cultivo de <i>Agaricus bisporus</i> em sala com sistema de ventilação comprometido.	79

Lista de Tabelas

2.1	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	5
-----	--	---

Capítulo 1

Introdução

Os fungos são organismos essenciais para o equilíbrio dos ecossistemas, desempenhando um papel crucial na decomposição da matéria orgânica (PAZ *et al.*, 2023). Entre os fungos, a classe dos basidiomicetos produz estruturas macroscópicas conhecidas como cogumelos, que são muitas vezes comestíveis e possuem alto valor nutricional e medicinal. Os cogumelos são amplamente valorizados por seu alto conteúdo proteico, baixo teor de lipídeos e riqueza em fibras, minerais e vitaminas (VALVERDE; HERNÁNDEZ-PÉREZ; PAREDES-LÓPEZ, 2015). Além de seus benefícios nutricionais, muitos cogumelos possuem compostos bioativos com propriedades terapêuticas que são amplamente reconhecidas, com estudos clínicos avançados em fase III e IV¹ que demonstram o potencial terapêutico desses alimentos (BADALYAN *et al.*, 2023; PANDA *et al.*, 2022).

As mudanças climáticas têm causado impactos significativos em diversos setores, com a agricultura sendo um dos mais vulneráveis. Variações na precipitação e na temperatura, bem como a ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, afetam diretamente a produtividade agrícola (MALHI; KAUR; KAUSHIK, 2021). Em regiões tropicais, onde a dependência de padrões climáticos estáveis é fundamental para a produção agrícola, os impactos são ainda mais severos. Este cenário destaca a importância de técnicas resilientes, como a Agricultura em Ambiente Controlado (AAC), que permite o controle preciso de variáveis ambientais, garantindo um fornecimento contínuo e previsível de alimentos sem sofrer interferências climáticas (D'SOUZA; BHALLA, 2022).

A prática da agricultura em ambiente controlado, aliada ao uso de tecnologias da Internet das Coisas (IoT)², oferece uma solução inteligente e eficiente para a pro-

¹Ensaios clínicos de fase III ou IV têm como principal objetivo avaliar a eficácia e o perfil de segurança de novas intervenções terapêuticas em larga escala, abrangendo populações diversas e representativas (KIM *et al.*, 2023)

²Internet das Coisas (IoT) é um conjunto de tecnologias baseadas na conexão com a internet. Elas permitem que processos e objetos físicos se comuniquem com a rede, enviando e recebendo informações em tempo real.

dução agrícola em áreas urbanas. Essa abordagem maximiza a produtividade em espaços limitados e promove o uso eficiente de recursos e a redução da incidência de pragas e doenças (RAGAVEENA; EDWARD; SURENDRAN, 2021). No contexto urbano, onde os espaços são restritos e as condições ambientais podem ser adversas ao cultivo de alimentos, a AAC integrada com IoT surge como uma proposta inteligente, viável e sustentável.

O cultivo de cogumelos comestíveis no Brasil é um processo relativamente recente e apresenta um grande potencial de expansão. Apesar do alto potencial de cultivo e consumo, a produção ainda é baixa (AGUIAR *et al.*, 2022; VIRIATO *et al.*, 2022). Desenvolver tecnologias que permitam a produção eficiente e sustentável de cogumelos em áreas urbanas pode contribuir para a segurança alimentar e nutricional das populações, além de promover práticas agrícolas sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas. Além disso, a utilização de substratos formulados a partir de resíduos agroindustriais, como palha, serragem e borra de café, no cultivo de cogumelos, posiciona essa prática dentro do conceito de economia circular. Isso promove a sustentabilidade agrícola e oferece oportunidades econômicas ao reaproveitar resíduos que, de outra forma, seriam descartados inadequadamente, causando impactos negativos ao meio ambiente (GRIMM; WÖSTEN, 2018).

Há uma carência de ferramentas práticas e acessíveis que permitam a aplicação pedagógica dos macrofungos em sala de aula, especialmente em contextos urbanos, onde a exposição direta a ambientes naturais é limitada. No Brasil, o cultivo de cogumelos enfrenta desafios adicionais devido às condições climáticas variáveis, que dificultam a manutenção de um ambiente estável e adequado para o crescimento dos cogumelos. Este trabalho visa propor soluções a esses problemas através do desenvolvimento de um equipamento e de uma aula prática que utilize uma câmara de cultivo de cogumelos, que possa ser utilizada em instituições educacionais para fins didáticos. Essa câmara proporcionará um ambiente controlado que simula as condições ideais para o cultivo de cogumelos, permitindo que estudantes em áreas urbanas tenham acesso a experiências práticas e observações diretas dos processos bioquímicos, enriquecendo assim o ensino de biologia, bioquímica e química.

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma aula prática investigativa de cultivo de cogumelos que empregue uma câmara de frutificação de cogumelos de baixo custo para a divulgação e popularização de cogumelos. Além disso, busca-se desenvolver procedimentos metodológicos para o cultivo de cogumelos em ambiente controlado, demonstrando a aderência desse equipamento tanto aos princípios da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), referência curricular atual, quanto aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), que, mesmo com a implementação da BNCC, continuam a ser um valioso material de apoio e consulta.

Capítulo 2

Revisão da literatura

Uma revisão da literatura foi realizada com o objetivo de compreender o papel fundamental dos fungos na sociedade, explorar os principais aspectos do cultivo de cogumelos e fornecer subsídios para a construção e aplicação de uma câmara de frutificação em aulas práticas. Além disso, a revisão busca destacar a importância dos fungos no contexto educacional, cultural, social e econômico, demonstrando suas diversas aplicações e benefícios.

2.1 O Papel dos Fungos: Benefícios e Desafios

Os fungos são frequentemente pontuados como agentes decompositores essenciais nos ecossistemas, desempenhando um papel crítico na decomposição da matéria orgânica. De fato, muitos fungos decompõem materiais complexos como lignina e celulose, contribuindo para a reciclagem de nutrientes e o equilíbrio do ciclo do carbono (BALDRIAN; VALÁŠKOVÁ, 2008; HEIJDEN; HORTON, 2009). Os fungos representam uma diversidade de microrganismos que passam de 120 mil espécies descritas na literatura com uma biodiversidade estimada de 2,2 a 3,8 milhões de espécies (HAWKSWORTH; LÜCKING, 2017). Sem a intervenção dos fungos, a matéria orgânica morta se acumularia, interrompendo os ciclos naturais e comprometendo a saúde dos ecossistemas.

No entanto, a influência dos fungos vai além do equilíbrio ambiental. Eles têm um impacto significativo na economia e na alimentação humana. Na indústria alimentícia, por exemplo, fungos são fundamentais na produção de alimentos e bebidas fermentadas, como pães, queijos, vinhos e cervejas. Esses processos fermentativos, utilizados na alimentação há pelo menos 3000 anos, são essenciais para a produção de itens de consumo diário, além de aprimorar e preservar o valor nutricional dos alimentos (BARZEE *et al.*, 2021). Eles também são aliados valiosos na biorremediação, onde são estudados e usados para decompor poluentes ambientais e limpar áreas contaminadas (HARMS; SCHLOSSER; WICK, 2011; VAKSMAA *et al.*, 2023). A

versatilidade de degradar substâncias ambientalmente tóxicas os torna essenciais na ação contra a poluição. Na agricultura, fungos atualmente estão desempenhando um papel crucial no biocontrole de pragas, reduzindo a necessidade de pesticidas químicos e promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis (SAVITA; SHARMA, 2019; VOS *et al.*, 2014). Além disso, os metabólitos secundários produzidos por fungos, como enzimas e compostos bioativos, têm aplicações diversas nas indústrias farmacêutica e biotecnológica por exemplo, desde a produção de medicamentos até a criação de bioplásticos (DEVI *et al.*, 2020). Na alimentação, os micélios e cogumelos são altamente valorizados por suas propriedades nutricionais e benefícios à saúde, incluindo a redução do risco de doenças devido a suas ações antioxidante, imunomoduladora e anticarcinogênica (PATEL *et al.*, 2021; PATEL; GOYAL, 2012).

Contudo, nem todas as interações com fungos são benéficas. Eles também podem causar prejuízos significativos na economia, no meio ambiente e na saúde. Na agricultura, a contaminação por fungos fitopatogênicos pode levar à deterioração de alimentos e à redução da produtividade (RÓŻEWICZ; WYZIŃSKA; GRABIŃSKI, 2021). Na produção industrial, eles podem causar danos a materiais primas, produtos e infraestrutura. Além disso, a produção de micotoxinas por alguns fungos representa uma ameaça grave à saúde humana e animal, resultando em intoxicações e doenças crônicas, além de perdas econômicas devido ao descarte de produtos contaminados e custos médicos.

Portanto, embora os fungos desempenhem papéis vitais em diversos setores, com inúmeras aplicações e utilidades na sociedade contemporânea, é crucial implementar medidas de controle e gestão para mitigar seus impactos negativos na saúde, economia e ao meio ambiente. Diante desses desafios, reforça-se a importância de um currículo rico e diverso que traga o estudo dos fungos no ensino básico. Educar as futuras gerações sobre o papel dos fungos nos ecossistemas, na economia e na saúde pública é essencial para formar cidadãos conscientes e preparados para enfrentar esses desafios. A inclusão, o aprofundamento e a melhor abordagem desse conhecimento no currículo escolar devem fomentar uma compreensão sobre a importância dos fungos, incentivando práticas de manejo sustentável e o desenvolvimento de novas soluções para os problemas atuais.

2.2 Os Macrofungos no Ensino e no Currículo Educacional

O cultivo de cogumelos se insere na lógica da economia circular e desperta o interesse e a participação dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem. Trata-se de um tema transversal, que dialoga com diferentes áreas do conhecimento, especialmente

a micologia, que ainda é pouco estudada no Brasil (FALCÃO *et al.*, 2021). O cultivo de cogumelos se relaciona com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que é uma agenda global adotada pelas Nações Unidas em 2015, com o propósito de promover o desenvolvimento sustentável em suas três dimensões: econômica, social e ambiental. Os ODS são compostos por 17 objetivos (Tabela 2.1) e 169 metas, que abordam temas diversos, como educação, erradicação da pobreza, segurança alimentar, saúde, igualdade de gênero, água, energia, infraestrutura, cidades, clima, oceanos, biodiversidade, paz, justiça e parcerias (FUKUDA-PARR, 2023).

Tabela 2.1: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Meta	Descrição
1	Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares.
2	Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e a melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável.
3	Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.
4	Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
5	Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.
6	Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos.
7	Assegurar o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos.
8	Promover um crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos.
9	Construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.
10	Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles.
11	Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.
12	Assegurar padrões de consumo e produção sustentáveis.
13	Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.
14	Conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
15	Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, e deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.
16	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
17	Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a Parceria Global para o Desenvolvimento Sustentável (Finanças, Tecnologia, Capacitação, Comércio, Questões Sistêmicas).

Fonte: Fukuda-Parr (2023).

O Brasil, como país-membro da ONU, aderiu aos ODS desde o início da sua vigência e participou ativamente da sua formulação e implementação (BARROS, 2016). Ao longo das últimas décadas, políticas nacionais foram estabelecidas em consonância com os objetivos do desenvolvimento sustentável. Destacam-se, em particular, a Política Nacional de Educação Ambiental de 1999, a Política de Educação para o Consumo Sustentável de 2015, a Política Nacional de Formação dos Profissionais da Educação de 2016 e a Política Nacional de Avaliação e Exames da Educação Básica de 2018. Essas políticas públicas reconhecem o papel estratégico da educação como um pilar fundamental para o desenvolvimento sustentável (NHAMO; TOGO; DUBE, 2021).

A educação básica frequentemente negligencia o estudo dos fungos, limitando-se a menções superficiais nos currículos de ciências. Silva e Junior (2017) analisaram oito obras didáticas da coleção PNLD de 2012 e identificaram erros conceituais e informações desatualizadas, quando os livros abordam o conteúdo sobre fungos. A análise destacou a necessidade urgente de reformulação desses materiais. Essa negligência se estende aos níveis educacionais superiores, como a universidade, onde disciplinas raramente abordam conteúdos ou aulas práticas que envolvem fungos. Esse fenômeno é evidenciado pela apostila de aulas práticas do Departamento de bioquímica do Instituto de Química da UFRJ, que, em mais de 300 páginas, menciona e utiliza fungos em apenas 6 de suas aulas práticas. Na verdade, apenas utilizam as leveduras, excluindo a grande biodiversidade do reino. Essa omissão evidencia a falta de atenção dada a um reino tão diverso e significativo, tanto do ponto de vista ecológico, econômico, social e cultural.

A inclusão de aulas sobre fungos na educação básica é essencial para uma compreensão mais completa de seu papel no ecossistema, na alimentação humana e na economia. Infelizmente, essa ação é rara, refletindo uma lacuna significativa no sistema educacional brasileiro. De acordo com Silva e Junior (2017), a abordagem sobre fungos nos materiais didáticos frequentemente apresenta equívocos conceituais e carências de informações complementares, além de uma escassez de propostas experimentais que explorem adequadamente esse tema. A experiência prática pode oferecer aos alunos a oportunidade de se envolverem diretamente com o processo produtivo de alimentos, como os cogumelos, compreendendo a importância dos fungos tanto do ponto de vista ecológico quanto econômico-social. Esta abordagem prática também pode contribuir para romper o ciclo de desconhecimento e subvalorização dos fungos, destacando seu papel crucial na sustentabilidade e na agricultura ¹.

¹Quando nos referimos a agricultura, adotamos uma abordagem abrangente que inclui o cultivo de cogumelos. Atualmente, este cultivo está regulamentado dentro da cadeia de horticultura. No entanto, os produtores preferem utilizar o termo Fungicultura, que descreve mais adequadamente o processo produtivo específico. Recentemente, o Estado de São Paulo regulamentou esta cadeia produtiva, o que é significativo a nível nacional, pois a maior parte da produção de cogumelos no

O ensino empregando os cogumelos como tema mobilizador pode envolver os alunos em todas as etapas do cultivo, desde a preparação do substrato, a inoculação, a incubação, a frutificação, a colheita, o beneficiamento e o consumo dos cogumelos. O cultivo de cogumelos demanda condições ambientais específicas, que são difíceis de serem atingidas em um ambiente urbano. Porém, existem alternativas que possibilitam esse cultivo. Llana (2023) apresenta em seu vídeo no TikTok uma experiência de cultivo de cogumelo shimeji (*Pleurotus ostreatus*) utilizando rolos de papel higiênico como substrato. Essa é uma proposta de baixo custo e fácil execução que pode ser aplicada no ensino básico, como forma de despertar o interesse dos alunos pela biologia dos fungos e pela produção de alimentos. No vídeo, que tem apenas 23 segundos de duração, a autora mostra as etapas do cultivo, que consistem em ferver os rolos de papel higiênico para reduzir a carga microbiana, inoculá-los com o micélio do cogumelo, que pode ser adquirido pela internet por apenas R\$ 13,99 (WILLIAM, 2023), e colocá-los dentro de uma sacola plástica para manter a umidade e o microclima adequados (Figura 2.1). Após algumas semanas, os cogumelos começam a frutificar e podem ser colhidos.

Figura 2.1: Cultivo de shimeji branco em rolo de papel higiênico.



Fonte: Llana (2023)

O tema do cultivo de cogumelos pode ser explorado facilmente no âmbito da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, pois envolve diversos conhecimentos relacionados aos fungos e processos físico-químicos. O tema pode ser usado no ensino de classificação, morfologia, fisiologia, reprodução, genética, diversidade, ecologia, biotecnologia, nutrição, farmacologia, toxicologia, entre outros aspectos dos cogume-

Brasil ocorre no estado. Essa regulamentação pode promover avanços na padronização e qualidade da produção, além de potencialmente influenciar políticas agrícolas em outras regiões do país.

los e dos fungos que são tratados nessa revisão da literatura. Portanto, acreditamos que o desenvolvimento do processo de cultivo de cogumelos é uma oportunidade de aprendizagem significativa, que permite o estudo da estrutura e reprodução dos cogumelos, a compreensão do papel dos fungos na absorção de nutrientes, a investigação do papel dos fungos no ecossistema, o cultivo de alimentos de forma sustentável e a alimentação saudável.

Os fungos, de maneira geral, foram alvo de pesquisas voltadas ao ensino. Johan *et al.* (2014) acreditam que, devido à presença de fungos no nosso cotidiano, há necessidade de abordá-los no ensino fundamental. Por eles, foi construído uma sequência didática de 5 atividades desenvolvidas em função dos fungos, enfatizando a importância das atividades práticas no ensino de ciências. São elas: observação em microscópico, experimento de fermentação, saída de campo, confecção de modelos didáticos e revisão dos conceitos através de um jogo didático. A sequência didática proposta pelos autores possibilitou aos alunos ampliarem o seu conhecimento sobre os fungos e eles demonstraram uma maior compreensão sobre as características, a diversidade e a importância desses organismos. Santos *et al.* (2021) propuseram uma sequência de ensino investigativa (SEI) sobre fungos para alunos do ensino fundamental. A sequência desenvolvida consiste em uma série de aulas que envolvem a observação, a experimentação e a problematização dos conceitos relacionados aos fungos. Esses estudos evidenciam a importância de abordar o tema dos fungos no ensino, através de estratégias didáticas diversificadas.

Além disso, o cultivo de cogumelos também pode ser uma fonte de alimentação saudável e renda para os agricultores familiares, pois os cogumelos têm alto valor nutritivo e comercial. Assim, o ensino de cultivo de cogumelos comestíveis e medicinais em escolas de área rural pode contribuir para a formação de jovens produtores, que podem aproveitar os resíduos agroindustriais como substrato e gerar renda e alimento de qualidade. Segundo Habowski, Conte e Trevisan (2019), o cultivo de cogumelos é uma alternativa para o reaproveitamento dos resíduos agroindustriais e pode ser utilizado no ensino dialogado com o cotidiano dos educandos através do ensino das ciências da natureza e agroecologia. Foi desenvolvido um conjunto de aulas de cultivo de cogumelos (teórica e prática) na Escola Família Agrícola Puris em Minas Gerais para estudantes do primeiro ano do Ensino médio (EM). Verificou-se que os alunos assimilaram os conteúdos fundamentais das ciências da natureza através desse tema gerador que possibilitou o diálogo da sala de aula com o cotidiano dos educandos. De forma semelhante, Falcão *et al.* (2021) desenvolveram uma oficina pedagógica de cultivo de cogumelos como uma ferramenta de ensino dinâmica e criativa que estimula a coletividade, a construção do conhecimento e a reflexão crítica através da produção do cogumelo comestíveis *Pleutorus ostreatoroseus*. Esses estudos demonstram o potencial educativo do cultivo de cogumelos em escolas,

pois permitem abordar de forma integrada e contextualizada diversos conteúdos das ciências da natureza, como biologia, química e física, além de temas transversais como educação ambiental, empreendedorismo e segurança alimentar.

Já no ensino superior, Flurkey e Inlow (2017) propuseram uma atividade prática para estudantes de graduação que envolve a aplicação das tirosinases dos cogumelos paris na determinação da cinética enzimática por meio da modelagem de Michaelis-Menten. A partir do extrato aquoso dos cogumelos paris, os estudantes calcularam o K_m e o V_{max} da reação enzimática para produção de o-benzoquinona. Além disso, os estudantes tiveram que analisar os dados obtidos, produzir gráficos para representá-los e utilizar a regressão não linear para ajustar a equação de Michaelis-Menten aos dados experimentais. Essa atividade foi considerada adequada para o ensino superior, pois envolveu diferentes habilidades relacionadas a pesquisa e a educação em bioquímica. Atividades como essa são fundamentais para a formação de profissionais capacitados para atuar em diferentes áreas da bioquímica.

Esse tema mobilizador é prontamente apropriado dentro das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, como demonstrado acima, mas isso não impede o esgotamento do tema em outras áreas de ensino. Como exemplo, Brinkman e Mulder (1996) propõem uma abordagem interdisciplinar no ensino de professores, utilizando os cogumelos como tema gerador na articulação entre a literatura e a biologia. Os autores utilizaram e verificaram através de um poema de Sylvia Plath intitulado “Mushrooms” que essa abordagem foi significativa para os estudantes, pois aumentou o interesse pela literatura e pela conscientização sobre os cogumelos. O estudo evidencia, assim, a potencialidade pedagógica do tema em diversas áreas do conhecimento humano.

No que tange a segurança em utilizar esses microrganismos em sala de aula, os cogumelos comestíveis e medicinais são seguros, não tóxicos e hipoalergênicos, e vem se demonstrando excelentes modelos para o ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (ASSEMIE; ABAYA, 2022). Os alunos podem participar de todas as etapas do cultivo, desde a preparação do substrato, a inoculação, a incubação, a frutificação, a colheita, o beneficiamento e o consumo dos cogumelos e através disso eles podem realizar experimentos, observações, registros, análises, debates, exposições, oficinas, degustações e outras atividades que estimulem o interesse, a curiosidade, a criatividade, a autonomia, a cooperação e a criticidade.

Os cogumelos são recursos naturais que apresentam diversas aplicações na sociedade. Eles podem ser consumidos, além de servirem como matéria-prima para a fabricação de vários produtos, como remédios e cosméticos. Diante do exposto, fica evidente que os cogumelos possuem uma relevância nutricional, econômica, social e educacional. Esses recursos naturais têm o potencial de contribuir para a saúde humana, impulsionar a economia através da fabricação de produtos de valor agregado e

enriquecer o processo de ensino-aprendizagem. Portanto, é fundamental reconhecer e valorizar a importância dos cogumelos, investindo em pesquisas e iniciativas que visem explorar todo o seu potencial.

2.3 Plataformas de Ensino, Pesquisa e Divulgação

A câmara de frutificação, desenvolvida nesse trabalho, desempenha múltiplos papéis no contexto educacional, abrangendo ensino, divulgação e pesquisa. Este dispositivo oferece aos alunos, especialmente aqueles em ambientes urbanos, a oportunidade de interagir diretamente com tecnologias agrícolas e processos de produção de alimentos sustentáveis em ambiente controlado. Esse tipo de equipamento é oferecido em outros países e serve como plataforma de ensino para escolas e universidades. Empresas como Farms (2024), Growtainers (2024), Greens (2024), produzem contêineres destinados predominantemente ao cultivo de hortaliças por meio de hidroponia em ambientes controlados. Esses contêineres são comercializados para centros educacionais, possibilitando o cultivo de alimentos frescos e nutritivos dentro do ambiente urbano escolar. Dessa forma, essas empresas promovem a integração do cultivo de alimentos ao cotidiano escolar urbano, aproximando os alunos dos processos de produção alimentar e incentivando práticas sustentáveis e de consumo consciente.

Figura 2.2: Freightfarms em ambiente escolar.



Fonte: Farms (2024)

A agricultura urbana é destacada por Nowysz *et al.* (2022) e Orsini *et al.* (2013) como uma importante atividade contribuidora para benefícios sociais, econômicos e ambientais. Ela promove a segurança alimentar e nutricional, aumento da biodiversidade, melhora a saúde populacional, estimula o desenvolvimento das economias

locais e favorece a inclusão social. Além disso, também é vista como uma atividade importante e essencial para reconectar os moradores urbanos com a origem de seus alimentos e com a natureza, promovendo uma compreensão mais profunda do processo produtivo e das necessidades de práticas produtivas sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas (ALVES; OLIVEIRA; MüHL, 2024; MCCLINTOCK, 2010). Nesse sentido, a câmara de frutificação de cogumelos possibilita que os alunos de áreas urbanas se conectem com o processo produtivo de seus alimentos através do ensino de ciências, agricultura e novas tecnologias.

