

ORGANIZADORES

Rosane Marina Peralta

Adelar Bracht

Cristina Giatti Marques de Souza

Rafael Castoldi

OS COGUMELOS NOSSOS DE CADA DIA

pimenta cultural



ORGANIZADORES

Rosane Marina Peralta

Adelar Bracht

Cristina Giatti Marques de Souza

Rafael Castoldi

OS COGUMELOS NOSSOS DE CADA DIA

| São Paulo | 2026 | pimenta cultural

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

C677

Os Cogumelos Nossos de Cada Dia / Organização Rosane Marina Peralta, Adelar Bracht, Cristina Giatti Marques de Souza, Rafael Castoldi. – São Paulo: Pimenta Cultural, 2026.

Livro em PDF

ISBN 978-85-7221-732-3
DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-732-3

1. Cogumelos. 2. Fungos filamentosos. 3. Biotecnologia. 4. Biomoléculas. 5. Bioquímica. I. Peralta, Rosane Marina (Org.). II. Bracht, Adelar (Org.). III. Souza, Cristina Giatti Marques de (Org.). IV. Castoldi, Rafael (Org.). V. Título.

CDD: 589.222

Índice para catálogo sistemático:
I. Cogumelos
Júlia Marra Torres • Bibliotecária • CRB: SP-011583/O

Copyright © Pimenta Cultural, alguns direitos reservados.

Copyright do texto © 2026 os autores e as autoras.

Copyright da edição © 2026 Pimenta Cultural.

Esta obra é licenciada por uma Licença Creative Commons:
Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional - (CC BY-NC-ND 4.0).
Os termos desta licença estão disponíveis em:
<https://creativecommons.org/licenses/>.
Direitos para esta edição cedidos à Pimenta Cultural.
O conteúdo publicado não representa a posição oficial da Pimenta Cultural.

Direção editorial	Patricia Bieging Raul Inácio Busarello
Editora executiva	Patricia Bieging
Gerente editorial	Landressa Rita Schiefelbein
Assistente editorial	Ana Flávia Pivisan Kobata Júlia Marra Torres
Diretor de criação	Raul Inácio Busarello
Assistente de arte	Naiara Von Groll
Editoração eletrônica	Stela Tiemi Hashimoto Kanada
Estágio em editoração	Emanuelle Vitória Miranda da Silva Rayssa Santos Arrais
Imagens da capa	Chat GPT - AI Generator
Tipografias	Acumin, Acumin Variable Concept, Reel, Thrillers
Revisão	Os organizadores
Organizadores	Rosane Marina Peralta Adelar Bracht Cristina Giatti Marques de Souza Rafael Castoldi

PIMENTA CULTURAL
São Paulo • SP
+55 (11) 96766 2200
livro@pimentacultural.com
www.pimentacultural.com

2026

CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

Doutores e Doutoras

Adilson Cristiano Habowski
Universidade La Salle, Brasil

Adriana Flávia Neu
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Adriana Regina Vettorazzi Schmitt
Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

Aguimario Pimentel Silva
Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Alaim Passos Bispo
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Alaim Souza Neto
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Alessandra Knoll
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Alessandra Regina Müller Germani
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Aline Corso
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Aline Wendpap Nunes de Siqueira
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Ana Rosangela Colares Lavand
Universidade Estadual do Norte do Paraná, Brasil

André Gobbo
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

André Tanus Cesário de Souza
Faculdade Anhanguera, Brasil

Andressa Antunes
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Andressa Wiebusch
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Andreza Regina Lopes da Silva
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Angela Maria Farah
Universidade de São Paulo, Brasil

Anísio Batista Pereira
Universidade do Estado do Amapá, Brasil

Antonio Edson Alves da Silva
Universidade Estadual do Ceará, Brasil

Antonio Henrique Coutelo de Moraes
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil

Arthur Vianna Ferreira
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Ary Albuquerque Cavalcanti Junior
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Asterlindo Bandeira de Oliveira Júnior
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Bárbara Amaral da Silva
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Bernadétte Beber
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Bruna Carolina de Lima Siqueira dos Santos
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Bruno Rafael Silva Nogueira Barbosa
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Caio Cesar Portella Santos
Instituto Municipal de Ensino Superior de São Manuel, Brasil