A economia circular, que é inerente ao cultivo de cogumelos, destaca a importância da reutilização e reciclagem de recursos para minimizar o desperdício e promover a sustentabilidade ambiental (GANUZA; MEJIA; ALBERTÓ, 2023; GRIMM; WÖSTEN, 2018). Na agricultura, isso pode incluir a utilização de resíduos urbanos e agroindustriais na produção de alimentos, promovendo uma abordagem mais sustentável e econômica. A câmara de frutificação possibilita a aplicação prática dos princípios da economia circular, ao utilizar resíduos para a produção de cogumelos ricos em proteínas, minerais e vitaminas. Além disso, o processo de produção dos cogumelos gera resíduos sólidos que podem ser aplicados na produção de enzimas, biocombustíveis e adubos em hortas (COURTNEY; MULLEN, 2008; DEVI *et al.*, 2022; GANUZA; MEJIA; ALBERTÓ, 2023; XIONG *et al.*, 2019). Esta prática reduz o desperdício e utiliza resíduos de forma inteligente e tecnológica, e possibilita educar sobre a importância da sustentabilidade e da gestão eficiente dos recursos.

Dentro desse contexto, uma das políticas nacionais da área da educação de extrema importância é a política da educação ambiental. Elas dispõem a necessidade de educar os indivíduos sobre questões ecológicas e promover práticas sustentáveis (PEDRO; HAYASHI, 2024; SPRICIGO, 2024). A agricultura urbana tem sido destacada como uma prática estratégica eficaz para engajar comunidades urbanas em práticas de produção alimentar sustentável, contribuindo ativamente para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) (GÓMEZ-VILLARINO; BRIZ, 2022). Dentro desse contexto, a câmara de frutificação desenvolvida nesse projeto oferece uma plataforma prática para a aplicação desses conceitos, permitindo que os alunos vivenciem práticas de cultivo resilientes e sustentáveis através de um equipamento compacto e versátil.

Este equipamento se alinha bem com abordagens educacionais que integram disciplinas, incentivando a resolução colaborativa de problemas reais, desenvolvendo habilidades de pensamento crítico e solução de problemas entre os alunos. Projetos envolvendo a câmara de frutificação podem abordar uma variedade de questões, como ciclos biogeoquímicos, a produção sustentável de alimentos, a gestão eficiente de resíduos e a inovação tecnológica na agricultura. Esse tipo de projeto proporciona um aprendizado ativo e envolvente, além de também preparar os alunos para

enfrentarem os desafios complexos e interdisciplinares, equipando-os com competências essenciais para o futuro.

Como demonstrado, equipamentos de cultivo em ambiente controlado, assim como a câmara de frutificação desenvolvida, se destacam como ferramentas didáticas inovadoras que podem ser integradas em diferentes níveis educacionais. A aplicabilidade deste equipamento em diferentes níveis de ensino, bem como a utilização de metodologias ativas de ensino, torna-o uma ferramenta versátil. No ensino fundamental, ela pode ser utilizada para introduzir os alunos aos conceitos básicos sobre os fungos, agricultura, sustentabilidade, meio ambiente, desenvolvimento de habilidades práticas e alimentação saudável, que são componentes curriculares importantes para essa etapa de formação (OLIVEIRA *et al.*, 2023; TARGINO; TABOSA, 2024). Através de atividades práticas, os estudantes podem produzir, observar o crescimento dos cogumelos e entender o ciclo de vida dos fungos, bem como a importância da conservação ambiental e de uma alimentação saudável. Além disso, a câmara de frutificação será desenvolvida e testada com cogumelos, porém, ela pode ser avaliada para produção de outros alimentos em ambiente controlado, dada a sua versatilidade.

No ensino médio, a câmara de frutificação pode ser utilizada para aprofundar o conhecimento científico dos alunos. Cultivos controlados dentro da câmara permitem que os estudantes explorem aspectos como o impacto de diferentes condições ambientais no crescimento dos cogumelos e a necessidade de nutrientes para o crescimento dos fungos. Além disso, a integração com disciplinas como biologia e química proporciona um aprendizado interdisciplinar, essencial para maximizar o potencial educacional desse equipamento.

No ensino superior, a câmara de frutificação se torna uma plataforma para pesquisa e inovação, além do ensino. Estudantes universitários podem usar a câmara para conduzir pesquisas, investigando novos métodos de cultivo, a utilização de resíduos urbanos como substrato e o desenvolvimento de técnicas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, que levem em conta as mudanças climáticas. Essa aplicação prática reforça o conhecimento teórico adquirido nas aulas e promove a capacidade de resolver problemas e propor soluções complexas.

Além desses aspectos abordados, a divulgação científica é outra área em que a câmara de frutificação pode ser explorada. Em eventos escolares, feiras de ciências, visitas guiadas, produtores locais e outros, a câmara pode ser utilizada para demonstrar tecnologias agrícolas, práticas sustentáveis e reutilização de resíduos agroindustriais para a produção de alimentos para a comunidade. Isso ajuda a sensibilizar o público sobre questões ambientais e a importância da produção sustentável de alimentos. Além disso, a câmara de frutificação pode ser incorporada em programas de extensão universitária e projetos comunitários, permitindo a troca do conheci-

mento científico e tecnológico com as comunidades locais. A interação direta com a câmara proporciona uma compreensão prática dos conceitos de sustentabilidade e economia circular, fomentando uma mudança de comportamento em relação ao meio ambiente.

Em resumo, a câmara de frutificação encontra-se integrada nas esferas de ensino, divulgação e pesquisa. No ensino, ela facilita a aprendizagem ativa e interdisciplinar; na divulgação, ela sensibiliza e educa a comunidade sobre práticas sustentáveis; e na pesquisa, ela abre caminho para inovações tecnológicas e práticas agrícolas em ambiente controlado.

Capítulo 3

Referencial Teórico

3.1 Estratégias Didáticas no Ensino de Ciências

Papert (2007), Piaget (2016), Helding (2009), entre outros, compartilham a visão de que o conhecimento não é estático nem absoluto, mas sim uma construção dinâmica, moldada pelas experiências e conhecimentos prévios de cada indivíduo. O aprendizado, nesse contexto, é um processo ativo de coleta, organização e interpretação de informações, e não a mera absorção passiva de uma verdade predefinida. Em essência, o conhecimento é construído, e não descoberto (ELIAS; LEMOS *et al.*, 2024).

Nesse cenário de aprendizado ativo e construtivo, as metodologias ativas se destacam como abordagens pedagógicas que têm como princípio a interação e a participação dos estudantes no processo de construção do conhecimento, portanto, na aprendizagem (CUNHA *et al.*, 2024; RODRIGUES; SANTOS, 2024). Esse método engloba abordagens colaborativas, resolução de problemas e pensamento crítico, sempre provocando e incentivando os alunos a desenvolverem uma postura ativa no processo de aprendizagem. Os princípios dessas metodologias são: o foco no aluno durante o processo de aprendizado, a aplicação no mundo real e a integração de tecnologias e recursos para aumentar o engajamento dos alunos.

Entre as metodologias ativas, destaca-se o ensino baseado em projetos, que consiste na criação e implementação de atividades nas quais os alunos aplicam conhecimentos científicos para resolver problemas do mundo real. Esse método favorece o desenvolvimento do pensamento crítico, da colaboração e da autonomia na busca por soluções. Além disso, ao integrar diferentes disciplinas e incorporar o uso de tecnologias, essa abordagem estimula habilidades essenciais para o século XXI (FATIMAH; YAMTINAH; BRAMASTIA, 2023; TAFAKUR; RETNAWATI; SHUKRI, 2023; MCKINNEY, 2023).

Nessa perspectiva, o ensino investigativo se apresenta como uma abordagem que

fortalece ainda mais o protagonismo dos alunos na construção do conhecimento. Ao estimular a elaboração de perguntas, o planejamento, a interpretação de dados e a formulação de hipóteses, essa metodologia promove uma aprendizagem ativa e significativa (COSTA; FRENEDOZO, 2020; CASTELLAR, 2016). Assim, ao ser incorporado, o ensino investigativo potencializa o envolvimento dos estudantes e amplia as possibilidades de exploração e descoberta no ambiente educacional.

Dessa forma, ao integrar metodologias ativas e o ensino investigativo, a educação se torna um processo mais dinâmico, significativo e alinhado às demandas contemporâneas. Ao incentivar a curiosidade, a autonomia e o pensamento crítico, essas abordagens permitem que os estudantes desenvolvam competências essenciais para a resolução de problemas e a inovação. Assim, o aprendizado deixa de ser um processo passivo e passa a ser uma experiência envolvente, na qual os alunos são protagonistas da própria construção do saber, preparando-se de maneira mais eficaz para os desafios acadêmicos, profissionais e sociais do século XXI.

Vale ressaltar que as habilidades do século XXI representam um conjunto de competências essenciais para a sociedade contemporânea, marcada pela digitalização e pela chamada Era da Informação. Entre essas habilidades, destacam-se o pensamento crítico e a resolução de problemas, a alfabetização digital e tecnológica, a colaboração, a comunicação eficaz, a criatividade, a inovação, o aprendizado contínuo, a responsabilidade social, a sustentabilidade e da consciência ambiental (GONZÁLEZ-SALAMANCA; AGUDELO; SALINAS, 2020; SKILLS, 2009; ALDO-SEMANI; LYTRAS, 2025). Esses elementos são fundamentais para a educação dos indivíduos diante dos desafios do mundo contemporâneo.

Capítulo 4

Percurso Metodológico

O cultivo de cogumelos em ambiente escolar apresenta desafios relacionados ao controle eficiente das condições ambientais, bem como à gestão dos materiais, da logística necessária e da escassa base de conhecimento, como discutido anteriormente. Nesse contexto, esse trabalho desenvolveu um equipamento projetado para proporcionar as condições de cultivo ideais para diversas espécies de cogumelos, com validação específica para o cultivo de shimeji, e permite a visualização do cultivo durante todo o processo produtivo sem influenciar as condições ambientais.

Portanto, foi inicialmente construído uma câmara de frutificação, seguida por um processo de produção de cogumelos para validar sua eficácia. Após a validação, desenvolveu-se uma aula prática baseada em metodologias investigativas, destinada a proporcionar aos alunos experiências práticas no cultivo de cogumelos em ambiente escolar. Para auxiliar na implementação dessa prática, foi elaborado um roteiro para o professor, que traça orientações iniciais sobre o cultivo. Esse material foi projetado para guiar a execução das atividades investigativas de modo a permitir que os professores guiem os alunos e incentivem que eles alterem e proponham novos meios e métodos de cultivo.

Capítulo 5

Resultados e Discussão

5.1 Câmara de Frutificação

A câmara de frutificação desenvolvida neste trabalho demonstrou eficácia no cultivo controlado do cogumelo *Pleurotus ostreatus* (shimeji branco) em ambientes urbanos, validando sua aplicação prática conforme os procedimentos experimentais e resultados descritos no Apêndice A. O sistema, composto por um refrigerador de porta de vidro adaptado, um controlador automatizado baseado em IoT e um umidificador, mostrou-se capaz de manter parâmetros críticos para o desenvolvimento dos cogumelos: temperatura estável ($18-25^{\circ}\text{C}$), umidade relativa ajustável ($90 \pm 8\%$) e aeração. Essas condições, monitoradas em tempo real, permitiram a colheita de basidiocarpos saudáveis e nutricionalmente aptos em ciclos de até 7 dias, compatíveis com os dados reportados na literatura.

A simplicidade na sua construção destaca seu potencial como ferramenta de cultivo e educativa para ambientes urbanos. Ao democratizar o acesso ao cultivo de cogumelos, o sistema viabiliza a integração de práticas agrícolas sustentáveis em escolas, comunidades e residências, servindo como plataforma interdisciplinar para discussões sobre biotecnologia, segurança alimentar e ciclos biogeoquímicos, alinhada a BNCC e os PNC que enfatizam a importância do aprendizado prático, investigativo e a interconexão entre diferentes áreas do conhecimento (ANDRADE; MASSABNI, 2011; BRITO *et al.*, 2024; SANTOS *et al.*, 2024). Além disso, a flexibilidade do dispositivo permite o cultivo de outras espécies de cogumelos comestíveis e medicinais (e.g., *Lentinula edodes* e *Ganoderma lucidum*), ampliando a biodiversidade cultivável e fortalecendo a resiliência alimentar em centros urbanos.

Do ponto de vista nutricional, a possível incorporação dos cogumelos frescos produzidos nas escolas na dieta escolar surge como uma possibilidade inovadora para suprir carências de micronutrientes (e.g., vitamina D e fibras) frequentemente negligenciados e mal distribuídos em cardápios escolares tradicionais (LEÃO *et al.*, 2019;

OLIVEIRA *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2023). A produção *in situ* em instituições de ensino pode reduzir custos logísticos, mas principalmente, conectar estudantes às etapas produtivas, estimulando a conscientização ambiental e a valorização de alimentos não convencionais. Ações práticas, como aulas de culinária e projetos de compostagem de resíduos do cultivo, também podem promover hábitos alimentares mais saudáveis e sustentáveis, alinhados aos ODS (Tabela 2.1).

5.2 Aula Prática Investigativa

Este trabalho propõe uma atividade experimental que utiliza metodologias abertas para promover competências e reflexões críticas sobre sustentabilidade e economia circular. A atividade, centrada no cultivo de cogumelos em substratos alternativos, visa consolidar conceitos biológicos e químicos, e também estimular a análise crítica de modelos de produção alimentar e do nosso modo de consumo. A abordagem, detalhada no Apêndice C, estrutura uma aula baseada em um planejamento experimental colaborativo, execução experimental e análise crítica dos resultados. As principais etapas da aula experimental estão descritas na Figura 5.1 e os procedimentos metodológicos no Tópico A.1.3. Acreditamos que a flexibilidade metodológica e a necessária integração interdisciplinar desta proposta a tornam um instrumento pedagógico eficaz, desde que adaptada às realidades estruturais das escolas brasileiras.

O Apêndice B, intitulado Material de Apoio, foi elaborado para orientar a construção deste trabalho, além de servir como recurso de apoio para que os professores possam planejar e construir a aula prática. A abertura do planejamento permite aos alunos selecionarem resíduos orgânicos (e.g., borra de café, papelão e gramíneas) para composição do substrato (Apêndice B). Ao transferir aos estudantes a responsabilidade pela escolha de materiais, a atividade estimula a criatividade, a pesquisa ativa e – principalmente - desloca o olhar para o descarte de resíduos e suas possíveis utilizações. Essa autonomia, entretanto, exige suporte teórico prévio: aulas introdutórias sobre micologia dos cogumelos, ciclos biogeoquímicos e economia circular são essenciais para fundamentar decisões práticas. A mediação do professor é crucial para equilibrar liberdade e rigor, evitando que os objetivos e metas da atividade sejam comprometidos.

Nesse contexto, a proposta reflete os princípios das metodologias ativas, como enfatizado por autores como Lovato, Michelotti e Loreto (2018), Morgan (2019) e Diesel, Baldez e Martins (2017), que defendem a construção ativa do conhecimento a partir da interação do aluno com o ambiente e as experiências. A liberdade de escolha dos materiais no experimento e a necessidade de adaptação dos alunos ao contexto experimental se alinham com a ideia de que o aprendizado é um processo

Figura 5.1: Etapas do cultivo de cogumelos.



Fonte: Própria (2025)

dinâmico, moldado pela participação ativa do aluno, conforme discutido no referencial teórico. A atividade se insere no conceito de aprendizagem ativa, onde os alunos não são receptores passivos, mas agentes ativos que, ao tomar decisões e realizar experimentos, constroem seu próprio entendimento coletivamente.

Durante a execução dos experimentos, que inclui inoculação do micélio e monitoramento da frutificação, são incentivadas e desenvolvidas as habilidades de observação e registro sistemático (e.g., controle de umidade, temperatura, contaminações). A análise comparativa de substratos, por sua vez, permite discutir variáveis como eficiência produtiva, integrando conceitos de bioquímica e microbiologia. O componente de sustentabilidade emerge como eixo central quando os alunos confrontam a viabilidade de transformar resíduos em biomassa comestível, questionando – principalmente – paradigmas da economia linear de produção. Ao envolver os estudantes na solução de problemas reais, a atividade promove a reflexão crítica e permite que os alunos relacionem teoria e prática, integrando os conceitos de biologia, química e sustentabilidade de forma concreta. Essa abordagem está em sintonia com as ideias de CUNHA *et al.* (2024) e Rodrigues e Santos (2024), que afirmam que metodologias ativas ajudam a promover um aprendizado mais engajado e significativo,

estimulando o desenvolvimento de habilidades essenciais para o século XXI.

O objetivo e a descrição do roteiro do professor foram construídos com a intenção de prover uma base para que o professor consiga se guiar na construção da sua aula e consiga proporcionar uma experiência prática e teórica no cultivo de cogumelos, utilizando substratos alternativos encontrados nas casas e escolas dos alunos. Cada atividade foi pensada para estimular o pensamento crítico e a compreensão sobre economia circular e sustentabilidade na produção de alimentos. A escolha dos substratos desempenha um papel fundamental na promoção da conscientização sobre sustentabilidade e economia circular, ao instigar os alunos a identificar, em seu entorno, resíduos com potencial de serem transformados em recursos para a produção de alimentos. Esse redirecionamento do olhar discente para a investigação crítica dos resíduos busca fomentar uma percepção ativa e reflexiva sobre o ambiente, incentivando a busca por alternativas sustentáveis e a redução da geração de lixo. Trata-se de um processo de desnaturalização da noção convencional de resíduo como descarte, promovendo sua ressignificação enquanto insumo produtivo dentro de uma lógica ecologicamente orientada. A análise e discussão dos resultados devem promover a reflexão crítica e o pensamento analítico. Comparar a eficácia dos diferentes substratos permite que os alunos avaliem o impacto das variáveis experimentais e discutam os desafios e sucessos do experimento. Embora essa abordagem seja importante, ampliar o conhecimento sobre os fungos e suas aplicações e seu papel na sustentabilidade parece ser o principal objetivo a ser atingido com essa atividade investigativa. Nos parece importante que a apresentação final dos alunos inclua um relatório e uma apresentação formal dos resultados, enfatizando a importância da reutilização de resíduos no cultivo de cogumelos. Assim, a proposta pedagógica é abrangente, integrando biologia, química e questões ambientais, e busca estimular o interesse dos alunos pelas ciências e práticas sustentáveis.

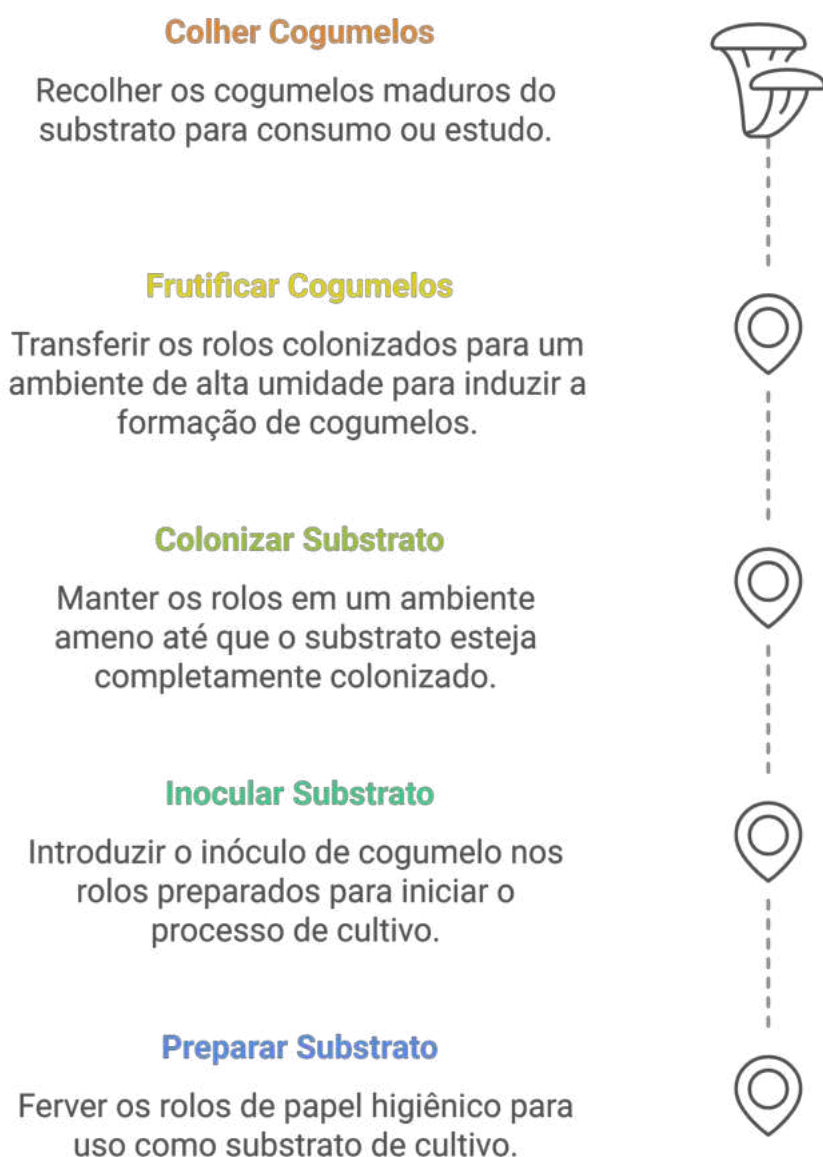
5.3 Desafios e Proposta de Adaptação

A implementação da atividade em sua forma original enfrenta limitações logísticas-econômicas. A esterilização do substrato em autoclave e a manipulação em fluxo laminar, etapas críticas para diminuir as contaminações, restringem sua aplicação a instituições com infraestrutura laboratorial avançada, como institutos federais que representam menos de 3 % das escolas de ensino médio no Brasil (BRASIL, 2024). Essa dependência de equipamentos especializados exclui a maioria das escolas públicas de ensino básico, onde a ausência desses recursos impede a replicação da aula prática na sua totalidade.

Para superar essa barreira, propomos uma aula prática alternativa, baseada na diminuição da carga microbiana de papelão ou papel higiênico em água fervente,

seguida de inoculação, como proposto por Llana (2023). As etapas experimentais estão descritas na Figura 5.2 e são complementadas através do Tópico A.1.3. Apesar da menor eficiência comparada à esterilização, essa adaptação mantém o cerne pedagógico: os alunos observam a decomposição de resíduos e o crescimento fúngico, além de permitir que os alunos discutam as possibilidades da economia circular na produção alimentar. A simplicidade do método amplia seu alcance, permitindo que escolas sem laboratórios realizem a produção de cogumelos, ainda que com limitações técnicas e de produtividade.

Figura 5.2: Etapas do cultivo de cogumelos em rolos de papel higiênico em sala de aula.



Fonte: Própria (2025)

A versão principal da atividade, embora tecnicamente robusta, é inviável para

a maioria das escolas brasileiras. Já a adaptação com redução da carga microbiana democratiza o acesso. Ambas as abordagens, contudo, buscam engajar os alunos em discussões sobre sustentabilidade, desde que mediadas por reflexão crítica. Portanto, defendemos que a flexibilização da atividade não diminui o valor educativo, mas o adapta a contextos reais. A prioridade deve ser a formação de cidadãos críticos, capazes de relacionar ciência, tecnologia e sociedade, mesmo em condições estruturais precárias.

Portanto, a prática investigativa de cultivo de cogumelos na câmara de frutificação e suas possíveis adaptações atendem aos objetivos da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), promovendo interdisciplinaridade entre Ciências da Natureza, Química e Biologia. Essa atividade busca desenvolver competências essenciais, como pensamento crítico e comunicação eficaz, ao desafiar os alunos a planejar experimentos, analisar dados e apresentar resultados. Os estudantes exploram a biologia dos fungos e aplicam conceitos de biotecnologia para transformar resíduos em alimento, compreendendo processos químicos de decomposição e ciclagem de nutrientes. A proposta também aborda a sustentabilidade, utilizando resíduos orgânicos, e desenvolve habilidades digitais por meio da integração de tecnologias da Internet das Coisas (IoT). Além disso, a prática incentiva o trabalho em equipe e a argumentação, criando um ambiente de aprendizado ativo. Coletar e analisar dados experimentais, assim como discutir temas relacionados à sustentabilidade, busca tornar o aprendizado mais significativo. Em resumo, a atividade prepara os alunos para desafios ambientais e sociais, promovendo a formação integral e alinhando-se às diretrizes da BNCC.

Capítulo 6

Considerações Finais

Nesse trabalho, foi desenvolvido um equipamento didático que possibilita a produção e aplicação de cogumelos em aulas práticas. As aulas práticas investigativas desenvolvidas buscam visibilizar a importância da sustentabilidade na produção de alimentos, destacando a versatilidade na utilização de fungos na alimentação e na economia circular. A aplicação da câmara de frutificação no ensino busca atingir diversos benefícios educacionais: promover o aprendizado ativo, desenvolver habilidades práticas, incentivar a inovação, sustentabilidade e o pensamento crítico. Ela também permite que alunos de áreas urbanas tenham contato com a produção de alimentos sustentáveis, ressaltando a relevância da sustentabilidade e da economia circular. Assim, a câmara de frutificação pode oferecer aos alunos uma experiência prática e direta na produção de alimentos em ambiente controlado, contribuindo para a promoção da sustentabilidade. A adoção de metodologias ativas pode potencializar esses benefícios, preparando os alunos para os desafios ambientais e tecnológicos do presente e do futuro. A implementação desse equipamento em ambientes escolares possivelmente enfrentará desafios, como a necessidade de treinamento adequado para professores, a adaptação do currículo e a disponibilidade de recursos humanos, financeiros e materiais. Superar esses obstáculos requer a colaboração entre instituições educacionais, empresas, governos e a comunidade.

Referências Bibliográficas

AGRAWAL, M. *et al.* Poster discussion session long term efficacy of psilocybin in patients with cancer and major depressive disorder (mdd). 2023.

AGUIAR, L. V. B. de *et al.* Production of commercial and amazonian strains of pleurotus ostreatus in plant waste / produção de linhagens comerciais e amazônicas de pleurotus ostreatus em resíduos de plantas. **Brazilian Journal of Development**, South Florida Publishing LLC, v. 8, p. 47299–47321, 6 2022.

AHMAD, I.; FUAD, I.; KHAN, Z. K. Mycelia growth of pink oyster (pleurotus djmour) mushroom in different culture media environmental factors. v. 2, p. 6–11, 2015. ISSN 2411-6653. Disponível em: <<http://www.asianonlinejournals.com/index.php/AESR>>.

AHMAD, Y. A. *et al.* On the evaluation of dht22 temperature sensor for iot application. In: **Proceedings of the 8th International Conference on Computer and Communication Engineering, ICCCE 2021**. [S.l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. p. 131–134. ISBN 9781728110646.

ALBERTIA, M. M. *et al.* Tecnologic development on pleurotus cultivation: Specific practices used in brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, FapUNIFESP (SciELO), v. 64, 2021. ISSN 1516-8913.

ALDOSEMANI, T.; LYTRAS, M. D. Charting new territories: A vision for 21st century learning. In: **Fostering Teacher Skills and Critical Thinking in Modern Education**. [S.l.]: IGI Global Scientific Publishing, 2025. p. 1–18.

ALVES, D. de O.; OLIVEIRA, L. de; MüHL, D. D. Commercial urban agriculture for sustainable cities. **Cities**, Elsevier Ltd, v. 150, 7 2024. ISSN 02642751.

AMAZONAS, M. A. L. de A.; SIQUEIRA, P. Champignon do brasil (agaricus brasiliensis): ciência, saúde e sabor. Colombo: Embrapa Florestas, 2003., 2003. ISSN 1517-526X.

AMSTERDAM, J. van; OPPERHUIZEN, A.; BRINK, W. van den. Harm potential of magic mushroom use: A review. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 59, p. 423–429, 4 2011. ISSN 02732300.

ANDRADE, M. L. F. de; MASSABNI, V. G. O desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para os professores de ciências. **Ciência Educação (Bauru)**, v. 17, p. 835–854, 2011. ISSN 1516-7313.

ANUSIYA, G. *et al.* **A review of the therapeutic and biological effects of edible and wild mushrooms.** [S.l.]: Taylor and Francis Ltd., 2021. 11239-11268 p.

ASSEMIE, A.; ABAYA, G. **The Effect of Edible Mushroom on Health and Their Biochemistry.** [S.l.]: Hindawi Limited, 2022.

ATILA, F. *et al.* The effect of different fruiting temperatures on the yield and nutritional parameters of some wild and hybrid hericium isolates. **Scientia Horticulturae**, Elsevier B.V., v. 280, 4 2021. ISSN 03044238.

AUSTIN, E. *et al.* Acute renal injury cause by confirmed psilocybe cubensis mushroom ingestion. **Medical Mycology Case Reports**, Elsevier B.V., v. 23, p. 55–57, 3 2019. ISSN 22117539.

BADALYAN, S. M. *et al.* Mushrooms as promising therapeutic resources: review and future perspectives. **Mushrooms with Therapeutic Potentials: Recent Advances in Research and Development**, Springer, p. 1–54, 2023.

BALDRIAN, P.; VALÁŠKOVÁ, V. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 32, p. 501–521, 5 2008. ISSN 1574-6976.

BARROS, M. O papel do tcu na implementação da agenda 2030 dos objetivos de desenvolvimento sustentável. **Revista do TCU**, p. 12–15, 2016. ISSN 2594-6501.

BARZEE, T. J. *et al.* Fungi for future foods. **Journal of Future Foods**, v. 1, p. 25–37, 9 2021. ISSN 27725669.

BHALERAO, V. K. *et al.* The mystical world of mushrooms. **Advancing Frontiers in Mycology Mycotechnology: Basic and Applied Aspects of Fungi**, Springer, p. 3–48, 2019. ISSN 9811393486.

BHAMBRI, A. *et al.* **Mushrooms as Potential Sources of Active Metabolites and Medicines.** [S.l.]: Frontiers Media S.A., 2022.

BLANCHETTE, R. A. Delignification by wood-decay fungi. 1991. Disponível em: <www.annualreviews.org>.

BLANCO, A.; BLANCO, G. **Medical biochemistry**. [S.l.]: Academic Press, 2017. ISBN 0128035870.

BRASIL. MEC e Inep divulgam resultados do Censo Escolar 2023. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/assuntos/noticias/censo-escolar/mec-e-inep-divulgam-resultados-do-censo-escolar-2023>>.

BRINKMAN, F.; MULDER, J. Mushrooms and the cycle of life: integrating literature and biology in secondary teacher education. **European Journal of Teacher Education**, Informa UK Limited, v. 19, p. 181–191, 1 1996. ISSN 0261-9768.

BRITO, A. R. dos S. *et al.* Interdisciplinaridade e bncc: Limites e perspectivas. **Revista ft**, v. 29, p. 07–08, 12 2024. ISSN 16780817.

CARDWELL, G. *et al.* **A review of mushrooms as a potential source of dietary vitamin D**. [S.l.]: MDPI AG, 2018.

CASTELLAR, S. M. V. Metodologias ativas: ensino por investigação. 2016.

CAVANNA, F. *et al.* Microdosing with psilocybin mushrooms: a double-blind placebo-controlled study. **Translational Psychiatry**, Springer Nature, v. 12, 12 2022. ISSN 21583188.

CHANG, H. H. *et al.* Oral administration of an enoki mushroom protein fve activates innate and adaptive immunity and induces anti-tumor activity against murine hepatocellular carcinoma. **International Immunopharmacology**, v. 10, p. 239–246, 2 2010. ISSN 15675769.

CHEN, L. *et al.* Research progress on indoor environment of mushroom factory. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Chinese Society of Agricultural Engineering, v. 15, p. 25–32, 2022. ISSN 19346352.

CHOI, S.-G. *et al.* Cultural characteristics and phylogenetic relationships based on rflp analysis in pleurotus species. **Journal of Mushroom**, The Korean Society of Mushroom Science, v. 12, p. 145–153, 9 2014. ISSN 1738-0294.

CLUB, W. M. **Calvatia cyathiformis | Western Pennsylvania Mushroom Club**. 2023. Disponível em: <<https://wpamushroomclub.org/product/calvatia-cyathiformis/>>.

CONN, H. “umami”: The fifth basic taste. **Nutrition Food Science**, v. 92, p. 21–23, 2 1992. ISSN 00346659.

COSTA, J.; FRENEDOZO, R. **Metodologias ativas nas atividades investigativas em aulas de biologia**. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado da Universidade Cruzeiro do Sul, 2020.

COURTNEY, R. G.; MULLEN, G. J. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 2913–2918, 5 2008. ISSN 09608524.

CUNHA, M. B. D. *et al.* Metodologias ativas: em busca de uma caracterização e definição. **Educação em Revista**, SciELO Brasil, v. 40, p. e39442, 2024.

DAILY, A. **8 Biodegradable Materials the Construction Industry Needs to Know About | ArchDaily**. 2023. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/893552/8-biodegradable-materials-the-construction-industry-needs-to-know-about>>.

DARé, B. L. *et al.* Magic truffle intoxication: A case report. **Emergency Care Journal**, PAGEPress Publications, v. 18, 6 2022. ISSN 1826-9826.

DEVI, R. *et al.* Lignocellulolytic enzymes and bioethanol production from spent biomass of edible mushrooms using *saccharomyces cerevisiae* and *pachysolen tannophilus*. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022. ISSN 21906823.

_____. Fungal secondary metabolites and their biotechnological applications for human health. In: _____. **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**. [S.l.]: Elsevier, 2020. p. 147–161.

DIAS, E. S. Mushroom cultivation in brazil: challenges and potential for growth. **Ciência e Agrotecnologia**, SciELO Brasil, v. 34, p. 795–803, 2010. ISSN 1413-7054.

DIESEL, A.; BALDEZ, A. L. S.; MARTINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268–288, 2017.

DREAMSTIME. **Massagem de grãos de malte moídos para preparação de malte. processo de produção de grãos de cevada**. 2024. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/processo-de-produ%C3%A7%C3%A3o-gr%C3%A3os-cevada-massagem-malte-mo%C3%ADdos-para-prepara%C3%A7%C3%A3o-image265586207>>.

D’SOUZA, V. M.; BHALLA, R. Controlled environment agriculture: An opportunity for customizing secondary metabolite production. In: _____.

Phytopharmaceuticals and Biotechnology of Herbal Plants. [S.l.]: CRC Press, 2022. p. 65–80.

ELHUSSEINY, S. M. *et al.* Immunomodulatory activity of extracts from five edible basidiomycetes mushrooms in wistar albino rats. **Scientific Reports**, Nature Research, v. 12, 12 2022. ISSN 20452322.

ELIAS, C. L.; LEMOS, A. S. *et al.* As premissas construcionistas de seymour papert e a computação na educação básica: O que o passado nos ensina? **SciELO Preprints**, 2024.

ELISASHVILI, V. *et al.* Lignocellulolytic enzyme activity during growth and fruiting of the edible and medicinal mushroom *pleurotus ostreatus* (jacq.:fr.) kumm. (agaricomycetidae). **International Journal of Medicinal Mushrooms**, Begell House, v. 5, p. 6, 2003. ISSN 1521-9437.

FALCÃO, M. *et al.* Oficina pedagógica como ferramenta de ensino na micologia: Aprendendo a cultivar cogumelos comestíveis. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, 2021.

FARMS, F. **Freight Farms vs. Traditional School Gardens: A Comparative Analysis**. 2024. Disponível em: <<https://www.freightfarms.com/blog/freight-farms-school-gardens>>.

FATIMAH, H.; YAMTINAH, S.; BRAMASTIA, B. Study of ecology and biodiversity learning based on project based learning-science technology engineering mathematics (pjbl-stem) in empowering students' critical thinking. **JPPIPA (Jurnal Penelitian Pendidikan IPA)**, 2023.

FINIMUNDI, J. M. Produção de cogumelos comestíveis e fenol-oxidases de *pleurotus sajor-caju* e *lentinula edodes* em resíduos lignocelulósicos. 2011.

FLURKEY, W. H.; INLOW, J. K. Use of mushroom tyrosinase to introduce michaelis-menten enzyme kinetics to biochemistry students. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, John Wiley and Sons Inc., v. 45, p. 270–276, 5 2017. ISSN 15393429.

FOREST, F. **Gnoderma lucidum**. 2023. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/cdn.fieldforest.net/images/popup/reishi-logs-1.jpg>>.

FUKUDA-PARR, S. Sustainable development goals (sdgs) and the promise of a transformative agenda. In: _____. **International Organization and Global Governance**. [S.l.]: Routledge, 2023. p. 708–723.

FURLANI, R. P. Z.; GODOY, H. T. Nutritional value of edible mushrooms. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 154–157, 2007. ISSN 1678457X.

GAITÁN-HERNÁNDEZ, R. *et al.* Bioconversion of agrowastes by *lentinula edodes*: The high potential of viticulture residues. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 71, p. 432–439, 7 2006. ISSN 01757598.

GANUZA, M.; MEJIA, S. J.; ALBERTÓ, E. Reutilization of brewer's spent grain as spent mushroom substrate for the generation of biogas in a semi-continuous digester. **Waste and Biomass Valorization**, Springer Science and Business Media B.V., 2023. ISSN 1877265X.

GAO, Y. *et al.* A phase i/ii study of a *ganoderma lucidum* (curt.: Fr.) p. karst.(ling zhi, reishi mushroom) extract in patients with chronic hepatitis . **International Journal of Medicinal Mushrooms**, Begel House Inc., v. 4, 2002. ISSN 1521-9437.

GIRMAY, Z. *et al.* Growth and yield performance of *pleurotus ostreatus* (jacq. fr.) kumm (oyster mushroom) on different substrates. **AMB Express**, Springer Verlag, v. 6, 12 2016. ISSN 21910855.

GOMES, D. *et al.* Censo paulista de produção de cogumelos comestíveis e medicinais. **Pesquisa Tecnologia**, 2016.

GONE71. **WOOD EAR | AURICULARIA AURICULA-JUDAE**. 2024. Disponível em: <<https://www.gone71.com/edible-mushrooms/wood-ear-auricularia-auricula-judae/>>.

GONZÁLEZ-SALAMANCA, J. C.; AGUDELO, O. L.; SALINAS, J. Key competences, education for sustainable development and strategies for the development of 21st century skills. a systematic literature review. **Sustainability**, MDPI, v. 12, n. 24, p. 10366, 2020.

GOODWIN, G. M. *et al.* Psilocybin for treatment resistant depression in patients taking a concomitant ssri medication. **Neuropsychopharmacology**, Springer Nature, v. 48, p. 1492–1499, 9 2023. ISSN 1740634X.

GORAI, B.; SHARMA, R. Determination of optimum temperature and ph for mycelial growth of *pleurotus*spp/strains. **Indian J. Med. Res**, v. 10, p. 0975–5276, 2018.

GREENS, P. **Container Farm Lessons for Elementary School Students**. 2024. Disponível em: <<https://puregreensaz.com/blog/elementary-school-indoor-farms/>>.

- GRIMM, D.; WÖSTEN, H. A. **Mushroom cultivation in the circular economy**. [S.l.]: Springer Verlag, 2018. 7795-7803 p.
- GROWTAINERS. **Container Farming: Cultivating Futures through Innovative Learning**. 2024. Disponível em: <<https://growtainers.com/container-farming/>>.
- GÓMEZ-VILLARINO, M. T.; BRIZ, T. With sustainable use of local inputs, urban agriculture delivers community benefits beyond food. **California Agriculture**, v. 76, 2022. ISSN 0008-0845.
- HABOWSKI, A. C.; CONTE, E.; TREVISAN, A. L. Por uma cultura reconstrutiva dos sentidos das tecnologias na educação. **Educação Sociedade**, SciELO Brasil, v. 40, 2019. ISSN 1678-4626.
- HAN, J. *et al.* Effects of different carbon and nitrogen ratios on yield, nutritional value, and amino acid contents of flammulina velutipes. **Life**, v. 14, p. 598, 5 2024. ISSN 2075-1729.
- HARADA-PADERMO, S. dos S. *et al.* Umami ingredient: Flavor enhancer from shiitake (*lentinula edodes*) byproducts. **Food Research International**, Elsevier Ltd, v. 137, 11 2020. ISSN 18737145.
- HARITH, N.; ABDULLAH, N.; SABARATNAM, V. Cultivation of flammulina velutipes mushroom using various agro-residues as a fruiting substrate. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Embrapa, v. 49, p. 181–188, 2014. ISSN 16783921.
- HARMS, H.; SCHLOSSER, D.; WICK, L. Y. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, p. 177–192, 3 2011. ISSN 1740-1526.
- HAWKSWORTH, D. L.; LÜCKING, R. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. **Microbiology Spectrum**, v. 5, 8 2017. ISSN 2165-0497.
- HEIJDEN, M. G. A. V. D.; HORTON, T. R. Socialism in soil? the importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 97, p. 1139–1150, 11 2009. ISSN 0022-0477.
- HELDING, L. Howard gardner's theory of multiple intelligences. **Journal of Singing**, v. 66, n. 2, 2009.
- HONYIGLO, E. *et al.* Unpredictable behavior under the influence of “magic mushrooms”: A case report and review of the literature. **Journal of Forensic Sciences**, Blackwell Publishing Inc., v. 64, p. 1266–1270, 7 2019. ISSN 15564029.

HU, Y. *et al.* Effects and mechanism of the mycelial culture temperature on the growth and development of *pleurotus ostreatus* (jacq.) p. kumm. **Horticulturae**, MDPI, v. 9, 1 2023. ISSN 23117524.

HUB, S. **Magic Mushrooms Types: Inocybe Species**. 2023. Disponível em: <<https://www.shroomhub.io/magic-mushrooms-types-inocybe-species/>>.

HUSSAIN, S. *et al.* Traditional uses of wild edible mushrooms among the local communities of swat, pakistan. **Foods**, MDPI, v. 12, 4 2023. ISSN 23048158.

JANG, K.-Y. *et al.* Characterization of fruitbody morphology on various environmental conditions in *pleurotus ostreatus*. **Mycobiology**, Mycobiology (KAMJE), v. 31, p. 145, 2003. ISSN 1229-8093.

JASINGHE, V. J.; PERERA, C. O. Ultraviolet irradiation: The generator of vitamin d2 in edible mushrooms. **Food Chemistry**, v. 95, p. 638–643, 4 2006. ISSN 03088146.

JO, W.-S.; HOSSAIN, M. A.; PARK, S.-C. Toxicological profiles of poisonous, edible, and medicinal mushrooms. **Mycobiology**, Taylor & Francis, v. 42, n. 3, p. 215–220, 2014.

JOHAN, C. S. *et al.* Promovendo a aprendizagem sobre fungos por meio de atividades práticas. **Ciência e Natura**, Universidad Federal de Santa Maria, v. 36, 11 2014. ISSN 0100-8307.

JOSHI, K.; MEHER, M. K.; POLURI, K. M. Fabrication and characterization of bioblocks from agricultural waste using fungal mycelium for renewable and sustainable applications. **ACS Applied Bio Materials**, American Chemical Society, v. 3, p. 1884–1892, 4 2020. ISSN 25766422.

KEEGAN, R. J. H. *et al.* Photobiology of vitamin d in mushrooms and its bioavailability in humans. **Dermato-Endocrinology**, v. 5, p. 165–176, 1 2013. ISSN 19381972.

KHAN, M. W. *et al.* **EFFECT OF DIFFERENT LEVELS OF LIME AND PH ON MYCELIAL GROWTH AND PRODUCTION EFFICIENCY OF OYSTER MUSHROOM (PLEUROTUS SPP.)**. [S.l.], 2013. v. 45, 297-302 p.

KIM, D. W. *et al.* Chapter 62 - phases of clinical trials: overview. In: _____. **Translational Radiation Oncology**. Academic Press, 2023. p. 369–375. ISBN 978-0-323-88423-5. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323884235000339>>.

- KOZARSKI, M. *et al.* **Antioxidants of edible mushrooms**. [S.l.]: MDPI AG, 2015. 19489-19525 p.
- KUMANAYA, D. R. G.; RUGAI, T. D. A. S.; BONINI, L. M. A cultura e a territorialidade do cultivo de cogumelos em mogi das cruces. **Revista Eletrônica Anima Terra, Mogi das Cruzes-SP**, v. 7, p. 1–13, 2018. ISSN 2526-1940.
- KURTZMAN, R. H. **Ventilation and mushrooms** *Micol.* [S.l.], 2010. v. 22, 63-78 p. Disponível em: <www.micaplint.com>.
- LEE, K. K. *et al.* Biosorption of synthetic dye by macrofungi. **Industrial and Domestic Waste Management**, Tecno Scientifica Publishing, v. 2, p. 61–70, 10 2022.
- LEE, S.-W.; CHO, Y.-S. Historical and current perspective of oyster mushroom (*pleurotus ostreatus*) cultivation in south korea. **Asian Journal of Advances in Agricultural Research**, Sciencedomain International, p. 33–41, 11 2021.
- LEÃO, P. V. *et al.* Análise dos cardápios elaborados em um município do nordeste paraense. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 27, p. 264–271, 9 2019. ISSN 2358-291X.
- LIN, R. *et al.* Responses of the mushroom *pleurotus ostreatus* under different co2 concentration by comparative proteomic analyses. **Journal of Fungi**, v. 8, p. 652, 6 2022. ISSN 2309-608X.
- LINDEQUIST, U.; NIEDERMEYER, T. H.; JÜLICH, W. D. **The pharmacological potential of mushrooms**. 2005. 285-299 p.
- LIU, T. Digital-output relative humidity temperature sensor/module dht22 (dht22 also named as am2302). **Aosong Electronics**. [En línea]. Disponible: [https://www. sparkfun. com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22](https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22), 2013.
- LIU, Y. *et al.* Immunomodulating activity of *agaricus brasiliensis* ka21 in mice and in human volunteers. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, v. 5, p. 205–219, 6 2008. ISSN 1741427X.
- LLANA, M. dela. **Hi everyone! I've been waiting and am so excited to finally share this... | the last of us mushroom | TikTok**. 2023. Disponível em: <<https://www.tiktok.com/@learntogrow1/video/7193952449906887979?lang=en>>.
- LOVATO, F. L.; MICHELOTTI, A.; LORETO, E. L. da S. Metodologias ativas de aprendizagem: uma breve revisão. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 2, 2018.

MALHI, G. S.; KAUR, M.; KAUSHIK, P. **Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review**. [S.l.]: MDPI, 2021. 1-21 p.

MARKOVIC, M. *et al.* Growth conditions of mycelium medicinal mushroom *lentinula edodes* (berk.) pegl. in the substrate colonization phase. **Scientific Research and Essays**, Academic Journals, v. 6, p. 4133–4140, 9 2011. ISSN 19922248.

MCCLINTOCK, N. Why farm the city? theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 3, p. 191–207, 2010. ISSN 17521378.

MCKINNEY, L. **The Effectiveness of Project-Based Learning in a Junior High Science Classroom**. Dissertação (Mestrado) — Utah Valley University, 2023.

MFRURAL. **Sabugo e palha de milho secos**. 2019. Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/338707/sabugo-de-milho>>.

MILES, P. G.; CHANG, S.-T. **Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact**. [S.l.]: CRC press, 2004. ISBN 0203492080.