Carla Wanessa do Amaral Caffagni
Universidade de São Paulo, Brasil

Carlos Adriano Martins
Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil

Carlos Jordan Lapa Alves
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Caroline Chioquetta Lorenset
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Cassia Cordeiro Furtado
Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Cássio Michel dos Santos Camargo
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Cecilia Machado Henriques
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Christiano Martino Otero Avila
Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Cláudia Samuel Kessler
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Cristiana Barcelos da Silva
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

Cristiane Silva Fontes
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Daniela Susana Segre Guertzenstein
Universidade de São Paulo, Brasil

Daniele Cristine Rodrigues
Universidade de São Paulo, Brasil

Dayse Centurion da Silva
Universidade Anhanguera, Brasil

Dayse Sampaio Lopes Borges
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Deilson do Carmo Trindade
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Brasil

Diego Pizarro
Instituto Federal de Brasília, Brasil

Dorama de Miranda Carvalho
Escola Superior de Propaganda e Marketing, Brasil

Edilson de Araújo dos Santos
Universidade de São Paulo, Brasil

Edson da Silva
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

Elena Maria Mallmann
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Eleonora das Neves Simões
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Eliane Silva Souza
Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Elvira Rodrigues de Santana
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Estevão Schultz Campos
Centro Universitário Adventista de São Paulo, Brasil

Éverly Pegoraro
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Fábio Santos de Andrade
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Fabrícia Lopes Pinheiro
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Fauston Negreiros
Universidade de Brasília, Brasil

Felipe Henrique Monteiro Oliveira
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Fernando Vieira da Cruz
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Flávia Fernanda Santos Silva
Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Gabriela Moysés Pereira
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Gabriella Eldereti Machado
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Germano Ehlert Pollnow
Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Universidade Federal do Pará, Brasil

Geymeesson Brito da Silva
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Giovanna Ofretorio de Oliveira Martin Franchi
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Handherson Leyltton Costa Damasceno
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Hebert Elias Lobo Sosa
Universidad de Los Andes, Venezuela

Helciclever Barros da Silva Sales
Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Brasil

Helena Azevedo Paulo de Almeida
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Hendy Barbosa Santos
Faculdade de Artes do Paraná, Brasil

Humberto Costa
Universidade Federal do Paraná, Brasil

Igor Alexandre Barcelos Graciano Borges
Universidade de Brasília, Brasil

Inara Antunes Vieira Willerding
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Jaziel Vasconcelos Dorneles
Universidade de Coimbra, Portugal

Jean Carlos Gonçalves
Universidade Federal do Paraná, Brasil

Joao Adalberto Campato Junior
Universidade Brasil, Brasil

Jocimara Rodrigues de Sousa
Universidade de São Paulo, Brasil

Joelson Alves Onofre
Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Jónata Ferreira de Moura
Universidade São Francisco, Brasil

Jonathan Machado Domingues
Universidade Federal de São Paulo, Brasil

Jorge Eschriqui Vieira Pinto
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Juliana de Oliveira Vicentini
Universidade de São Paulo, Brasil

Juliano Milton Kruger
Instituto Federal do Amazonas, Brasil

Julianno Pizzano Ayoub
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Julierme Sebastião Morais Souza
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Junior César Ferreira de Castro
Universidade de Brasília, Brasil

Katia Bruginski Mulik
Universidade de São Paulo, Brasil

Laionel Vieira da Silva
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Lauro Sérgio Machado Pereira
Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil

Leonardo Freire Marino
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Leonardo Pinheiro Mozdzenski
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Letícia Cristina Alcântara Rodrigues
Faculdade de Artes do Paraná, Brasil

Lucila Romano Tragtenberg
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Lucimara Rett
Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Luiz Eduardo Neves dos Santos
Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Maikel Pons Giralt
Universidade de Santa Cruz do Sul, Brasil

Manoel Augusto Polastreli Barbosa
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Marcelo Nicomedes dos Reis Silva Filho
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Márcia Alves da Silva
Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Marcio Bernardino Sirino
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Marcos Pereira dos Santos
Universidad Internacional Iberoamericana del Mexico, México

Marcos Uzel Pereira da Silva
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Marcus Fernando da Silva Praxedes
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil

Maria Aparecida da Silva Santandel
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Maria Cristina Giorgi
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

Maria Edith Maroca de Avelar
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Marina Bezerra da Silva
Instituto Federal do Piauí, Brasil