MORGAN. Do homo oeconomicus ao sujeito de desempenho: trajetória do sujeito no modelo neoliberal nos pensamentos de foucault e byung-chul han from. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, p. 1689–1699, 2019. ISSN 1098-6596.

MUSH, G. **Global Mushrooms Growing Process**. 2024. Disponível em: <<https://www.globalmush.com/process.html>>.

MUSHROOM, P. **Split gill (*Schizophyllum commune*) - Picture Mushroom**. 2023. Disponível em: <https://picturemushroom.com/wiki/Schizophyllum_communne.html>.

MUSHROOM, V. **AGARICUS BLAZEI – Medicinal mushrooms with a high concentration of active ingredients**. 2023. Disponível em: <<https://www.virtusmushroomusa.com/mycotherapy/properties-of-mushrooms/agaricus-blazei/>>.

MYCELIA. **Flammulina velutipes | Mycelia**. 2023. Disponível em: <<https://mycelia.be/m4622-flammulina-velutipes/>>.

NARRATIVE, F. F. **FungiFriday Gravitropism in fungi (Flammulina velutipes)**. 2023. Disponível em: <<https://www.forestfloornarrative.com/blog/2017/11/10/fungifriday-gravitropism-in-fungi-flammulina-velutipes>>.

NASHIRUDDIN, N. I. *et al.* Effect of growth factors on the production of mycelium-based biofoam. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, v. 24, p. 351–361, 1 2022. ISSN 16189558.

NHAMO, G.; TOGO, M.; DUBE, K. **Sustainable Development Goals for Society Vol. 1: Selected Topics of Global Relevance**. [S.l.]: Springer Nature, 2021. ISBN 3030709485.

NMOM, F. W.; AMADI, L. O.; NGEREBARA, N. N. Influences of light regimes on reproduction, germination, pigmentation, pathogenesis and overall development of a variety of filamentous fungi – a review. **Asian Journal of Biology**, Sciencedomain International, p. 25–34, 3 2021.

NOWYSZ, A. *et al.* **Urban Agriculture as an Alternative Source of Food and Water Security in Today's Sustainable Cities**. [S.l.]: MDPI, 2022.

OKUDA, Y. Sustainability perspectives for future continuity of mushroom production: The bright and dark sides. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Frontiers Media SA, v. 6, p. 1026508, 2022.

OLIVEIRA, A. F. S. de *et al.* Horta escolar como fonte de nutrientes, educação ambiental e ferramenta pedagógica. **Revista Extensão Cidadania**, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Edicoes UESB, v. 11, p. 111–130, 12 2023.

OLIVEIRA, E. C. V. de *et al.* School food in child daycare centers: Poor in macro and micronutrients. **Clinical Nutrition Open Science**, v. 43, p. 28–41, 6 2022. ISSN 26672685.

ORSINI, F. *et al.* **Urban agriculture in the developing world: A review**. 2013. 695-720 p.

PANDA, S. K. *et al.* **Anticancer Activities of Mushrooms: A Neglected Source for Drug Discovery**. [S.l.]: MDPI, 2022.

PAPERT, S. A máquina das crianças: Repensando a escola na era da informática (edição revisada). **Porto Alegre, RS: Editora Artmed**, 2007.

PARK, S. E. *et al.* Antitumor activity of water extracts from cordyceps militaris in nci-h460 cell xenografted nude mice. **JAMS Journal of Acupuncture and**

Meridian Studies, Korean Pharmacopuncture Institute, v. 2, p. 294–300, 2009. ISSN 20052901.

PASSIE, T.; GUSS, J.; KRÄHENMANN, R. **Lower-dose psycholytic therapy – A neglected approach**. [S.l.]: Frontiers Media S.A., 2022.

PASSIE, T. *et al.* **The pharmacology of psilocybin**. 2002. 357-364 p.

PATEL, D. K. *et al.* **Mushroom-derived bioactive molecules as immunotherapeutic agents: A review**. [S.l.]: MDPI AG, 2021.

PATEL, S.; GOYAL, A. Recent developments in mushrooms as anti-cancer therapeutics: a review. **3 Biotech**, Springer Science and Business Media LLC, v. 2, p. 1–15, 3 2012. ISSN 2190-572X.

PAZ, G. Á. de *et al.* World of fungi and fungal ecosystems. In: **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering**. [S.l.]: Elsevier, 2023. p. 1–29.

PEDRO, A. M.; HAYASHI, C. **POLÍTICA NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL (PNEA): AGRICULTURA E SUSTENTABILIDADE SOCIAMBIENTAL**. [S.l.], 2024. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/5356706616713297>>.

PELET. **Como Produzir Serragem em Pelete**. 2020. Disponível em: <<https://www.pelet.com.br/como-produzir-serragem-em-pelete/>>.

PIAGET, J. **L'epistemologia genetica**. [S.l.]: Edizioni Studium Srl, 2016.

PODKOWA, A. *et al.* Culinary–medicinal mushrooms: a review of organic compounds and bioelements with antioxidant activity. **European Food Research and Technology**, Springer, v. 247, p. 513–533, 2021. ISSN 1438-2377.

POSEY, E. A.; BAZER, F. W.; WU, G. Amino acids and their metabolites for improving human exercising performance. **Amino Acids in Nutrition and Health: Amino Acids in Gene Expression, Metabolic Regulation, and Exercising Performance**, Springer, p. 151–166, 2021. ISSN 3030741796.

QIU, Z. *et al.* High temperature induced disruption of the cell wall integrity and structure in *pleurotus ostreatus* mycelia. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Springer Verlag, v. 102, p. 6627–6636, 8 2018. ISSN 14320614.

RAGAVEENA, S.; EDWARD, A. S.; SURENDRAN, U. **Smart controlled environment agriculture methods: a holistic review**. [S.l.]: Springer Science and Business Media B.V., 2021. 887-913 p.

- RAHI, D. K.; MALIK, D. Diversity of mushrooms and their metabolites of nutraceutical and therapeutic significance. **Journal of Mycology**, Hindawi, v. 2016, 2016. ISSN 2356-7481.
- RAMAN, J. *et al.* **Cultivation and Nutritional Value of Prominent Pleurotus Spp.: An Overview**. [S.l.]: Taylor and Francis Ltd., 2021. 1-14 p.
- REIS, E. E. dos; SCHENKEL, P. C.; CAMASSOLA, M. **Effects of bioactive compounds from Pleurotus mushrooms on COVID-19 risk factors associated with the cardiovascular system**. [S.l.]: Elsevier (Singapore) Pte Ltd, 2022. 385-395 p.
- RODRIGUES, R. M.; SANTOS, N. N. d. L. dos. Active methodologies: Active methodologies as a pedagogical tool. **Revista Gênero e Interdisciplinaridade**, v. 5, n. 01, p. 395–412, 2024.
- ROZSA, M.; APAHIDEAN, M. Influence of temperature and ph level on mycelial growth in liquid cultures of cordyceps militaris mushroom mycelium. **Current Trends in Natural Sciences**, Asociatia Romana de Pteridologie, v. 9, p. 42–46, 12 2020.
- RóŻEWICZ, M.; WYZIŃSKA, M.; GRABIŃSKI, J. The most important fungal diseases of cereals—problems and possible solutions. **Agronomy**, v. 11, p. 714, 4 2021. ISSN 2073-4395.
- SAKAMOTO, Y. Influences of environmental factors on fruiting body induction, development and maturation in mushroom-forming fungi. **Fungal Biology Reviews**, Elsevier, v. 32, p. 236–248, 2018. ISSN 1749-4613.
- SALES-CAMPOS, C. *et al.* **Notas Científicas Crescimento micelial de Pleurotus ostreatus em resíduo de Simarouba amara**. [S.l.], 2008. 1633-1635 p.
- SANTOS, F. D. G. dos *et al.* A função social do ensino para a área das ciências da natureza e suas tecnologias na nova bncc do ensino médio. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, p. e6921, 12 2024. ISSN 1989-4155.
- SANTOS, T. D. dos *et al.* O ensino por investigaÇÃo e o processo da aprendizagem na perspectiva de piaget e vygotsky: Um estudo sobre os fungos. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, p. 142–164, 2021. ISSN 1982-2413.
- SARRIS, D. *et al.* Valorization of low-cost, carbon-rich substrates by edible ascomycetes and basidiomycetes grown on liquid cultures. **FEMS Microbiology Letters**, v. 367, 11 2020. ISSN 1574-6968.

- SAVITA; SHARMA, A. Fungi as biological control agents. In: _____. [S.l.: s.n.], 2019. p. 395–411.
- SILVA, A. D. C.; JUNIOR, N. M. Análise do conteúdo de fungos nos livros didáticos de biologia do ensino médio. **Revista Ciências Ideias** ISSN: **2176-1477**, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - IFRJ, v. 7, p. 235, 2 2017.
- SILVA, E. G. *et al.* **Chemical analysis of fructification bodies of *Pleurotus sajor-caju* cultivated in several nitrogen concentrations.** [S.l.], 2007. v. 27, 72-75 p.
- SILVA, J. A. *et al.* Adequacy of school menus and national school food program requirements: a systematic review. **Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil**, v. 23, 2023. ISSN 1806-9304.
- SILVA, W. L.; DERECHYNSKI, C. P. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do rio de janeiro. **Anuario do Instituto de Geociências**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, v. 37, p. 123–138, 2014. ISSN 19823908.
- SKILLS, P. for 21st C. **P21 framework definitions.** [S.l.]: ERIC Clearinghouse, 2009.
- SPRICIGO, R. Educação ambiental como fator predominante para inclusão de práticas sustentáveis e redução de danos ambientais. **Caderno Pedagógico**, South Florida Publishing LLC, v. 21, p. e4469, 6 2024.
- STAJIĆ, M.; GALIĆ, M.; ČILERDŽIĆ, J. Mushrooms—from traditional remedies to the modern therapeutics. In: _____. **Mushrooms with Therapeutic Potentials: Recent Advances in Research and Development.** [S.l.]: Springer, 2023. p. 147–188.
- SUDHEER, S. *et al.* Development of antler-type fruiting bodies of *ganoderma lucidum* and determination of its biochemical properties. **Fungal Biology**, Elsevier B.V., v. 122, p. 293–301, 5 2018. ISSN 18786146.
- SÁNCHEZ, C. **Reactive oxygen species and antioxidant properties from mushrooms.** [S.l.]: KeAi Communications Co., 2017. 13-22 p.
- TAFAKUR, T.; RETNAWATI, H.; SHUKRI, A. A. M. Effectiveness of project-based learning for enhancing students critical thinking skills: A meta-analysis. **JINoP (Jurnal Inovasi Pembelajaran)**, v. 9, n. 2, p. 191–209, 2023.

TANG, Q. *et al.* Responses of crop yield, soil fertility, and heavy metals to spent mushroom residues application. **Plants**, v. 13, p. 663, 2 2024. ISSN 2223-7747.

TARGINO, K. D.; TABOSA, W. A. F. **SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: HORTA ESCOLAR COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA**. [S.l.], 2024. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/6798832806464195>>.

THUY, Q. H. B.; SUZUKI, A. Technology of mushroom cultivation. **Vietnam Journal of Science and Technology**, Publishing House of Natural Science and Technology, VAST, v. 57, p. 265–286, 4 2019. ISSN 25252518.

TODAY, M. N. **Cordyceps in humans: Research and more**. 2023. Disponível em: <<https://www.medicalnewstoday.com/articles/cordyceps-in-humans#cordyceps-and-insects>>.

URBEN, A. F.; URBEN, A. F. Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde. Brasília, DF: Embrapa, 2017., 2017. ISSN 857035651X.

VAKSMAA, A. *et al.* Role of fungi in bioremediation of emerging pollutants. **Frontiers in Marine Science**, v. 10, 3 2023. ISSN 2296-7745.

VALVERDE, M. E.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, T.; PAREDES-LÓPEZ, O. **Edible mushrooms: Improving human health and promoting quality life**. [S.l.]: Hindawi Publishing Corporation, 2015.

VENTURELLA, G. *et al.* **Medicinal mushrooms: Bioactive compounds, use, and clinical trials**. [S.l.]: MDPI AG, 2021. 1-31 p.

VERMA, N.; JUJJAVARAPU, S. E.; MAHAPATRA, C. **Green sustainable biocomposites: Substitute to plastics with innovative fungal mycelium based biomaterial**. [S.l.]: Elsevier Ltd, 2023.

VETTER, J. **The Mushroom Glucans: Molecules of High Biological and Medicinal Importance**. [S.l.]: MDPI, 2023.

VIRIATO, V. *et al.* Organic residues from agricultural and forest companies in brazil as useful substrates for cultivation of the edible mushroom pleurotus ostreatus. **Letters in Applied Microbiology**, John Wiley and Sons Inc, v. 74, p. 44–52, 1 2022. ISSN 1472765X.

VIRTUALE, M. **Psilocybe cubensis: características, habitat, usos, cultivo - Maestrovirtuale.com**. 2024. Disponível em: <<https://maestrovirtuale.com/psilocybe-cubensis-caracteristicas-habitat-usos-cultivo/>>.

VOS, C. *et al.* Fungal (-like) biocontrol organisms in tomato disease control. **Biological Control**, v. 74, p. 65–81, 7 2014. ISSN 10499644.

WILLIAM. **Semente De Cogumelo Shimeji Branco.**

2023. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-826185988-semente-cogumelo-shimeji-entre-outros-_JM?matt_tool=63065976&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215534&matt_ad_group_id=154967598388&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=649487315911&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=703174676&matt_product_id=MLB826185988&matt_product_partition_id=1961862651521&matt_target_id=pla-1961862651521&cc_src=google_ads&cc_cmp=14302215534&cc_net=g&cc_plt=gp&gad_source=4&gclid=CjwKCAiA8NKtBhBtEiwAq5aX2I9CByjmRljQFFBcvjWJZNUPWvu3M6rosQQbnf_Xo5FKRiUVio2A9BoC_Q8QAvD_BwE>.

XIAOPING, C. *et al.* Free radical scavenging of ganoderma lucidum polysaccharides and its effect on antioxidant enzymes and immunity activities in cervical carcinoma rats. **Carbohydrate Polymers**, v. 77, p. 389–393, 6 2009. ISSN 01448617.

XIONG, S. *et al.* Energy-efficient substrate pasteurisation for combined production of shiitake mushroom (*lentinula edodes*) and bioethanol. **Bioresource Technology**, Elsevier Ltd, v. 274, p. 65–72, 2 2019. ISSN 18732976.

YAO, F. *et al.* Effect of different cooking methods on the bioactive components, color, texture, microstructure, and volatiles of shiitake mushrooms. **Foods**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), v. 12, 7 2023. ISSN 23048158.

YIN, H.; YI, W.; HU, D. **Computer vision and machine learning applied in the mushroom industry: A critical review.** [S.l.]: Elsevier B.V., 2022.

ZAWADZKA, A. *et al.* The effect of light conditions on the content of selected active ingredients in anatomical parts of the oyster mushroom (*pleurotus ostreatus* l.). **PLoS ONE**, Public Library of Science, v. 17, 1 2022. ISSN 19326203.

ZHANG, Y. *et al.* Cauliflower-shaped *pleurotus ostreatus* cultivated in an atmosphere with high environmental carbon dioxide concentration. **Mycologia**, v. 115, p. 153–163, 1 2023. ISSN 0027-5514.

ZHAO, K. *et al.* Design and experiment of the environment control system for the industrialized production of *agaricus bisporus*. **International Journal of**

Agricultural and Biological Engineering, Chinese Society of Agricultural Engineering, v. 14, p. 97–107, 1 2021. ISSN 19346352.

ZHAO, S. *et al.* **Immunomodulatory effects of edible and medicinal mushrooms and their bioactive immunoregulatory products**. [S.l.]: MDPI AG, 2020. 1-37 p.

ZURBANO, L.; BELLERE, A.; SAVILLA, L. Mycelial growth, fruiting body production and proximate composition of *pleurotus djamor* on different substrate. **CLSU International Journal of Science Technology**, Central Luzon State University International Affairs Office, v. 2, 3 2017.

ZĂGREAN, A. V.; NEAȚĂ, G.; STĂNCIULESCU, B. Influence of temperature on mycelial growth of some *pleurotus eryngii* and *lentinula edodes* strains in vitro. **Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture**, AcademicPres (EAP) Publishing House, v. 74, p. 81, 5 2017. ISSN 1843-5254.

Apêndice A

Construção da Câmara de Frutificação e Avaliação

A.1 Metodologias

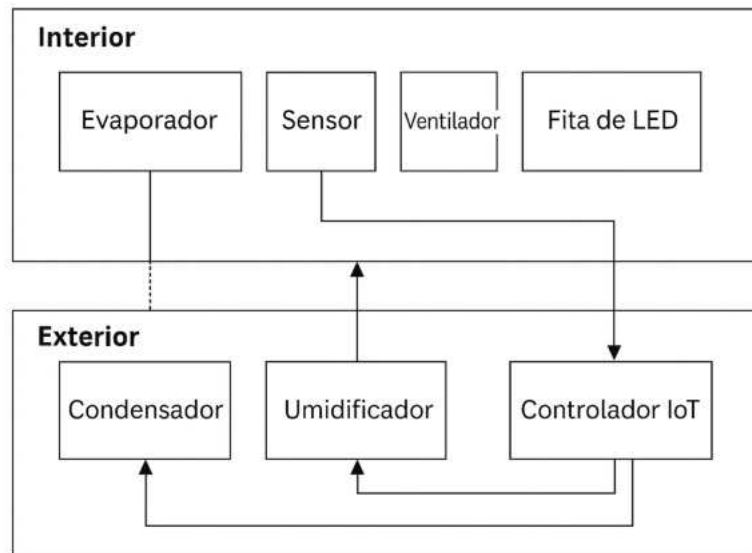
A.1.1 Construção da Câmara de Frutificação

Uma câmara de frutificação foi desenvolvida para o cultivo controlado de cogumelos em pequena escala, com condições de temperatura e umidade reguladas. Este sistema foi construído a partir de um refrigerador com portas de vidro equipado com iluminação LED. Modificações incluíram a instalação de um controlador de temperatura e umidade, que foi integrado ao motor do refrigerador e a um umidificador ultrassônico externo. Para a construção da câmara de frutificação, foram empregados diversos componentes. Um umidificador ultrassônico assegura a manutenção dos níveis de umidade adequados, enquanto a mangueira de silicone de 20 mm é utilizada para canalizar a névoa produzida para o interior da câmara. O flange de 25 mm serve para acoplar de forma segura a mangueira ao sistema. O sistema de controle e monitoramento baseado em IoT é composto por um microcontrolador ESP32, sensor DHT22, uma fonte de alimentação de 5 volts e dois módulos de relés, a sua construção é descrita detalhadamente no tópico A.1.2. Juntos, esses elementos compõem um sistema integrado que automatiza o controle do ambiente interno da câmara para o cultivo dos cogumelos. A Figura A.1 ilustra os equipamentos utilizados e o esquema de interação do sistema.

A.1.2 Sistema de Controle e Monitoramento IoT

A arquitetura do sistema baseado em IoT desenvolvido para o monitoramento e controle remoto dos parâmetros ambientais da câmara de frutificação, como temperatura e umidade relativa do ar, é descrito através de quatro camadas principais:

Figura A.1: Diagrama esquemático da câmara de frutificação com seu sistema de controle e monitoramento baseado em IoT. O controlador com Wi-Fi ESP32 atua como o processador central, possibilitando controle e monitoramento remoto. Os relays são responsáveis por acionar cargas mais pesadas quando necessário, como o sistema de refrigeração, composto pelo condensador e evaporador, e o sistema de umidificação. O Sensor de temperatura e umidade monitora as condições ambientais e se comunica com o controlador. O sistema de ventilação e iluminação estão conectados diretamente a alimentação do sistema funcionando constantemente.



Fonte: Própria (2024)

usuários e visualização de dados; hardware e controle; controle ambiental. A estrutura das camadas do sistema IoT está esquematizada na Figura A.2.

A base deste sistema consiste no uso do microcontrolador ESP32, um dispositivo amplamente adotado em aplicações IoT, que é integrado ao módulo de sensor de temperatura e umidade DHT22. Este sensor é um componente digital que opera eficientemente em um espectro de umidade de 0 a 100% e em uma faixa de temperatura de -40 a 80 °C. Destaca-se por sua alta precisão, mantendo uma acuracidade de $\pm 0,5$ °C para medições de temperatura e de $\pm 2\%$ para medições de umidade (AHMAD *et al.*, 2021; LIU, 2013).

O microcontrolador ESP32 é o responsável por processar os dados coletados pelo sensor DHT22 e, com base em uma lógica programada, gerencia os dispositivos conectados, como o sistema de resfriamento e o umidificador ultrassônico da câmara de frutificação. Estes são operados por relés que integram o sistema de controle. O código desenvolvido para este projeto implementa um algoritmo simples baseado em lógica booleana para ativar ou desativar o sistema de resfriamento e umidificação, conforme ilustrado na Figura A.3, que apresenta o loop de controle de temperatura e umidade.

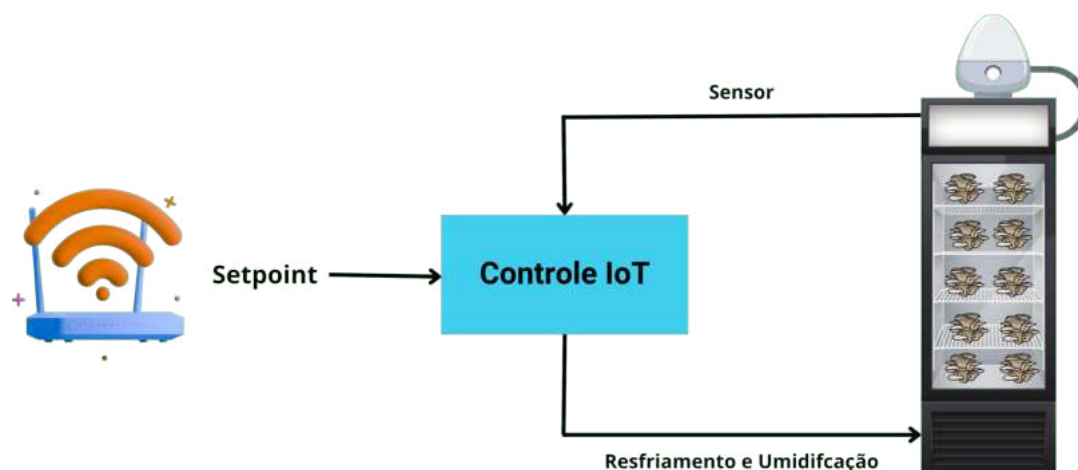
Figura A.2: Diagrama do sistema de controle ambiental baseado em IoT exibindo as camadas de interação do usuário e visualização de dados, camada de comunicação, componentes de hardware e ambiente controlado de cultivo de cogumelos.



Fonte: Própria (2024)

O sistema foi projetado para se conectar à internet através de rede WiFi, possibilitando o envio e recebimento contínuo de dados para uma plataforma na nuvem, especificamente a plataforma *IoT Cloud* da Arduino. Esta plataforma *online* armazena e transmite as informações sobre as condições ambientais da câmara de cultivo e os valores definidos pelo usuário de temperatura e umidade. Os dados podem ser acessados, modificados e analisados tanto em tempo real quanto posteriormente. A frequência de transmissão dos dados foi configurada para intervalos mínimos de 30

Figura A.3: Diagrama do loop de controle de temperatura e umidade baseado em internet das coisas.



Fonte: Própria (2024)

segundos, assegurando uma atualização constante dos dados do ambiente. Os dados coletados foram submetidos à análise estatística para verificar a eficácia do sistema e ajustar parâmetros conforme necessário.

A.1.3 Cultivo de cogumelos *Pleurotus ostreatus*

A eficácia da câmara foi testada cultivando a espécie de cogumelos popularmente comercializado. O *Pleurotus ostreatus* foi propagado em meio PDA por 14 dias a 25 °C até a completa colonização. Para a produção do inóculo, 1 kg de sorgo foi fervido em 1,5 L de água durante 30 minutos até os grãos incharem e atingirem 65% de umidade. Os grãos hidratados foram filtrados e suplementados com 2 % (m/m) de carbonato de cálcio e deixados esfriar em temperatura ambiente. Os grãos foram esterilizados em autoclave por 15 minutos a 1 atm em sacolas de polipropileno contendo 400 g de grãos. Cada sacola de polipropileno foi inoculada com dois discos de micélio de *Pleurotus ostreatus*, com 9 mm de diâmetro cada. As sacolas foram mantidas em câmara escura a 25 °C, até que os grãos fossem totalmente colonizados pelo fungo, o que ocorreu em aproximadamente 15 dias. O substrato de cultivo foi formulado com serragem de madeira *Pinus spp.* suplementado com 10 % (m/m) de farelo de milho e a umidade foi ajustada para 65% com adição de água. Os blocos de cultivo foram preparados com 1,5 kg de substrato úmido em sacolas de polipropileno (30 x 60 cm) e esterilizados por 1 hora a 1 atm. Os blocos foram inoculados com 10 % (m/m) de inóculo anteriormente preparados. Os blocos de cultivo foram mantidos em câmara escura a 25 °C até a completa colonização, que durou aproximadamente 15 dias. Os blocos de cultivo completamente colonizados foram transferidos para a câmara de frutificação e avaliados em diferentes temperaturas à 90% de umidade.

A.2 Resultados

O controlador desenvolvido foi implementado para alterar os parâmetros padrão do refrigerador, conectando-se diretamente ao motor e neutralizando o sistema de controle interno do aparelho. Tal modificação visa adequar o equipamento para a criação de uma câmara de frutificação, essencial para o cultivo de cogumelos em regiões com temperaturas ambientais elevadas. Esta câmara foi projetada para operar a temperaturas inferiores às do ambiente externo, dado que seu funcionamento se baseia exclusivamente no resfriamento do espaço destinado ao cultivo. A implementação dessa câmara ocorreu no Brasil, especificamente na cidade do Rio de Janeiro, uma localidade que registra temperaturas mínimas de 23 a 24,5°C durante o verão e de 17,0 a 18,5°C no inverno (SILVA; DEREZYNSKI, 2014), com temperaturas máximas que excedem 40 °C na estação mais quente do ano, conforme monitorado e reportados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Entretanto, as temperaturas ótimas para a frutificação da maioria dos cogumelos comestíveis e medicinais amplamente comercializados são consideravelmente inferiores às temperaturas ambiente típicas do Rio de Janeiro ou a média nacional, conforme evidenciado nas Figuras B.17 e B.18. Essa observação destaca a importância de criar ambientes controlados para o cultivo de cogumelos no Brasil, utilizando câmaras refrigeradas que facilitam o cultivo eficaz dessas espécies em condições climáticas e localidades que normalmente não seriam favoráveis.

Com a instalação do controlador, foi possível garantir um controle eficaz da temperatura ao longo do ano, criando condições ideais para o desenvolvimento dos fungos, independentemente das flutuações climáticas externas. Além da temperatura, a ventilação e a umidade são componentes essenciais para a eficácia de uma câmara de cultivo, influenciando diretamente a produtividade (CHEN *et al.*, 2022). A falta de um sistema adequado de circulação, troca de ar e umidificação podem levar à acumulação de CO_2 e à distribuição desigual da temperatura e umidade, ambos prejudiciais à produtividade. Para contornar esse problema e garantir uma distribuição uniforme de ar úmido e fresco, foi implementado um sistema de umidificação integrado ao refrigerador, mediado por um ventilador posicionado na região da evaporado da câmara de frutificação. Esse sistema consiste na conexão de um umidificador ao refrigerador pela lateral, através de um tubo de silicone e um flange alinhados à altura do sistema de ventilação do refrigerador, conforme ilustrado na Figura A.4. Essa localização específica do furo foi escolhida estrategicamente para injetar uma corrente de ar úmido próximo do sistema de ventilação, permitindo a homogeneização da umidade de forma eficiente. Aproveitando a capacidade do refrigerador, que possui um sistema de ventilação interna amplo e eficiente, conseguimos não apenas homogeneizar temperatura e umidade rapidamente, mas também inte-

grar um fluxo constante de ar úmido, que renova o ar interno e uniformiza o ambiente dentro da câmara.

Figura A.4: Câmara de frutificação de cogumelos IoT construída a partir de um refrigerador de porta de vidros, um umidificador e um sistema de monitoramento e controle baseado em IoT.



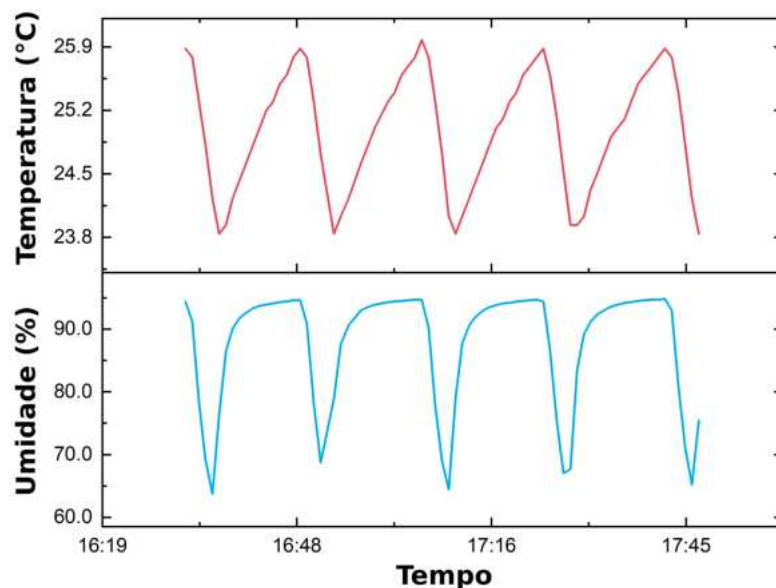
Fonte: Própria (2024)

Os parâmetros operacionais programados no controlador incluem um diferencial de controle (histerese) fixado em 2 °C, estabelecendo assim um intervalo de variação de temperatura em torno do valor desejado para evitar oscilações frequentes e desnecessárias no sistema de refrigeração. Este ciclo de curta duração foi projetado para assegurar que as gotículas de água dispersas sejam adequadamente absorvidas pelo ar, proporcionando uma distribuição homogênea de umidade sem exceder o limite estabelecido. Essas configurações foram submetidas a uma série de testes para verificar sua eficácia e, após ajustes baseados nos resultados observados, concluiu-se que esses parâmetros representam as melhores opções para manter condições ideais de cultivo.

Os dados obtidos pelo sistema de Internet das Coisas (IoT) durante o cultivo de cogumelos indicam que a câmara de frutificação foi bem ajustada para manter

uma temperatura constante de 25 °C e uma umidade relativa de 90 %. O gráfico da Figura A.5 demonstra 5 ciclos de esfriamento, revelando flutuações de temperatura e umidade dentro da incubadora ao longo do cultivo. Esses ciclos são explicados pois a incubadora possui um sistema de resfriamento eficiente, capaz de reduzir rapidamente a temperatura interna sempre que esta ultrapassa o limite máximo estabelecido pelo controlador, com uma diferencial de 2 °C. Após atingir esse ponto, a temperatura começa a aumentar gradualmente até atingir novamente o limite superior, o que gera um padrão cíclico de aquecimento. Este padrão ajuda a entender melhor as dinâmicas térmicas e de umidade essenciais para o cultivo ideal de cogumelos.

Figura A.5: Monitoramento da temperatura e umidade durante a frutificação de cogumelos a 25 °C e 90% de umidade.



Fonte: Própria (2024)

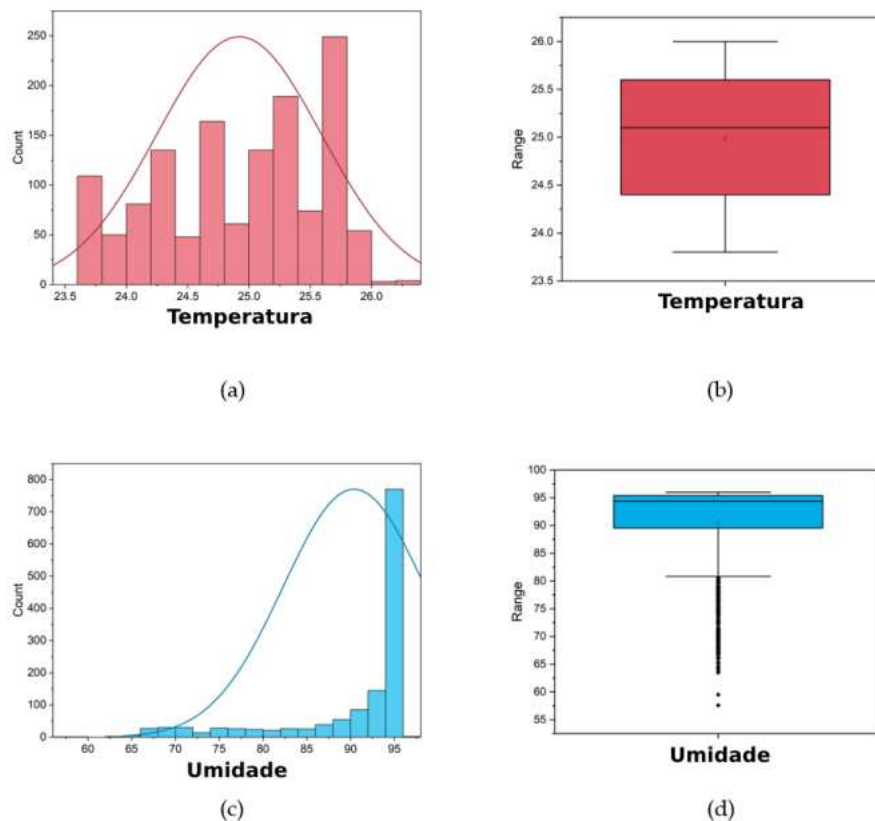
No que se refere à umidade relativa, observa-se uma queda significativa durante os períodos de resfriamento devido à condensação da água no evaporador interno do sistema de resfriamento, um fenômeno esperado em ambientes fechados e refrigerados. Contudo, o sistema de umidificação da incubadora atua prontamente para compensar essa perda, restabelecendo rapidamente a umidade ao nível desejado. Este ajuste fino da umidade é essencial, pois a manutenção de níveis adequados de umidade é crucial para evitar o ressecamento dos substratos e para promover um ambiente propício ao desenvolvimento dos cogumelos.

Esse processo cíclico se repete continuamente ao longo do período de frutificação, assegurando que as condições térmicas permaneçam dentro dos parâmetros ideais para o desenvolvimento dos cogumelos. Este mecanismo de controle de temperatura e umidade não apenas facilita a manutenção de um ambiente de cultivo estável, mas

também exemplifica a aplicação eficaz da tecnologia de IoT na agricultura controlada. Ao automatizar, controlar e monitorar a regulação do clima interno, o sistema garante a precisão necessária para fomentar um crescimento ideal dos cogumelos, minimizando intervenções manuais e maximizando a eficiência operacional.

As Figuras A.6a e b demonstram visualmente a análise estatística da temperatura durante um período de 24 horas de cultivo na câmara de frutificação. No histograma (Figura A.6a), o eixo X representa os valores de temperatura e o eixo Y a frequência de ocorrência de cada valor. Este gráfico mostra uma distribuição bem equilibrada, com uma baixa assimetria, indicando uma uniformidade notável na temperatura dentro da câmara. Já o box plot (Figura A.6b) detalha os pontos de dados estatísticos essenciais: o mínimo, o primeiro quartil, a mediana, o terceiro quartil e o máximo. A média da temperatura registrou-se em 25,0 °C com um desvio padrão de apenas 0,7 °C, evidenciando uma variação de temperatura entre 24,3 °C e 25,7 °C. Esses resultados confirmam que o sistema de resfriamento e ventilação foi eficaz em manter a temperatura dentro do intervalo operacional desejado, contribuindo para um ambiente de cultivo estável.

Figura A.6: Análises estatística dos dados de temperatura e umidade da câmara de frutificação no período de 24 horas.



Fonte: Própria (2024)

As Figuras A.6c e d ilustram a distribuição da umidade relativa do ar também

durante 24 horas de frutificação. O histograma (Figura A.6c) e o box plot (Figura A.6d) apresentam os valores de umidade, onde a média foi de 90% com um desvio padrão de 8%. A assimetria negativa observada nos dados sugere que a maioria dos valores de umidade ficou acima da média com uma variação abaixo, uma consequência efeito de redução de umidade associado ao resfriamento da câmara. Apesar disso, os dados revelam que a umidade se manteve próxima da média na maior parte do tempo, indicando que o sistema de umidificação compensou eficientemente a perda de umidade induzida pelo resfriamento do sistema.

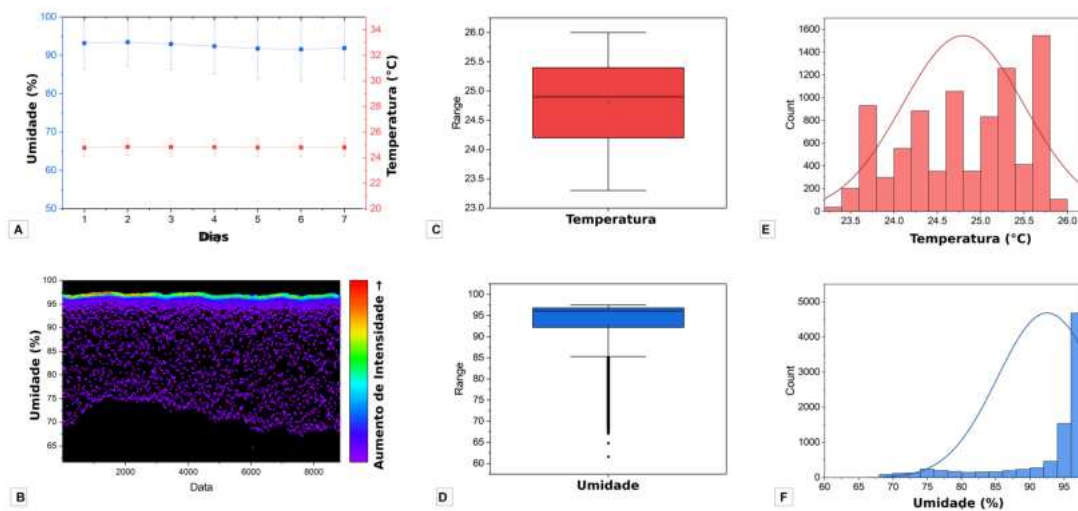
Este cultivo também foi monitorado ao longo dos 7 dias de frutificação, e os resultados demonstram uma estabilidade no controle da temperatura e umidade durante todo o período, como ilustrado na figura A.7. Este monitoramento contínuo e detalhado confirma a eficácia do sistema de controle e monitoramento ambiental implementado na câmara de frutificação. A capacidade de manter condições consistentes e ótimas para o desenvolvimento dos cogumelos é essencial para garantir a qualidade e a uniformidade da produção, além de permitir atender às exigências específicas de diferentes cultivos.

No gráfico da figura A.7b, a maioria dos pontos concentram-se na faixa superior de umidade, entre cerca de 90% e 100%, com uma densidade notavelmente maior (indicada pelas cores amarela e vermelha) perto do topo, o que sugere que a umidade foi mais consistentemente mantida nesse nível, ótimo para o cultivo de cogumelos. Abaixo dessa faixa de alta densidade, há uma dispersão mais ampla de pontos, principalmente na faixa azul e violeta, indicando variações ocasionais de umidade com menor frequência ocasionadas pelos sistemas de resfriamento do ar interno da câmara de frutificação. O gráfico sugere que durante o período de cultivo monitorado, a umidade foi mantida principalmente dentro de uma faixa estreita perto do limite superior definido, com algumas flutuações que não comprometem a estabilidade geral do sistema de controle da umidade.

A.2.1 Avaliação da Câmara de Frutificação através do Cultivo de Cogumelos

Realizamos a frutificação do cogumelo *Pleurotus ostreatus* na câmara de frutificação projetada, permitindo-nos avaliar o desempenho tanto da câmara quanto do sistema de monitoramento sob diversas condições. O processo de frutificação teve início após a completa colonização dos substratos pelo micélio da espécie em questão. Para avaliar o sistema e as condições de crescimento, os blocos colonizados foram incubados a temperaturas controladas de 25 ± 1 °C e 18 ± 1 °C, com uma umidade relativa mantida em 90%. Além disso, uma iluminação e ventilação constante foi assegurada dentro da câmara através do uso de fitas de LED e sistema de

Figura A.7: Análise das condições ambientais durante 7 dias de frutificação de cogumelos. (a) Variação diária de umidade (azul) e temperatura (vermelho) ao longo de sete dias, com barras de erro indicando a dispersão dos dados. (b) Gráfico de dispersão de calor para a umidade, mostrando a densidade de pontos através de uma escala cromática, correlacionando a frequência e a distribuição de dados de umidade dos dias de cultivo. (c) Box plot da temperatura, ressaltando a mediana, os quartis e potenciais outliers, refletindo a distribuição temperaturas na câmara. (d) Box plot da umidade com elementos estatísticos similares, ilustrando a distribuição e consistência dos níveis de umidade. (e) Histograma de frequência para a temperatura com uma curva de ajuste, evidenciando a distribuição e a tendência central das temperaturas registradas. (f) Histograma para a umidade, também com curva de ajuste, detalhando a contagem de ocorrências das faixas de umidade durante o período observado.



Fonte: Própria (2024)

ventilação. Essa câmara de frutificação desenvolvida permite efetuar observações detalhadas do cultivo ao longo do processo de frutificação sem causar variações nas condições ambientais dos cogumelos devido a presença da porta de vidro. Com isso, foi verificado os primeiros primórdios no quarto dia de frutificação nos blocos de cultivo, indicando o início da fase de frutificação. Seguindo para o sexto dia, esses primórdios desenvolveram-se rapidamente, evoluindo para cogumelos maduros caracterizados por estipes longos e chapéus abertos, que estavam prontos para serem colhidos. Este desenvolvimento pode ser visualizado na Figura A.8, que ilustra a progressão do crescimento dos cogumelos.

Os resultados do cultivo de *Pleurotus ostreatus* nas condições experimentais iniciais, a 25 °C, 90% de umidade relativa e sem o envolvimento da sacola de plástico, mostraram que os blocos de frutificação produziram um total de 133 ± 6 g de cogumelos, com uma perda de peso significativa do bloco de 898 g, conforme ilustrado nas Figuras A.9a e b. Esta elevada perda de umidade do bloco de cultivo pode ter impactado negativamente a produtividade dos cogumelos, sugerindo que o bloco

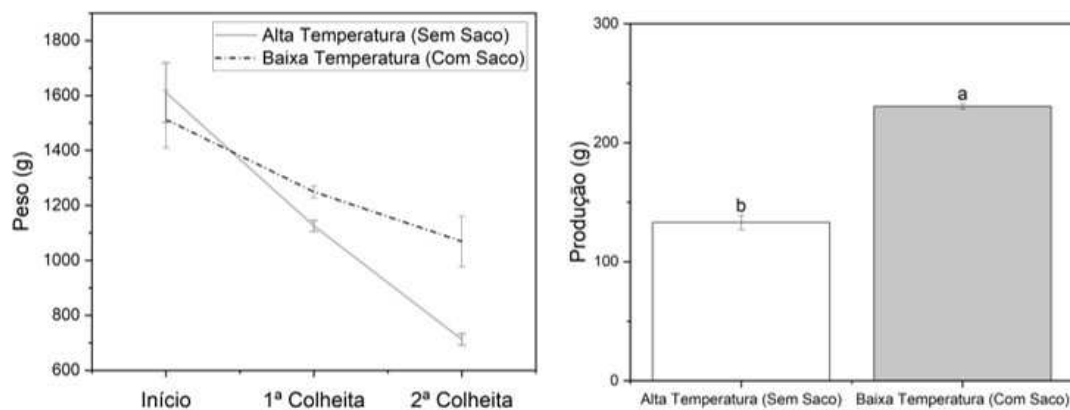
Figura A.8: Blocos de cultivo de *P. ostreatus* ao longo do cultivo em câmara de frutificação.



Fonte: Própria (2024)

estava perdendo umidade excessiva para o ambiente. A remoção do plástico que envolvia o bloco de cultivo é identificada como uma possível causa para baixa produção e alta perda de peso.

Figura A.9: Resultados experimentais da frutificação de blocos de cultivo de *P. ostreatus* cultivados à 18 °C e 25 °C com ou sem sacola de polipropileno.



Fonte: Própria (2024)

Diante dessa observação, um segundo cultivo foi realizado sob condições ajustadas: a temperatura foi reduzida para 18 ± 1 °C e a maior parte do saco plástico foi preservada. Essas mudanças resultaram em uma produção significativamente maior de cogumelos, com um aumento de 1,7 vezes, alcançando 230 ± 2 g. Essa produção representa uma eficiência biológica de 44%, indicando que foi alcançado a eficiência máxima, próxima de 40%, esperada no cultivo de cogumelos em resíduos lignocelulósicos (TANG *et al.*, 2024). Além disso, a perda de peso do bloco de cultivo foi

substancialmente reduzida, com 51% dessa perda convertendo-se em formação de cogumelos.

Os resultados ressaltam a necessidade de controle rigoroso das condições ambientais no cultivo de *Pleurotus ostreatus*, evidenciando que esse cogumelo apresenta um desempenho ideal em temperaturas abaixo da média nacional brasileira, que frequentemente supera 25 °C. Dada sua sensibilidade a temperaturas elevadas, o cultivo eficiente no Brasil requer técnicas de controle climático, como a AAC, para garantir a máxima produtividade. O *Pleurotus ostreatus* é o segundo cogumelo mais consumido no Brasil, com uma produção anual estimada em mais de 7000 toneladas (ALBERTIA *et al.*, 2021).

Esses resultados destacam a eficiência da câmara de frutificação em manter temperaturas consistentes e regular a umidade dentro de parâmetros ótimos para o cultivo de cogumelos, resultando em um ambiente ideal para o cultivo de cogumelos. A habilidade de controlar com precisão estas duas variáveis cruciais demonstra o sucesso na implementação de tecnologias de controle ambiental, enfatizando a importância de sistemas automatizados e conectados na agricultura em ambiente controlado. Essas implementações propostas nesse trabalho são fundamentais para assegurar a qualidade e a produtividade no cultivo de cogumelos, permitindo ajustes e respostas rápidas às variações ambientais controlados remotamente, que são essenciais para manter um ambiente de cultivo ideal.

Em reconhecimento ao desenvolvimento e inovação do dispositivo desenvolvido, o projeto foi formalmente registrado no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), sob o código BR10202401745, por meio da Agência de Inovação da UFRJ. Além disso, o software desenvolvido para o controle e monitoramento da câmara de frutificação também foi depositado junto ao INPI, sob o código BR512024002922-2, garantindo a proteção legal tanto da tecnologia quanto da aplicação desenvolvida.