Marines Rute de Oliveira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Mauricio José de Souza Neto
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Michele Marcelo Silva Bortolai
Universidade de São Paulo, Brasil

Mônica Tavares Orsini
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Nara Oliveira Salles
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Neide Araujo Castilho Teno
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil

Neli Maria Mengalli
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Patricia Bieging
Universidade de São Paulo, Brasil

Patricia Flavia Mota
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Patrícia Helena dos Santos Carneiro
Universidade Federal de Rondônia, Brasil

Rainei Rodrigues Jadejiski
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Raul Inácio Busarello
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Raymundo Carlos Machado Ferreira Filho
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Ricardo Luiz de Bittencourt
Universidade do Extremo Sul Catarinense, Brasil

Roberta Rodrigues Ponciano
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Robson Teles Gomes
Universidade Católica de Pernambuco, Brasil

Rodiney Marcelo Braga dos Santos
Universidade Federal de Roraima, Brasil

Rodrigo Amancio de Assis
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Rodrigo Sarruge Molina
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Rogério Rauber
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Rosane de Fatima Antunes Obregon
Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Samuel André Pompeo
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Sebastião Silva Soares
Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Silmar José Spinardi Franchi
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Simone Alves de Carvalho
Universidade de São Paulo, Brasil

Simoni Urnau Bonfiglio
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Stela Maris Vaucher Farias
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Tadeu João Ribeiro Baptista
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Taíza da Silva Gama
Universidade de São Paulo, Brasil

Tania Micheline Miorando
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tarcísio Vanzin
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Tascieli Feltrin
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tatiana da Costa Jansen
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Tayson Ribeiro Teles
Universidade Federal do Acre, Brasil

Thiago Barbosa Soares
Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Thiago Camargo Iwamoto
Universidade Estadual de Goiás, Brasil

Thiago Medeiros Barros
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Tiago Mendes de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Vanessa de Sales Marruche
Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Vanessa Elisabete Raue Rodrigues
Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

Vania Ribas Ulbricht
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Vinicius da Silva Freitas
Centro Universitário Vale do Cricaré, Brasil

Wellington Furtado Ramos
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Wellton da Silva de Fatima
Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Wenis Vargas de Carvalho
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

Yan Masetto Nicolai
Universidade Federal de São Carlos, Brasil

PARECERISTAS E REVISORES(AS) POR PARES

Avaliadores e avaliadoras Ad-Hoc

Alcidinei Dias Alves
Logos University International, Estados Unidos

Alessandra Figueiró Thornton
Universidade Luterana do Brasil, Brasil

Alexandre João Appio
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Artur Pires de Camargos Júnior
Universidade do Vale do Sapucaí, Brasil

Bianka de Abreu Severo
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Carlos Eduardo B. Alves
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil

Carlos Eduardo Damian Leite
Universidade de São Paulo, Brasil

Catarina Prestes de Carvalho
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Brasil

Davi Fernandes Costa
Secretaria Municipal de Educação de São Paulo, Brasil

Denilson Marques dos Santos
Universidade do Estado do Pará, Brasil

Domingos Aparecido dos Reis
Must University, Estados Unidos

Edson Vieira da Silva de Camargos
Logos University International, Estados Unidos

Edwins de Moura Ramires
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Elisiene Borges Leal
Universidade Federal do Piauí, Brasil

Elizabete de Paula Pacheco
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Elton Simomukay
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Francisco Geová Goveia Silva Júnior
Universidade Potiguar, Brasil

Indiamaris Pereira
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Jacqueline de Castro Rimá
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Jonas Lacchini
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil

Lucimar Romeu Fernandes
Instituto Politécnico de Bragança, Brasil

Marcos de Souza Machado
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Michele de Oliveira Sampaio
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Nívea Consuêlo Carvalho dos Santos
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Pedro Augusto Paula do Carmo
Universidade Paulista, Brasil

Rayner do Nascimento Souza
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Samara Castro da Silva
Universidade de Caxias do Sul, Brasil

Sidney Pereira Da Silva
Stockholm University, Suécia

Suélen Rodrigues de Freitas Costa
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Thais Karina Souza do Nascimento
Instituto de Ciências das Artes, Brasil

Viviane Gil da Silva Oliveira
Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Walmir Fernandes Pereira
Miami University of Science and Technology, Estados Unidos

Weyber Rodrigues de Souza
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil

William Roslindo Paranhos
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Pimenta Cultural, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.