Apêndice B

Material de Apoio

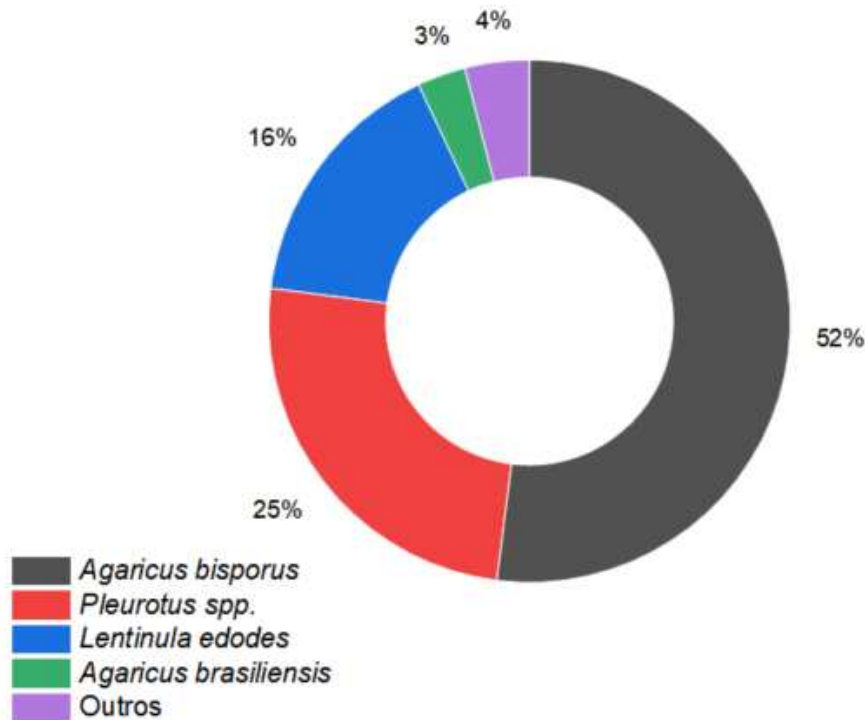
B.1 Cogumelos no Brasil: História e Diversidade

Os cogumelos são organismos que despertam o interesse humano há milhares de anos, seja por suas propriedades alimentares, medicinais, tóxicas ou psicoativas. Eles apresentam estruturas morfológicas muitas vezes curiosas e uma variedade de cores vivas. Uma diversidade de formas, aromas e sabores, sendo apreciados por muitas culturas como alimento ou como fonte de compostos bioativos. Diversas culturas, a milênios, utilizam os cogumelos na culinária do cotidiano, em ritos tradicionais ou, mais recentemente, em tratamentos terapêuticos (BHAMBRI *et al.*, 2022; HUSSAIN *et al.*, 2023; STAJIĆ; GALIĆ; ČILERDŽIĆ, 2023). No entanto, foi somente nos últimos 30 anos que houve um aumento significativo do interesse científico e popular pelos cogumelos no ocidente (BHALERAU *et al.*, 2019).

Entre os cogumelos comestíveis cultivados no Brasil, os principais apontados pelo censo da Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios (APTA) em 2016 (Figura B.1) são o Champignon Paris (*Agaricus bisporus*), que representa 52% da produção, o Shimeji (*Pleurotus* spp.), com 25%, o Shiitake (*Lentinula edodes*), com 16%, o Champignon do Brasil (*Agaricus blazei* ou *Agaricus brasiliensis*), com 3%, e outras espécies, com 4% (*Gonoderma lucidum*, *Pleurotus eryngii*, *Pholiota nameko* e *Flammulina velutipes*) (GOMES *et al.*, 2016; KUMANAYA; RUGAI; BONINI, 2018).

O estado de São Paulo é responsável por mais de 70% da produção nacional de cogumelos, sendo o município de Mogi das Cruzes o maior produtor. Essa atividade econômica foi introduzida no Brasil por imigrantes japoneses e chineses, que trouxeram consigo o conhecimento e as técnicas de cultivo de diferentes espécies de fungos comestíveis e medicinais (DIAS, 2010; KUMANAYA; RUGAI; BONINI, 2018). O cultivo de cogumelos no Brasil apresenta uma forte sazonalidade, pois os produtores optam, em sua maioria, por um menor custo de produção, uma menor

Figura B.1: Produção nacional de cogumelos comestíveis e medicinais (2016).



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de Gomes *et al.* (2016)

intervenção nas condições ambientais de cultivo (DIAS, 2010). Assim, o aspecto econômico emerge como um fator crucial no avanço tecnológico associado ao cultivo de cogumelos no país.

Além disso, é importante reconhecer a diversificada relevância dos cogumelos, que se estende além do âmbito econômico, abrangendo dimensões ecológicas, medicinais, gastronômicas e educacionais. A diversidade de espécies de cogumelos e as variadas aplicações conferem a esses fungos um papel significativo em diversos setores, reforçando a necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento para otimizar seu cultivo e exploração sustentável.

B.2 Biologia, Classificação e Morfologia

Os cogumelos, pertencentes ao reino Fungi, exibem uma diversidade em termos de formas, cores, tamanhos e habitats. No entanto, a definição precisa de um cogumelo é objeto de controvérsia entre especialistas. Uma definição abrangente e melhor aceita considera um “macrofungo com corpos de frutificação distintos que podem ocorrer tanto em cima do solo (epígeo) quanto abaixo do solo (hipógeo) e grandes o suficiente para ser visto a olho nu e colhido à mão” (MILES; CHANG, 2004). Com base nessa definição ampla, os cogumelos podem ser classificados como *Basidiomicetos*

ou *Ascomycetos*, que são as duas classes de fungos que possuem corpos de frutificação bem definidos.

Quando nos referimos aos cogumelos, estamos falando especificamente do corpo de frutificação do fungo. A parte que normalmente permanece no interior do substrato, madeira ou solo, é chamada de micélio ou parte vegetativa. Após se estabelecer no ambiente de cultivo, o fungo produz a estrutura de frutificação (os cogumelos). Esses corpos de frutificação são responsáveis pela produção e dispersão dos esporos, que são as estruturas reprodutivas dos fungos.

As principais características distintivas dos cogumelos são a presença do píleo (ou chapéu) e do estipe (ou caule). O píleo é a parte superior, semelhante a um guarda-chuva, enquanto o estipe é a estrutura que sustenta o píleo (Figura B.2). Além disso, algumas espécies de cogumelos, dependendo do estágio de crescimento, apresentam outras estruturas, como o anel e/ou a volva. O anel é uma estrutura circular que pode estar presente no estipe, enquanto a volva é uma estrutura em forma de saco na base do estipe. Essas características são comuns à maioria dos cogumelos e são fundamentais para sua identificação e estudo.

Figura B.2: *Valvariella volcacea* com as estruturas do píleo, stipe e volva expostas (imagem a esquerda) e *Amanita phalloides* com suas estruturas: píleo, stipe, volva, anel e parte do micélio (imagem a direita)



Fonte: Miles e Chang (2004)

Os cogumelos comestíveis cultivados em larga escala na atualidade, em sua maioria, são decompositores primários (GRIMM; WÖSTEN, 2018). Isso significa que eles são capazes de degradar hemicelulose, lignina e outras substâncias presentes na matéria orgânica (DEVI *et al.*, 2022). Essa habilidade permite o uso de uma variedade de resíduos agroindustriais na produção de cogumelos, como serragem de madeira, bagaço de cana, folhas, palhas, cascas, sabugo de milho, polpa de café, bagaço de malte e outros (Figura B.3) (FINIMUNDI, 2011; GIRMAY *et al.*, 2016; VIRIATO *et al.*, 2022).

Figura B.3: Resíduos agroindustriais, em sequência, serragem de madeira peletizada, sabugo de milho e bagaço de malte.



Fonte: Dreamstime (2024), MFRURAL (2019) e Pelet (2020)

Há também, no entanto, cogumelos que atuam como decompositores secundários e terciários. O mais cultivado decompositor secundário é o *A. bisporus*, que tem como substrato de cultivo a compostagem (Figura B.4). O processo de cultivo desse cogumelo é dividido em seis principais fases, envolvendo múltiplas fermentações e processos. Sua produção comercial em larga escala é bem estabelecida, tornando-se um dos cogumelos mais populares e amplamente consumidos em todo o mundo, devido ao seu sabor suave e textura agradável.

Figura B.4: Processo de compostagem (imagem a esquerda) e cultivo e corpo de frutificação de *A. bisporus* em composto (imagem a direita).



Fonte: Mush (2024)

B.3 Composição Química, Valor Nutricional e Alimentício

O interesse nos cogumelos aumentou drasticamente nas décadas de 1970, voldado pelo interesse nas propriedades nutricionais e medicinais. Um dos aspectos mais interessantes dos cogumelos é o seu sabor umami, que significa “saboroso” em japonês, e é considerado o quinto sabor básico, além do doce, do salgado, do azedo e do amargo (CONN, 1992). O sabor umami é derivado de compostos que possuem grupos carboxila ou amino livres, como o glutamato monossódico, os aminoácidos ácidos tricolômico e ibotênico e os nucleotídeos GMP (guanosina monofosfato) e AMP (adenosina monofosfato) (AMAZONAS; SIQUEIRA, 2003; HARADA-PADERMO *et al.*, 2020). Esses compostos estimulam os receptores gustativos específicos para o umami, localizados na língua e na cavidade oral, e geram uma sensação de sabor arredondado, intenso e duradouro.

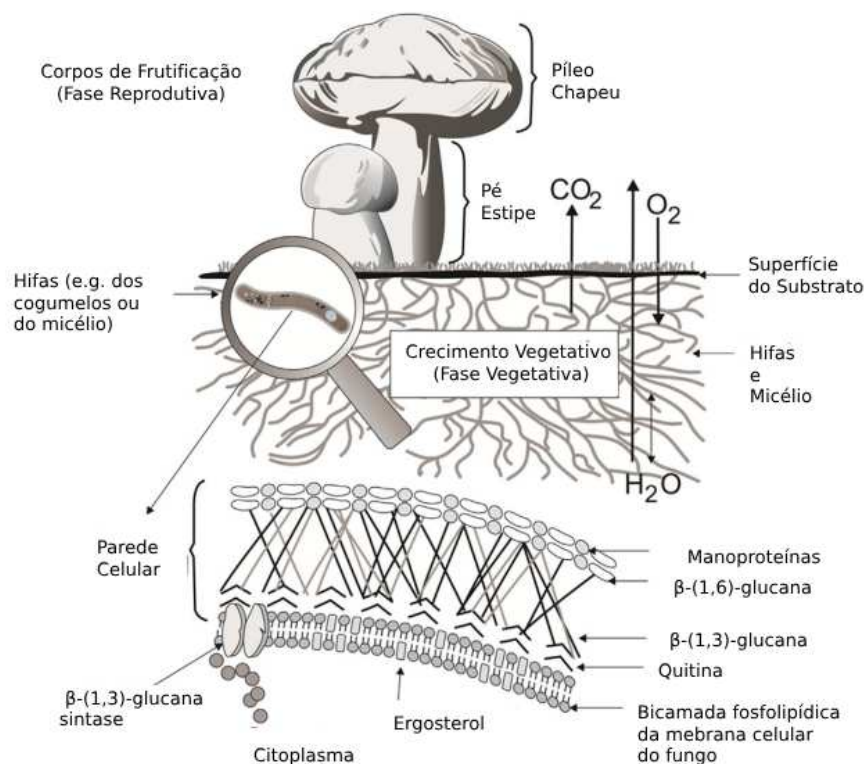
Além do sabor umami, os cogumelos também possuem uma textura única, afetada pela sua composição química e pela sua estrutura celular. A parede celular dos cogumelos é formada principalmente por quitina, um polissacarídeo que confere rigidez e resistência aos fungos, e por -glucanos, que são polissacarídeos que podem ser solúveis ou insolúveis em água, e proteínas (ANUSIYA *et al.*, 2021; PATEL *et al.*, 2021; SÁNCHEZ, 2017). Na Figura B.5 é possível visualizar a composição da parede celular e os estágios de desenvolvimento dos cogumelos.

A textura dos cogumelos também depende do teor de proteínas, que varia de acordo com a espécie, o estágio de desenvolvimento, as condições de cultivo e o processamento. Quando os cogumelos são cozidos, ocorrem diversas reações químicas e físicas que alteram a sua textura, como a hidrólise da quitina, a gelatinização dos glucanos, a desnaturação das proteínas e a perda de água (YAO *et al.*, 2023). Essas reações podem tornar os cogumelos mais macios, mais elásticos, mais viscosos ou mais fibrosos, dependendo do tempo e da temperatura de cozimento.

Diversos estudos indicam que a composição média dos cogumelos é constituída por água (85-95%), carboidratos (35-70%), proteínas (15-35%), lipídios (10%) e minerais (10%) (ASSEMIE; ABAYA, 2022; RAHI; MALIK, 2016). Esses valores podem variar de acordo com o tipo, a espécie, o estágio de desenvolvimento, o substrato e as condições ambientais de cultivo dos cogumelos. Os cogumelos possuem todos os 11 aminoácidos essenciais para o ser humano (ASSEMIE; ABAYA, 2022). Entre eles, destacam-se a leucina, o ácido aspártico, o ácido glutâmico, a valina e a glutamina, que desempenham importantes funções no metabolismo, na síntese de neurotransmissores, na regulação do sistema imunológico e na manutenção da saúde muscular (POSEY; BAZER; WU, 2021).

Apresentam alto teor de vitaminas do complexo B, como B1, B12, C e D, além

Figura B.5: Ilustração das fases de crescimento e representação da parede celular dos cogumelos.



Fonte: Traduzida de Sánchez (2017)

de vitamina E. Esses nutrientes são essenciais para o funcionamento adequado do organismo, pois participam de diversas reações metabólicas (BLANCO; BLANCO, 2017). Além disso, os cogumelos contêm minerais importantes, tais como fósforo, ferro, iodo, potássio, selênio, cobre e zinco, que desempenham papéis variados na saúde humana (ANUSIYA *et al.*, 2021). Esses macrofungos são a única fonte substancial não animal de vitamina D, que é fundamental para a absorção de cálcio e a manutenção da saúde óssea (CARDWELL *et al.*, 2018). A composição mineral dos cogumelos pode representar até 10% de sua massa seca, o que evidencia o seu valor nutricional.

Além disso, eles apresentam um baixo valor calórico, com um teor de lipídios que não ultrapassa 10%. A fração lipídica dos cogumelos é composta principalmente por ácidos graxos insaturados, como o linoleico, o oleico e o palmítico, que possuem benefícios para a saúde cardiovascular (PODKOWA *et al.*, 2021). Além disso, o conteúdo proteico possui alta digestibilidade e a composição de proteína varia de 15 a 35%.

Os carboidratos são componentes essenciais da parede celular dos fungos e cogumelos. Nos cogumelos, eles representam aproximadamente de 30 a 70% do peso dos frutos frescos (FURLANI; GODOY, 2007). Os polissacarídeos encontrados nas

paredes celulares dos cogumelos têm efeitos biológicos benéficos nos humanos, como atividade imunomoduladora, antitumoral, antioxidante, anti-inflamatória, entre outros (VETTER, 2023).

Os cogumelos, que possuem uma diversidade de metabólitos secundários com potenciais benefícios à saúde, têm despertado o interesse de nutricionistas, médicos e consumidores em geral, devido às suas propriedades nutricionais e funcionais. São alimentos que oferecem uma experiência sensorial rica e variada aos consumidores, além de ser uma boa fonte de vitaminas e minerais (ANUSIYA *et al.*, 2021). Possuem um alto percentual de proteína de fácil digestibilidade e textura, muitas vezes, equivalente a carne animal. O shiitake possui um sabor salgado voltado para o alho, o shimeji branco um sabor de peixe e o champignon do Brasil é condimentado (AMAZONAS; SIQUEIRA, 2003). Entretanto, o consumo desses cogumelos no Brasil é limitado e esse baixo consumo pode ser explicado por falta de conhecimento e proximidade cultural com esses fungos, além do custo elevado.

B.4 Compostos Bioativos e Aplicações

Os cogumelos estão repletos de compostos bioativos, substâncias presentes em alimentos ou plantas que têm efeitos biológicos no organismo. Os cogumelos demonstram-se uma grande fonte de metabólitos bioativos que, atualmente, são utilizados na formulação de novas drogas ou em tratamentos terapêuticos. Um exemplo, o *Gnoderma lucidum* (Figura B.6), consumido milenarmente, é fonte de mais de 120 triterpenos diferentes, além de polissacarídeos, proteínas e outros compostos bioativos. Os compostos bioativos presentes nos cogumelos possuem atividades antimicrobianas, antivirais, antitumorais, imunomoduladoras, anti-inflamatórias, antiestrogênicas, hipoglicemias, hepatoprotetoras, entre outras (ASSEMIE; ABAYA, 2022; LINDEQUIST; NIEDERMEYER; JÜLICH, 2005).

Os cogumelos podem atuar diretamente sobre as células ou indiretamente através da estimulação do sistema imune do hospedeiro. Eles também podem influenciar alvos moleculares específicos envolvidos na patogênese de diversas doenças. Estudos evidenciam o potencial farmacológico e terapêutico dos cogumelos e as possibilidades de bioprospecção de novas substâncias a partir deles (ANUSIYA *et al.*, 2021; REIS; SCHENKEL; CAMASSOLA, 2022; VENTURELLA *et al.*, 2021). Atualmente, o potencial medicinal dos cogumelos está sendo explorado em vários ensaios clínicos que visam tratar doenças e infecções de diferentes origens (AGRAWAL *et al.*, 2023; GOODWIN *et al.*, 2023).

Segundo Liu *et al.* (2008), o cogumelo *Agaricus brasiliensis* KA21, popularmente conhecido como champignon do Brasil (Figura B.7), quando administrado em humanos, apresentou efeitos benéficos sobre a saúde metabólica. Os autores relataram

Figura B.6: Corpo de frutificação do *Gnoderma lucidum*.



Fonte: Forest (2023)

que a ingestão do cogumelo por seis meses reduziu de forma significativa os seguintes parâmetros: índice de massa corporal, peso corporal, percentual de gordura corporal e visceral, nível de glicose no sangue e nível de colesterol total. Além disso, o cogumelo não causou alterações na função hepática ou renal dos participantes do estudo, em doses até três vezes maiores que as usuais.

Além desses compostos benéficos a saúde, os macrofungos também apresentam toxinas, que são classificadas em 7 principais grupos: giromitrina, muscarina, ácido ibotênico, amatoxinas, orellanina, psilocibina e coprina. Os principais compostos químicos que descrevem cada categoria estão representados na Figura B.8.

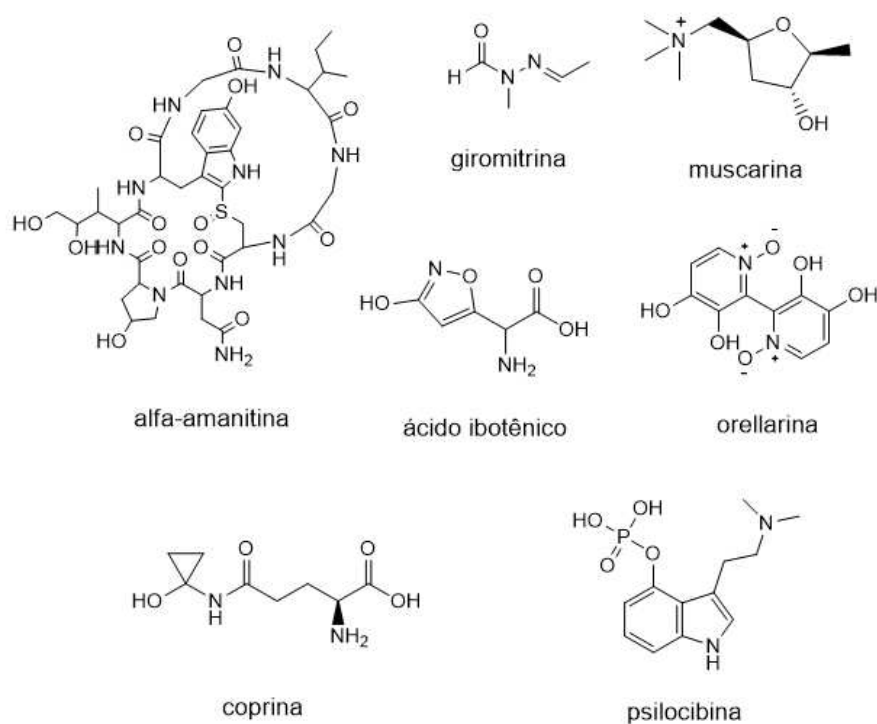
A ingestão precipitada e incorreta de fungos e cogumelos pode provocar quadros de intoxicação e, em alguns casos, até crises psicóticas. Há vários registros de intoxicação por cogumelos, sobretudo pelos denominados "cogumelos mágicos", que contêm psilocibina (AMSTERDAM; OPPERHUIZEN; BRINK, 2011; AUSTIN *et al.*, 2019; HONYIGLO *et al.*, 2019). Em 2021, um indivíduo de 20 anos ingeriu o que se denomina de "trufas mágicas" e foi encaminhado a um hospital em estado de desorientação, com alucinações severas, agitação e euforia (DARÉ *et al.*, 2022). Os principais sintomas de intoxicação por cogumelos são distúrbios cardíacos, gastroin-

Figura B.7: Corpo de frutificação do *Agaricus brasiliensis*, popularmente conhecido como champignon do Brasil.



Fonte: Mushroom (2023)

Figura B.8: Compostos tóxicos presentes em algumas espécies de cogumelos.



Fonte: Própria (2023)

testinais, neurológicos, renais, cutâneos e hematológicos (JO; HOSSAIN; PARK, 2014).

Psilocibina, uma substância alucinógena que provoca alterações na percepção, no humor e na consciência, é um alcaloide indólico que pertence à família das triptaminas, que também inclui a serotonina, um neurotransmissor envolvido na regulação do humor, do sono e da cognição (PASSIE *et al.*, 2002). É possível encontrar a psilocibina em mais de 200 espécies de cogumelos, principalmente do gênero *Psilocybe*, que se distribuem por todos os continentes (Figura B.9). A psilocibina é conver-

tida em psilocina no organismo, que se liga aos receptores de serotonina no cérebro, causando as alterações psíquicas características desses cogumelos (PASSIE *et al.*, 2002). Ela é uma droga alucinógena com potencial dissociativo utilizada, inclusive, como tratamento terapêutico. Estudos clínicos sobre os efeitos terapêuticos desses cogumelos vêm sendo realizados desde os anos 60 e o seu uso extenso não apresentou complicações (CAVANNA *et al.*, 2022; PASSIE *et al.*, 2002; PASSIE; GUSS; KRÄHENMANN, 2022).

Figura B.9: Cogumelos mágicos (*Psilocybe cubensis*) crescidos no esterco.



Fonte: Virtuale (2024)

Os principais compostos bioativos presentes nos cogumelos podem ser classificados em três grupos principais, de acordo com a sua atividade biológica: antioxidante, imunomoduladora e antitumoral (PATEL *et al.*, 2021). Essas categorias representam os principais focos de investigação científica sobre os cogumelos medicinais.

B.4.1 Antitumoral

Os polissacarídeos são alguns dos principais compostos bioativos encontrados nos cogumelos que possuem atividade antitumoral. Eles atuam inibindo o crescimento das células tumorais, induzindo sua apoptose e potencializando os efeitos da imunoterapia e da quimioterapia (PATEL *et al.*, 2021). Estudos científicos têm demonstrado o potencial antitumoral ou anticancerígeno de vários compostos presentes em cogumelos, tais como: *Inocybe*, *Russula*, *Flammulina*, *Cordyceps*, *Clitocybe*, *Antrodia*, *Ganoderma*, *Pleurotus*, *Phellinus*, *Agaricus*, *Trametes*, *Xerocomus*, *Calvatia*, *Schizophyllum*, *Suillus*, *Inonotus*, *Lactarius*, *Albatrellus* e *Fomes* (PATEL; GOYAL, 2012). Esses cogumelos foram analisados em relação aos seus mecanismos de ação e

seus efeitos sobre diferentes tipos de câncer.