SUMÁRIO

Rosane Marina Peralta
Adelar Bracht
Cristina Giatti Marques de Souza
Rafael Castoldi
Prefácio 11

CAPÍTULO **1**
Thaís Marques Uber
Cristina Giatti Marques de Souza
Rosane Marina Peralta
O incrível mundo dos cogumelos 15

CAPÍTULO **2**
Amanda Rúbia de Figueiredo Trindade
Camila Gabriel Kato
Rosane Marina Peralta
Cogumelos comestíveis 30

CAPÍTULO **3**
José Rivaldo dos Santos Filho
Cristina Giatti Marques de Souza
Rosane Marina Peralta
Cogumelos como fonte de proteínas alternativas 53

CAPÍTULO **4**
Vinícius Mateus Salvatori Cheute
Adelar Bracht
Rosane Marina Peralta
Cogumelos funcionais e medicinais 84



CAPÍTULO **5**

Samanta Shiraishi Kagueyama
Adelar Bracht
Rosane Marina Peralta
Cogumelos em cosmética **107**

CAPÍTULO **6**

Luís Felipe Oliva dos Santos
Rafael Castoldi
Rosane Marina Peralta
Cogumelos psicodélicos
e cogumelos venenosos **130**

CAPÍTULO **7**

Isadora de Brito Hilario
Rafael Castoldi
Rosane Marina Peralta
Cogumelos ligninolíticos:
soluções verdes para o ambiente **158**

CAPÍTULO **8**

Danielly Maria Paixão Novi
Rúbia Carvalho Gomes Corrêa
Rosane Marina Peralta
A revolução do micélio:
construindo um futuro sustentável **178**

Sobre os autores e as autoras **198**

Índice remissivo **201**



SUMÁRIO

PREFÁCIO

Professora Dra. Rosane Marina Peralta
Professora Titular Sênior do
Departamento de Bioquímica-UEM
Programas de Pós-Graduação em Bioquímica,
Biotecnologia Ambiental e Ciência de Alimentos-UEM

Professor Dr. Adelar Bracht
Professor Titular Sênior do
Departamento de Bioquímica-UEM
Programa de Pós-Graduação em Bioquímica-UEM

Dra. Cristina Giatti Marques de Souza
Professora Associada do
Departamento de Bioquímica-UEM
Programa de Pós-Graduação em Bioquímica

Dr. Rafael Castoldi
Professor Associado do
Departamento de Bioquímica-UEM
Programa de Pós-Graduação em Bioquímica

Os cogumelos ocupam um lugar singular na natureza e na cultura humana. Ao mesmo tempo em que são reconhecidos como alimentos tradicionais e ingredientes de alto valor gastronômico, também despertam interesse crescente como fontes de compostos bioativos, plataformas biotecnológicas e agentes de transformação ambiental. Essa versatilidade não é apenas simbólica: ela reflete a extraordinária diversidade metabólica e ecológica dos fungos, capazes de atuar como decompositores essenciais nos ecossistemas, estabelecer interações complexas com plantas e microrganismos, e produzir moléculas com propriedades nutricionais, terapêuticas e



SUMÁRIO

tecnológicas de grande relevância. Em um cenário global marcado por desafios como mudanças climáticas, insegurança alimentar, poluição ambiental e busca por inovação sustentável, os cogumelos emergem como protagonistas de soluções que conectam ciência, saúde, indústria e economia circular.

Este livro foi concebido para apresentar uma visão integrada e atual sobre os cogumelos, equilibrando fundamentos biológicos sólidos com aplicações contemporâneas. A proposta é oferecer ao leitor uma obra acessível ao público geral, mas estruturada com rigor acadêmico suficiente para servir como literatura de apoio para estudantes e profissionais das áreas de Biologia, Bioquímica, Biotecnologia, Ciência de Alimentos, Farmácia, Engenharia Ambiental e áreas correlatas. Ao longo dos capítulos, o leitor será conduzido por uma jornada que parte da compreensão dos fungos como organismos essenciais à dinâmica dos ecossistemas e avança para sua utilização estratégica em diferentes setores, desde alimentação e saúde até tecnologias ambientais e materiais inovadores.