Figura B.10: Cogumelos medicinais: *Cordyceps*, *Inocybe*, *Schizophyllum* e *Calvatia*.



Fonte: TODAY (2023), MUSHROOM (2023), HUB (2023) e Club (2023)

Chang *et al.* (2010) investigaram um possível efeito antitumoral da FVE, uma proteína imunomoduladora extraída do cogumelo comestível *F. velutipes* (Figura B.10), em um modelo de tumor hepático em camundongos. Os resultados indicaram que a administração da FVE reduziu significativamente o crescimento tumoral e aumentou a sobrevida dos animais. Além disso, observou-se uma ativação dos mecanismos de imunidade inata e adaptativa nos camundongos tratados com FVE. Park *et al.* (2009) avaliaram o extrato aquoso de *Cordyceps militaris* (Figura B.10) em camundongos “nude” transplantados com células de câncer de pulmão humano (NCI-H460). Foi possível verificar a inibição do tumor em peso e volume e o aumento da sobrevida dos camundongos. Não verificou-se efeitos tóxicos significativos. Esses resultados sugerem que o extrato aquoso é um potencial agente anticancerígeno no tratamento de câncer de pulmão. Em conclusão, os polissacarídeos e outros compostos bioativos presentes em cogumelos demonstram um potencial significativo como agentes antitumorais e anticancerígenos. As pesquisas citadas reforçam a capacidade desses compostos de inibir o crescimento de células tumorais, induzir a apoptose e melhorar a eficácia de tratamentos convencionais como a imunoterapia e a quimioterapia através da modulação do sistema imune.

B.4.2 Antioxidante

Antioxidantes são moléculas essenciais que defendem as células contra os danos causados pelo estresse oxidativo, o qual está associado a várias doenças crônicas, incluindo câncer, diabetes e doenças cardiovasculares (PATEL *et al.*, 2021). Cogumelos, conhecidos por suas propriedades antioxidantes, contêm uma rica variedade de componentes ativos como ácido ascórbico, ergotioneína, glicosídeos, carotenoides, flavonoides, tocoferóis, polissacarídeos e fenólicos (KOZARSKI *et al.*, 2015; SÁNCHEZ, 2017). XiaoPing *et al.* (2009) avaliaram as atividades antioxidantes e imunomoduladoras dos polissacarídeos de *G. lucidum* (Figura B.6), um cogumelo medicinal amplamente utilizado. Os resultados *in vitro* demonstraram que os polissacarídeos exibem capacidade antioxidantes e podem aumentar a atividade das enzimas antioxidantes e reduzir os níveis de citocinas em ratos com câncer. Esse estudo sugere que os polissacarídeos extraídos de *G. lucidum* podem ter potencial terapêutico no tratamento de doenças relacionadas ao estresse oxidativo e à inflamação. Apesar dos resultados promissores, ainda há uma necessidade de mais pesquisas e desenvolvimento na aplicação de antioxidantes de cogumelos como suplementos alimentares em humanos e seus efeitos benéficos (KOZARSKI *et al.*, 2015).

B.4.3 Imunomoduladora

A imunidade do indivíduo frente a diversas doenças é potencializada pelos imunomoduladores. Esses agentes são produzidos pelo sistema imunológico do indivíduo com a finalidade de manter a homeostase do organismo vivo. Eles se dividem em imunossupressores, imunoestimulantes e imunoadjuvantes (ZHAO *et al.*, 2020). As atividades do sistema imunológico inato e adaptativo do indivíduo podem ser estimuladas pelos componentes bioativos provenientes de cogumelos (PATEL *et al.*, 2021).

Devido à predominância de imunomoduladores sintéticos ou semi-sintéticos no mercado, há um interesse crescente por imunomoduladores naturais. Nesse sentido, os cogumelos medicinais se destacam como fontes potenciais de compostos bioativos com aplicabilidade farmacológica na produção desses produtos naturais. Elhusseiny *et al.* (2022) avaliaram os efeitos de extratos de cinco cogumelos comestíveis e medicinais em ratos albinos Wistar imunossuprimidos. Os resultados mostraram que os extratos estimularam parâmetros imunológicos e aumentaram o nível de citocinas nos animais. Assim, conclui-se que a administração oral desses extratos apresentou efeitos imunoestimulantes significativos em testes pré-clínicos. Gao *et al.* (2002) estudaram o efeito e a segurança de um extrato de *G. lucidum* em pacientes com hepatite B crônica. O estudo clínico foi randomizado, duplo-cego e multicêntrico, envolvendo 90 pacientes que receberam o extrato ou placebo por 12 semanas. Os

resultados mostraram que o extrato diminuiu significativamente o DNA viral em comparação com o placebo. O estudo concluiu que o extrato é bem tolerado e apresenta uma atividade potencial contra o vírus da hepatite B.

Os macrofungos apresentam uma diversidade de compostos bioativos com aplicações terapêuticas em diversas áreas da saúde. No entanto, para o aproveitamento efetivo desses cogumelos, é preciso aprofundar o conhecimento sobre as características químicas, o modo de ação, as rotas metabólicas e os métodos de extração e purificação dessas substâncias, bem como avaliar sua toxicidade e sua interação com outros fármacos e produtos naturais (ZHAO *et al.*, 2020).

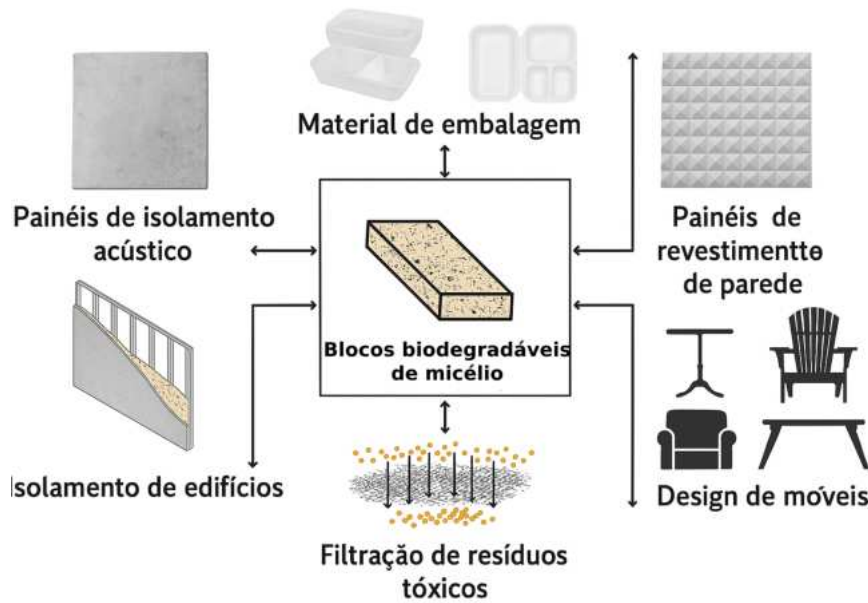
B.5 Desenvolvimento Tecnológico: Novos Produtos e Aplicação

O cultivo de cogumelos é uma atividade promissora e com projeções de grande aumento na demanda nas próximas décadas, porém a América Latina ainda representa uma parcela limitada na produção mundial de cogumelos. Em contraste, a China detém mais de 93% da produção mundial (OKUDA, 2022). A produção de cogumelos no Brasil tem como principal destino o mercado externo, onde são comercializados como insumos para a fabricação de produtos farmacêuticos, como cápsulas, comprimidos e xaropes, que conferem maior valor agregado ao produto. Nesse contexto, Amazonas e Siqueira (2003) apontam a necessidade de investir no processamento dos cogumelos no país, visando aumentar o valor agregado do produto cultivado e ampliar o mercado interno. O desenvolvimento tecnológico voltado para a automação, climatização e a otimização do cultivo de cogumelos comestíveis e medicinais é uma área de interesse crescente. Como exemplo, pode-se citar a aplicação de técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina para a identificação, cultivo, colheita e classificação de cogumelos (YIN; YI; HU, 2022).

Uma outra área de aplicação dos fungos filamentosos, que produzem cogumelos e decompõem a lignina, é o desenvolvimento de materiais à base de micélio. A tecnologia está nos estágios iniciais de desenvolvimento, mas já é aplicada no desenvolvimento de embalagens, materiais de construção, aplicação biomédica e automobilística, couro e elementos de design (GRIMM; WÖSTEN, 2018; JOSHI; MEHER; POLURI, 2020; VERMA; JUJJAVARAPU; MAHAPATRA, 2023). Joshi, Meher e Poluri (2020) desenvolveram e analisaram bio-blocos feitos com o fungo *P. ostreatus* e avaliaram o potencial desse material para substituir materiais não biodegradáveis. A Figura B.11 ilustra as possíveis aplicações desse bio-bloco, enquanto a Figura B.12 apresenta uma aplicação em uma obra arquitetônica.

Uma outra aplicação tecnológica é a produção de enzimas a partir dos substratos

Figura B.11: Aplicações tecnológicas de bio-blocos como materiais biodegradáveis.



Fonte: Adaptado de Joshi, Meher e Poluri (2020)

de cultivo desses cogumelos. Elisashvili *et al.* (2003) identificaram que o cultivo de cogumelos comestíveis resulta na produção de enzimas lignocelulíticas, tais como CMCase (56-62 U.g⁻¹), xilanases (34-48 U.g⁻¹) e lacases (12-18 U.g⁻¹), que permanecem no resíduo após a colheita dos basidiocarpos. Indicando assim, que esse resíduo pode ser uma fonte alternativa de enzimas lignocelulíticas para diversas aplicações industriais.

O cultivo de cogumelos está de acordo com a nova economia que busca integrar os processos de produção, diminuir a emissão de carbono e minimizar a geração de resíduos (GRIMM; WÖSTEN, 2018). Nesse sentido, Ganuza, Mejia e Albertó (2023) exploram o conceito de economia circular aplicando de bagaço de malte, um resíduo da produção de cerveja, na produção de cogumelos comestíveis (*Pleurotus pulmonarius*) e, por fim, a produção do biogás. Dessa forma, o trabalho apresenta uma alternativa inovadora e eficiente para a gestão de resíduos e a produção de cogumelos, inserindo-se no contexto da economia circular.

Uma outra possibilidade é a aplicação tecnológica da quitina, presente na parede celular dos cogumelos e fungos filamentosos (Figura B.5). Segundo Zhao *et al.* (2020), há estudos que utilizam a quitina de *Aspergillus niger* e outros microrganismos para proteger plantas e processar alimentos. No entanto, a utilização da quitina extraída de cogumelos comestíveis e medicinais permanece inexplorada, representando um potencial campo de inovação tecnológica para esses organismos.

Como demonstrado, o cultivo de cogumelos apresenta diversas oportunidades de desenvolvimento tecnológico e econômico, com aplicações em setores como farmacêutico, materiais, enzimas dentro da lógica da economia circular. Para aproveitar

Figura B.12: Aplicação de bio-blocos em construção.



Fonte: Daily (2023)

esse potencial, é necessário investir em pesquisa, inovação e expansão do mercado interno, visando aumentar a participação da América Latina e do Brasil na produção e processamento mundial de cogumelos.

B.6 Cultivo e Desenvolvimento de Cogumelos

B.6.1 Tipos de Cultivo

O cultivo de cogumelos é uma prática milenar que envolve diferentes técnicas para a produção de espécies comestíveis e medicinais. Esse cultivo pode ser classificado em duas categorias principais: cultivos em toras de madeira (Figura B.13) e cultivos

em substratos formulados (cultivo axênico). Este último é um processo de produção recente que requer técnicas avançadas de cultivo, mas que proporciona um melhor controle do processo e, conseqüentemente, uma maior reprodutibilidade, além de permitir a utilização de uma gama maior de resíduos agroindústrias no processo de produção dos cogumelos. A maior parte da produção acadêmica no Brasil indica uma preferência pelo cultivo das espécies de *Pleurotus* spp. de forma axênica (DIAS, 2010). A técnica de cultivo em toras, desenvolvida pelos chineses por volta do século 600, é um marco importante na fungicultura. O *Auricularia auricula* foi um dos primeiros cogumelos a ser cultivado dessa maneira, seguido pelo *Flammulina velutipes* e pelo *Lentinula edodes* (MILES; CHANG, 2004).

Em termos de crescimento vegetativo, o *Pleurotus ostreatus* tem um ciclo de crescimento rápido, com a indução de primórdios e o início da colheita ocorrendo em cerca de 20 dias. Por outro lado, o *Lentinula edodes* requer um período de crescimento mais longo, estimado em cerca de três meses, o que influencia diretamente a frequência de colheita e a produtividade geral (DIAS, 2010). Essas diferenças são cruciais para a escolha do tipo de cogumelo a ser cultivado, dependendo dos objetivos de produção e das condições disponíveis para o cultivo.

B.6.2 Tipos de Reprodução

A reprodução dos cogumelos pode ocorrer de forma assexuada ou sexuada. A reprodução sexuada envolve a fusão de núcleos haploides provenientes de esporos, que são coletados e germinados em meios de cultura adequados, como PDA (batata-dextrose-água) ou água malte (URBEN; URBEN, 2017). Essa forma de reprodução permite a obtenção de novas cepas, com características genéticas diferentes das parentais, que podem ser selecionadas de acordo com o interesse comercial e ou científico. No entanto, a reprodução sexuada requer técnicas avançadas de cultivo e manipulação, que nem sempre estão disponíveis para os produtores de pequeno e médio porte. Por isso, essa técnica é mais utilizada em laboratórios de pesquisa, que buscam isolar e produzir cepas com maior produtividade, qualidade, resistência ou valor nutricional.

A reprodução assexuada, por outro lado, consiste na propagação vegetativa do micélio, que é a parte filamentosa do fungo. Essa forma de reprodução garante a manutenção das características genéticas da cepa original, que já foi previamente selecionada. A reprodução assexuada é mais simples e mais utilizada comercialmente, pois basta transferir um pequeno fragmento do micélio de uma placa de petri colonizada ou da base do estipe de um cogumelo fresco para um novo substrato. Essa técnica de reprodução assexuada a partir de um fragmento do estipe é demonstrada na Figura B.14.

Dessa forma, a reprodução dos cogumelos pode ser realizada de forma assexuada

Figura B.13: *Auricularia auricula* em toras de madeira.



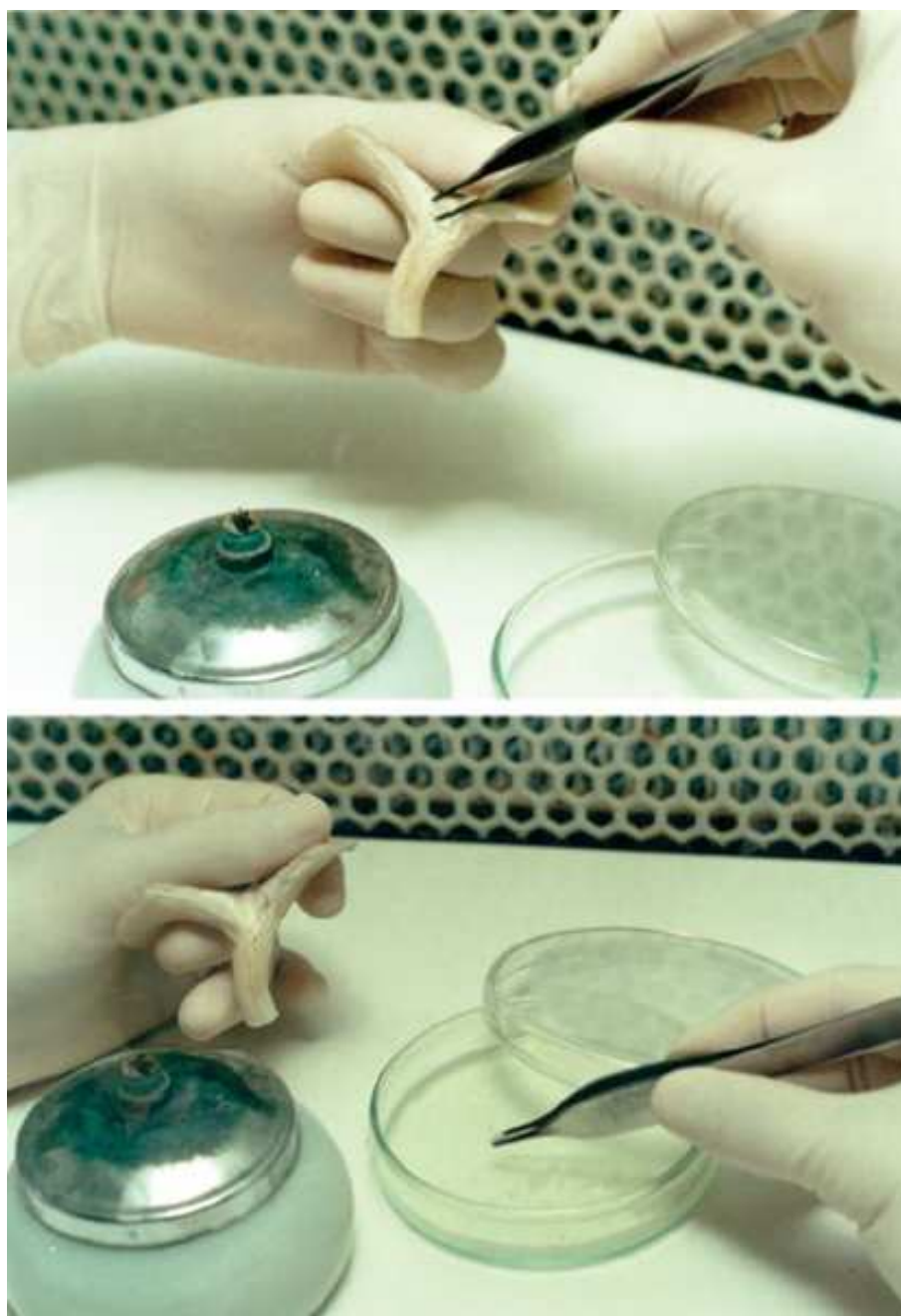
Fonte: GONE71 (2024)

ou sexuada, dependendo dos objetivos e dos recursos. Cada forma de reprodução tem suas vantagens e desvantagens, que devem ser consideradas na hora de escolher a melhor técnica para cada situação.

B.6.3 Fases de Crescimento e Cultivo

Os cogumelos apresentam um metabolismo heterotrófico, ou seja, não são capazes de sintetizar matéria orgânica a partir de fontes inorgânicas, mas dependem de

Figura B.14: Técnica de reprodução assexuada de cogumelos comestíveis e medicinais.



Fonte: Urben e URBEN (2017)

matéria orgânica para obter seus nutrientes. Nesse sentido, os cogumelos estão mais próximos dos animais do que das plantas, pois ambos compartilham a característica de serem heterótrofos (AMAZONAS; SIQUEIRA, 2003). Os macrofungos, dessa forma, exercem uma função relevante na decomposição da matéria orgânica, na regulação dos ecossistemas e na conservação da biodiversidade.

Os basidiomicetos e ascomicetos são excelentes decompositores de resíduos naturais. Os fungos que compõe esse grupo são produtores importantes de celulases

e ligninas peroxidases (URBEN; URBEN, 2017). Esses fungos são responsáveis por quebrar complexas estruturas celulósicas e lignocelulíticas e, por isso, desempenham papel importante no ciclo do carbono. Durante a fase de crescimento do fungo, para degradar os compostos do substrato, madeira, serragem ou outros resíduos, eles secretam enzimas para quebrar em compostos menores que possibilite a assimilação. Portanto, o substrato de cultivo é rico em enzimas. Esses fungos secretam enzimas lignocelulíticas como lacasses, ligninases peroxidases, celulasas e xilanases com a finalidade de degradar o substrato em moléculas assimiláveis (ELISASHVILI *et al.*, 2003).

Estágios de Desenvolvimento

O desenvolvimento de cogumelos pode ser dividido em dois principais estágios, o estágio vegetativo e o estágio reprodutivo. O estágio vegetativo corresponde ao crescimento micelial do fungo no substrato de cultivo. Esse crescimento desempenha um papel importante para estabelecer uma estrutura firme para os futuros corpos de frutificação. As hifas dos fungos se associam ao substrato durante a colonização, formando um bloco robusto que oferece suporte físico e nutricional às futuras estruturas reprodutivas. Enquanto o estágio reprodutivo é a fase de desenvolvimento dos cogumelos.

Fases do Cultivo

O cultivo de cogumelos envolve quatro principais fases (Figura B.15). A primeira fase (1) é a reprodução assexuada e a manutenção do material biológico do fungo. Os cogumelos comestíveis e medicinais geralmente são cultivados em escala comercial por meio da reprodução assexuada, com o objetivo de preservar o material genético da cepa, que normalmente é altamente produtiva. A segunda fase (2) é a produção do inóculo, que pode ser sólido ou líquido. Comercialmente, é mais frequente a produção de inóculos sólidos, devido à sua facilidade de produção, manutenção e conhecimento. A terceira fase (3) é a inoculação do substrato formulado e o crescimento micelial ou também chamado de crescimento vegetativo do fungo. Essa fase ocorre em uma câmara climática escura até a completa colonização. A quarta fase (4) é a fase crítica na produção dos cogumelos, a etapa de frutificação. Nessa fase, os principais parâmetros operacionais (temperatura, umidade, CO_2 , ventilação e iluminação) devem ser controlados para produzir, enfim, os corpos de frutificação.

Fatores que Afetam o Crescimento

Entre os fatores que influenciam as etapas de crescimento dos cogumelos, destacam-se a temperatura, a umidade, a luz, a composição nutricional do meio, a concentração

Figura B.15: Quatro principais fases do cultivo de cogumelos comestíveis e medicinais.



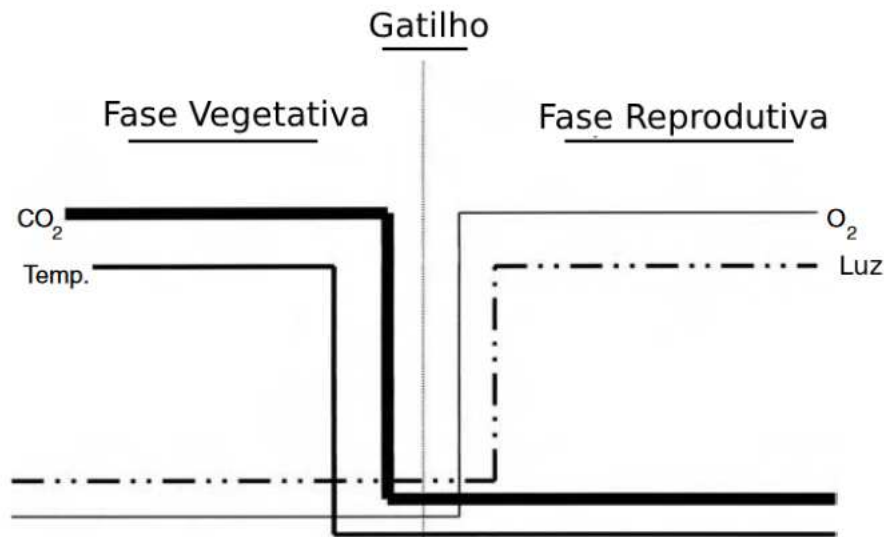
Fonte: Própria (2023)

de dióxido de carbono e a ventilação. Esses fatores influenciam todas as fases de cultivo dos cogumelos, entretanto é na etapa de frutificação que esses parâmetros são mais críticos. A temperatura é um fator determinante para a indução dos corpos de frutificação, sendo que temperaturas mais baixas favorecem o processo. Para o crescimento dos cogumelos, geralmente são necessários níveis de umidade superiores a 80% UR (MILES; CHANG, 2004). A iluminação também é essencial para a formação dos primórdios em muitas espécies de cogumelos, mas algumas podem desenvolver corpos de frutificação na ausência de luz (SAKAMOTO, 2018). A composição do meio, especialmente a relação entre carbono e nitrogênio, interfere no crescimento e na produtividade dos cogumelos (HAN *et al.*, 2024; SARRIS *et al.*, 2020). A concentração de dióxido de carbono também afeta o desenvolvimento dos corpos de frutificação, sendo que, para a maioria dos cogumelos comestíveis, altas concentrações prejudicam o crescimento e causam deformações (LIN *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2023).

A transição da fase vegetativa para a fase de frutificação é marcada pela variação de alguns parâmetros ambientais, tais como temperatura, iluminação e composição atmosférica. Esses fatores afetam significativamente o desenvolvimento do fungo e a produção de cogumelos (MILES; CHANG, 2004). A Figura B.16 demonstra a demanda das condições ambientais de cultivo de cogumelos e o gatilho que possibilita a mudança entre as duas fases. Esses são alguns dos principais fatores que condicionam o cultivo dos cogumelos. A seguir, são descritos os principais parâmetros necessários para o controle do processo de produção de cogumelos.

Temperatura A temperatura é um fator determinante para o crescimento dos fungos e a formação dos cogumelos. Por exemplo, temperaturas elevadas podem comprometer a estrutura e a função da parede celular de *Pelurotus ostreatus* e torná-lo mais vulnerável à infecção por *Trichoderma* spp., um gênero de fungos antagonistas (QIU *et al.*, 2018). Por outro lado, temperaturas inferiores ao ótimo fisiológico res-

Figura B.16: Diagrama das principais fases do crescimento de cogumelos mediada pelo gatilho de transição entre fases.



Fonte: Traduzido de Miles e Chang (2004)

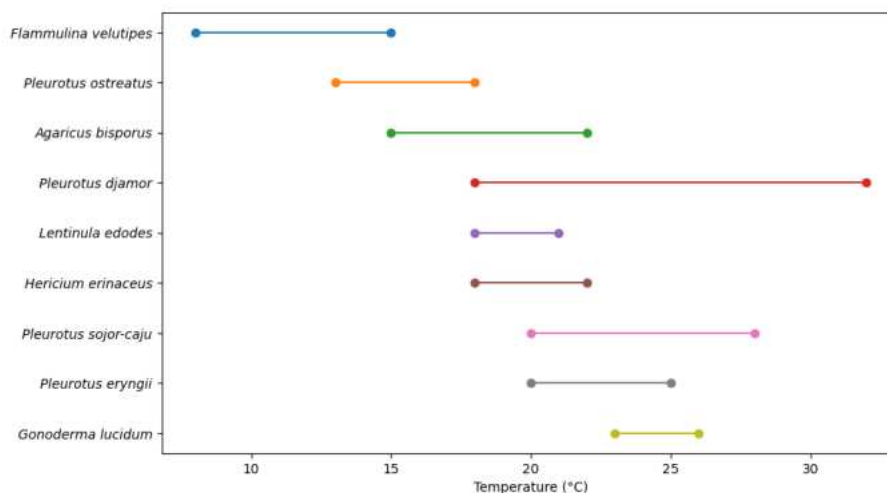
tringem o desenvolvimento micelial e, conseqüentemente, reduzem a produtividade de cogumelos (GORAI; SHARMA, 2018; NASHIRUDDIN *et al.*, 2022).

Geralmente, a temperatura ótima para o desenvolvimento vegetativo dos cogumelos é superior à temperatura requerida para a indução e formação dos corpos de frutificação (MILES; CHANG, 2004). No entanto, as faixas de temperatura ótimas para o cultivo também podem variar de acordo com os diferentes substratos e cepas utilizadas (RAMAN *et al.*, 2021). As Figuras B.17 e B.18 apresentam as principais faixas para a fase de crescimento micelial e frutificação dos principais cogumelos comestíveis e medicinais atualmente cultivados no Brasil e mundo. As informações foram coletadas a partir de fontes da literatura (AHMAD; FUAD; KHAN, 2015; RAMAN *et al.*, 2021; ZURBANO; BELLERE; SAVILLA, 2017; GORAI; SHARMA, 2018; HU *et al.*, 2023; JANG *et al.*, 2003; LEE *et al.*, 2022; NASHIRUDDIN *et al.*, 2022; SALES-CAMPOS *et al.*, 2008; CHOI *et al.*, 2014; ZĂGREAN; NEAȚĂ; STĂNCIULESCU, 2017; GAITÁN-HERNÁNDEZ *et al.*, 2006; MARKOVIC *et al.*, 2011; XIONG *et al.*, 2019; ATILA *et al.*, 2021; SUDHEER *et al.*, 2018; HARITH; ABDULLAH; SABARATNAM, 2014; ZHAO *et al.*, 2021).

Umidade A umidade é um fator determinante para o crescimento do fungo e a produção de cogumelos, sendo necessário controlar a umidade do substrato de cultivo e a umidade relativa do ar no ambiente de cultivo. Baixas umidades podem ocasionar baixo crescimento e má formação de cogumelos.

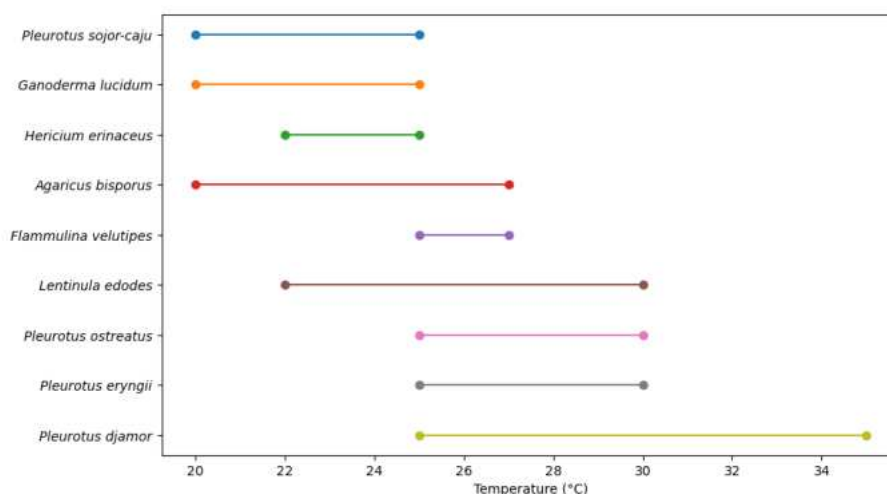
A umidade do substrato é essencial para assegurar o desenvolvimento ótimo do microrganismo. Recomenda-se trabalhar no limite de umidade, ou seja, na quanti-

Figura B.17: Faixas de temperatura ótimas de frutificação de cogumelos comestíveis e medicinais.



Fonte: Própria (2023)

Figura B.18: Faixas de temperatura ótimas de colonização de cogumelos comestíveis e medicinais.



Fonte: Própria (2023)

dade máxima de água que o substrato retém sem água livre no meio de cultivo. A umidade varia conforme os substratos utilizados no cultivo, mas geralmente a umidade máxima que os substratos comportam oscila entre 60 e 70% aproximadamente.

Já a umidade relativa do ar na fase de frutificação é crucial para a formação dos corpos de frutificação. Quando a umidade é baixa, os cogumelos podem apresentar defeitos ou mesmo morrerem no início da formação dos corpos de frutificação.

Razão de Carbono e Nitrogênio Uma das variáveis que influencia a produção de cogumelos é a proporção de carbono e nitrogênio (C/N) no substrato. Segundo Miles e Chang (2004), a concentração de nitrogênio no meio de cultivo deve ser limitada quando o objetivo é produzir cogumelos, pois isso favorece a diferenciação

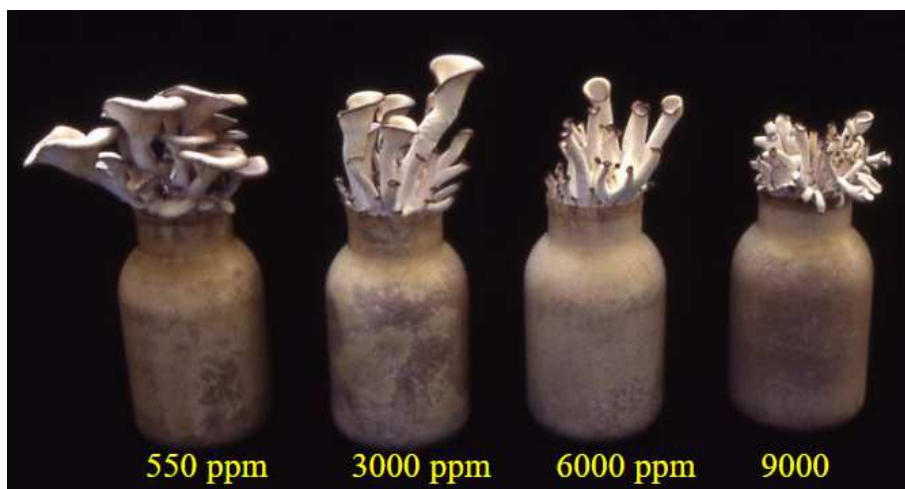
dos primórdios. Isso ocorre porque, na fase de crescimento vegetativo, o fungo utiliza preferencialmente a lignina e as proteínas do substrato como fonte de energia, deixando a celulose e a hemicelulose para a fase de frutificação. Portanto, uma quantidade limitada de proteína pode induzir uma maior degradação do substrato em função da produção de cogumelos. Esse fato foi largamente constatado por Blanchette (1991), Gaitán-Hernández *et al.* (2006), Lee e Cho (2021) e Silva *et al.* (2007) que evidenciam que a concentração de nitrogênio ótima está entre 1 e 2% no cultivo de *Pleurotus ostreatus* e outros fungos. Concentrações superiores comprometem a produtividade de cogumelos, embora garantam um tempo de colonização curto.

pH Uma das etapas importantes no cultivo de cogumelos é a preparação do substrato. No cultivo comercial de cogumelos, o carbonato de cálcio é adicionado na proporção de 2% ao substrato úmido para manter um pH ótimo para o desenvolvimento do micélio e a formação dos corpos de frutificação para a maior parte dos substratos de cultivo utilizados (KHAN *et al.*, 2013). O pH do substrato pode influenciar de maneira distinta o crescimento e a produtividade dos fungos filamentosos, afetando a velocidade de colonização, a formação e o tamanho dos corpos de frutificação, a concentração de compostos bioativos e o controle de pragas e doenças (ROZSA; APAHIDEAN, 2020).

Concentração de CO_2 A tolerância ao CO_2 depende da espécie de cogumelo, mas, em geral, na etapa de crescimento micelial e colonização do substrato, há uma maior tolerância a esse gás. No entanto, na etapa de produção dos basidiocarpos, é necessário um controle mais rigoroso da concentração de CO_2 e uma maior frequência de troca de ar (MILES; CHANG, 2004). Um exemplo ilustrativo é a sensibilidade do *P. ostreatus* às concentrações atmosféricas de dióxido de carbono. A exposição a níveis elevados de CO_2 pode resultar em anomalias morfológicas durante o crescimento. Essa correlação é evidenciada na Figura B.19, que destaca a deformação estrutural em condições de cultivo com alta concentração desse gás.

O *F. velutipes* é um cogumelo produzido comercialmente e que apresenta um formato característico devido à alta concentração de gás carbônico na etapa de frutificação no ambiente de cultivo. Quando esse fungo é cultivado com papel ou plástico envolvendo a área de frutificação, para represar a concentração de CO_2 produzido e suportar o corpo de frutificação, o seu estipe se alonga e produz o seu formato típico, com um chapéu cilíndrico e fechado (Figura B.20) (MILES; CHANG, 2004). Em contrapartida, na natureza, é frequente encontrar esse cogumelo com um estipe mais curto e com um chapéu aberto e achatado (Figura B.21).

Figura B.19: Efeitos de diferentes concentrações de CO_2 na morfologia dos cogumelos *Pleurotus ostreatus*.



Fonte: Adaptada de Thuy e Suzuki (2019)

Figura B.20: *Flammulina velutipes* cultivado de forma axênica em ambiente controlado.



Fonte: Mycelia (2023)

Iluminação A iluminação é um fator que afeta o desenvolvimento de diferentes espécies de cogumelos. Enquanto a maioria dos cogumelos apresenta benefícios com a exposição à luz, alguns são indiferentes e poucos têm sua produção, morfologia e ou composição prejudicadas pela luminosidade (NMOM; AMADI; NGEREBARA,

Figura B.21: *Flammulina velutipes* encontrado na natureza.



Fonte: NARRATIVE (2023)

2021; ZAWADZKA *et al.*, 2022). A luminosidade é um fator que influencia o desenvolvimento dos fungos produtores de cogumelos em diferentes estágios. Durante o crescimento vegetativo, a ausência de luz favorece a colonização do substrato para a maioria desses microrganismos. Porém, na fase de frutificação, a luz desempenha um papel importante no fototropismo das estruturas reprodutivas desses fungos (NMOM; AMADI; NGEREBARA, 2021). Ela atua, frequentemente, como um gatilho para a formação dos corpos frutíferos (Figura B.16) (MILES; CHANG, 2004).

Um dos fatores que afeta o desenvolvimento do *Gonoderma lucidum* é a luminosidade, que pode alterar a morfologia e sua pigmentação. Sudheer *et al.* (2018) verificaram que em situação com ausência de luz, o *G. lucidum* consegue produzir seus corpos de frutificação, entretanto, sua morfologia é distinta do que é comercialmente vendido (Figura B.6), de coloração avermelhada e com formato de rim, apresentando coloração verde e estipe curta (Figura B.22).

Segundo Cardwell *et al.* (2018), a iluminação também é um fator que interfere na síntese de compostos bioativos em cogumelos comestíveis. O cultivo desses fungos sob radiação UV-B ou a irradiação pós-colheita aumenta o teor de vitaminas D, conferindo-lhes propriedades nutricionais e funcionais que os tornam suplementos alimentares relevantes para a saúde humana. A vitamina D2 (ergocalciferol) nos cogumelos é formada pela conversão do ergosterol (provitamina), um componente da parede celular dos fungos (Figura B.5) em pré-vitamina D2 pela radiação ultravioleta, que é posteriormente isomerizada em vitamina D2 (JASINGHE; PERERA, 2006; KEEGAN *et al.*, 2013).

Figura B.22: *Gonoderma lucidum* cultivado em alta concentração de CO_2 com iluminação (imagem a esquerda) e sem iluminação (imagem a direita).



Fonte: Sudheer *et al.* (2018)

Ventilação A ventilação é um fator essencial para o cultivo de cogumelos, pois promove a homogeneização e a retirada do gás carbônico produzido pelos fungos. Devido à maior densidade do CO_2 em comparação com os outros componentes do ar, esse gás se acumula nas partes inferiores das câmaras de cultivo. Assim, uma ventilação adequada é essencial para garantir a homogeneidade do ar e uma troca constante. A ventilação evita a formação de bolsões de CO_2 no ambiente, que prejudicam a produtividade através da repressão da formação dos primórdios ou a má formação dos cogumelos (JANG *et al.*, 2003; KURTZMAN, 2010; MILES; CHANG, 2004).

A ventilação na fase de crescimento micelial (Fase 3) não é crítica, entretanto é recomendado manter a sala de cultivo com condições controladas. Essa fase é menos sensível à presença de gás carbônico e tolera altas concentrações. Entretanto, na fase de frutificação (Fase 4), a ventilação é crítica. Kurtzamn (2010) observou uma sala de cultivo de cogumelos paris com o sistema de recirculação e exaustão do ar mal projetado e constatou uma baixa produtividade nas prateleiras inferiores, onde se acumulava o dióxido de carbono (Figura B.23). Em contraste, as prateleiras superiores apresentaram uma maior densidade de cogumelos do que as prateleiras inferiores, sugerindo que a distribuição do ar e a concentração de gás carbônico na sala afeta diretamente o desenvolvimento dos cogumelos. Assim, o projeto de uma câmara climática ou sala de cultivo deve considerar a instalação de um sistema de ventilação e exaustão adequado e eficiente, que possibilite obter uma maior produtividade de todo espaço disponível.

Figura B.23: Cultivo de *Agaricus bisporus* em sala com sistema de ventilação comprometido.



Fonte: Kurtzman (2010)

Apêndice C

Roteiro do Professor

Título do Roteiro: Cultivo Investigativo de Cogumelos em Substratos Alternativos

C.0.1 Objetivo:

Permitir que os alunos explorem o cultivo de cogumelos utilizando a câmara de frutificação, investigando e testando diferentes substratos alternativos encontrados na escola e em suas residências.

C.0.2 Descrição:

Os alunos irão cultivar cogumelos em uma câmara de frutificação utilizando substratos alternativos. Eles devem ser incentivados a coletar materiais como borra de café, cascas, serragem e outros resíduos orgânicos, avaliando quais são mais adaptados para o crescimento dos cogumelos.

C.0.3 Importância da Atividade:

Essa atividade investigativa permite aos alunos explorar os processos biológicos e químicos envolvidos no cultivo de fungos, promovendo a conscientização sobre práticas sustentáveis e a reutilização de resíduos. Além disso, desenvolve habilidades práticas de planejamento, execução e análise de experimentos, fomentando o interesse pela ciência e a sustentabilidade.

C.0.4 Público-alvo:

Alunos do Ensino Médio, preferencialmente do 2º ou 3º ano. A atividade investigativa pode ser adaptada à realidade escolar e para regiões específicas do país,

dependendo das atividades econômicas locais, disponibilidade de substratos e condições estruturais.

C.0.5 Tópicos Abordados:

- Biologia dos Fungos
- Ciclo de Vida dos Cogumelos
- Química da Decomposição
- Ciclos Biogeoquímicos
- Sustentabilidade e Reutilização de Resíduos

C.0.6 Conhecimento Prévio:

Para a realização do experimento, é ideal que os alunos já tenham conhecimento sobre:

- Estrutura e função dos fungos
- Processos de decomposição e ciclagem de nutrientes

Após o desenvolvimento da atividade investigativa, os seguintes tópicos podem ser aprofundados:

- Biotecnologia e aplicações dos fungos
- Sustentabilidade e economia circular

C.0.7 Possibilidades Educacionais:

A atividade investigativa estimula a discussão entre os alunos sobre diferentes substratos e suas eficiências, promovendo a defesa de pontos de vista baseados em dados empíricos. Desenvolve habilidades para trabalho coletivo, raciocínio lógico e aspectos investigativos na ciência. Os alunos serão familiarizados com conceitos de sustentabilidade e economia circular.

C.0.8 Temas Transversais:

O cultivo de cogumelos utilizando resíduos como substrato pode ser relacionado com vários aspectos da vida dos alunos.

- Ética: A responsabilidade ambiental e reutilização de resíduos.

- Meio Ambiente: Impacto do desperdício e a importância da sustentabilidade.
- Trabalho e Consumo: Produção sustentável e consciente.
- Saúde: Benefícios nutricionais dos cogumelos.

C.1 Proposta Pedagógica

C.1.1 Objetivo Geral:

Desenvolver uma compreensão prática e teórica sobre o cultivo de cogumelos, com ênfase nos processos biológicos e químicos envolvidos, bem como na importância da sustentabilidade e da reutilização de resíduos.

C.1.2 Objetivos Específicos:

Conhecimento Básico sobre Fungos:

- Compreender a estrutura e o ciclo de vida dos fungos, com foco nos cogumelos.
- Identificar os principais tipos de cogumelos comestíveis e suas características.

Substratos e Sustentabilidade:

- Reconhecer diferentes tipos de substratos utilizados no cultivo de cogumelos.
- Entender a importância da reutilização de resíduos orgânicos como substratos para o cultivo de cogumelos .

Planejamento e Execução de Experimentos:

- Desenvolver habilidades de planejamento experimental, incluindo a seleção de substratos alternativos encontrados em casa e na escola.
- Executar o cultivo de cogumelos shimeji utilizando a câmara de frutificação.

Análise e Interpretação de Resultados:

- Analisar e interpretar os resultados dos experimentos de cultivo.
- Avaliar o crescimento dos cogumelos e a eficiência dos diferentes substratos utilizados.

C.1.3 Planejamento da Atividade Investigativa

Introdução Teórica e Planejamento do Experimento (1 aula):

A atividade investigativa pode ser iniciada com uma aula teórica que apresenta aos alunos informações fundamentais sobre fungos, o ciclo de vida dos cogumelos e a importância dos processos de decomposição para a sustentabilidade. Durante esta fase, o professor poderá discutir os diferentes tipos de substratos possíveis para o cultivo de cogumelos, enfatizando a reutilização de resíduos orgânicos. Essa introdução teórica é importante para que os alunos compreendam o contexto biológico e ambiental do experimento, preparando-os para as etapas práticas subsequentes. No planejamento, o professor deve orientar os alunos na seleção de substratos alternativos para o cultivo de cogumelos, sugerindo opções como borra de café, cascas, folhagens, papelão, entre outros materiais facilmente encontrados em residências e ou na escola. Os alunos deverão ser guiados a definir as etapas do experimento, que incluem a preparação dos substratos e a inoculação dos fungos. Os alunos também devem ser orientados quanto a esterilização dos substratos, a higienização e o uso de equipamentos de proteção individuais. Esse planejamento é essencial para garantir que todos os aspectos logísticos e metodológicos do experimento sejam claramente compreendidos e organizados.

Execução (30 dias experimentais com 2 aulas):

A execução do experimento ocorre ao longo de 30 dias, com duas aulas dedicadas ao acompanhamento do processo. Inicialmente, os alunos preparam os substratos escolhidos e inoculam os fungos (Aula 1). Durante o período experimental subsequente, os alunos devem monitorar a colonização dos substratos pelo fungo e o desenvolvimento dos cogumelos na câmara de frutificação, registrando observações semanais sobre as condições ambientais e o crescimento dos cogumelos (Aula 2).

Apresentação, Análise e Discussão (1 aula):

Na fase final, uma aula é dedicada a apresentação dos resultados, análise e discussão dos resultados obtidos. Os alunos devem comparar a eficácia dos diferentes substratos utilizados, avaliando os dados coletados ao longo do experimento. A discussão deve abordar os desafios e sucessos encontrados, destacando a importância da sustentabilidade e da reutilização de resíduos. A atividade culmina com a apresentação formal dos resultados pelos alunos, que devem refletir sobre suas descobertas e defender suas conclusões, reforçando a compreensão dos conceitos desenvolvidos nas aulas.

C.1.4 Recursos Necessários:

- Câmara de frutificação.
- Cepas e inóculos de cogumelos.
- Sacolas de Polipropileno.
- Serragem de madeira (Substrato base).
- Autoclave e fluxo laminar ou sala sem corrente de ar.
- Substratos alternativos (borra de café, casca , papelão, etc.).
- Ferramentas de registro (cadernos, celulares e computadores).

C.1.5 Avaliação:

- Participação e envolvimento dos alunos em todas as etapas do experimento.
- Qualidade dos registros e observações em relatório.
- Análise crítica e apresentação dos resultados.

C.1.6 Observação importante:

O professor deve avaliar criticamente a presença de contaminantes nos substratos utilizados e indicar se os cogumelos são seguros para consumo. Cogumelos comestíveis podem degradar substratos que não são adequados para a alimentação humana e que podem conter e carrear componentes antinutricionais e tóxicos. Portanto, deve-se limitar a comestibilidade dos cogumelos a substratos formulados a partir de resíduos orgânicos provenientes de alimentos, sementes ou grãos. No entanto, encorajamos os alunos a explorarem a produção de cogumelos em outros substratos, como papel e jornal, embora a ingestão dos cogumelos cultivados nesses substratos deva ser evitada.