O **Capítulo 1** apresenta as bases necessárias para compreender o mundo fúngico, incluindo características gerais dos cogumelos, aspectos do ciclo de vida, reprodução e ecologia, além da diversidade morfológica e funcional desses organismos. Essa fundamentação é essencial para compreender por que os cogumelos possuem tamanha plasticidade e por que conseguem se adaptar a condições tão diversas, seja em ambientes naturais, seja em contextos controlados de produção.

O **Capítulo 2** explora os cogumelos comestíveis sob a perspectiva nutricional e cultural, destacando sua composição, relevância como alimentos funcionais e sua importância econômica crescente. São discutidos macronutrientes, fibras, vitaminas, minerais e compostos antioxidantes, além de aspectos relacionados à produção, ao consumo e ao potencial dos cogumelos como parte de dietas mais sustentáveis e diversificadas.



SUMÁRIO

O **Capítulo 3** aprofunda uma das tendências mais marcantes da atualidade: a busca por proteínas alternativas e sistemas alimentares de baixo impacto ambiental. Nesse contexto, os cogumelos e, especialmente, a biomassa micelial são apresentados como recursos promissores para formulações plant-based e substituição parcial de proteínas animais. São discutidas estratégias de cultivo, fermentação submersa e em estado sólido, vantagens e limitações tecnológicas, além de perspectivas de mercado e inovação.

O **Capítulo 4** direciona o foco para os cogumelos como fontes de compostos bioativos e produtos com potencial terapêutico e funcional, discutindo moléculas como polissacarídeos, triterpenos e ergotionina, bem como evidências experimentais e aplicações em suplementos e nutracêuticos. A discussão também aborda desafios essenciais para o avanço do setor, incluindo padronização, variabilidade composicional, segurança e validação científica, reforçando a necessidade de equilíbrio entre tradição, mercado e evidência.

O **Capítulo 5** aborda o potencial dos cogumelos como fontes de bioativos para aplicações cosméticas e cosmecêuticas, destacando sua relevância no contexto da crescente demanda por ingredientes naturais, eficazes e sustentáveis.

O **Capítulo 6** aborda uma dimensão igualmente relevante e frequentemente cercada de curiosidade e controvérsia: os cogumelos psicodélicos e venenosos. O capítulo discute os compostos responsáveis por seus efeitos biológicos, os riscos associados ao consumo inadequado, as causas de intoxicações e o crescente interesse científico em substâncias como a psilocibina. Ao tratar o tema com cuidado técnico e responsabilidade, o capítulo contribui para ampliar a compreensão pública e científica sobre benefícios potenciais, limites de segurança e implicações sociais e regulatórias.

O **Capítulo 7** amplia o olhar para a dimensão ambiental e apresenta os cogumelos ligninolíticos como agentes de biorremediação



capazes de atuar sobre poluentes orgânicos persistentes e, em alguns casos, contribuir para mitigação de metais tóxicos. São discutidos mecanismos enzimáticos (lacases e peroxidases), estratégias aplicadas em solos e efluentes, limitações operacionais e tendências emergentes, evidenciando o potencial de fungos como tecnologias verdes integradas à economia circular.

Por fim, o **Capítulo 8** explora o campo inovador dos biomateriais à base de micélio, com destaque para aplicações em embalagens, design, construção civil e substituição de materiais sintéticos. Esse capítulo posiciona os fungos como elementos centrais na transição para uma bioeconomia mais sustentável, demonstrando que a biotecnologia fúngica não se limita a alimentos e saúde, mas pode redefinir cadeias produtivas e conceitos de materiais no futuro próximo.

Ao reunir esses temas em uma única obra, o livro busca evidenciar que os cogumelos não são apenas organismos fascinantes, mas também recursos estratégicos para o desenvolvimento de soluções sustentáveis, inovadoras e cientificamente fundamentadas. Assim, a leitura propõe ao público uma compreensão ampla e interdisciplinar, capaz de conectar os processos naturais que sustentam ecossistemas à inovação tecnológica que pode transformar mercados e reduzir impactos ambientais. Em última análise, este livro convida o leitor a enxergar os cogumelos como agentes de mudança, silenciosos, porém decisivos, na construção de um futuro mais saudável, resiliente e sustentável.

Os custos de editoração da obra para que fosse possível torná-la de livre acesso a todos os interessados foram cobertos por projetos financiados pelo Conselho de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processo 402692/2025).



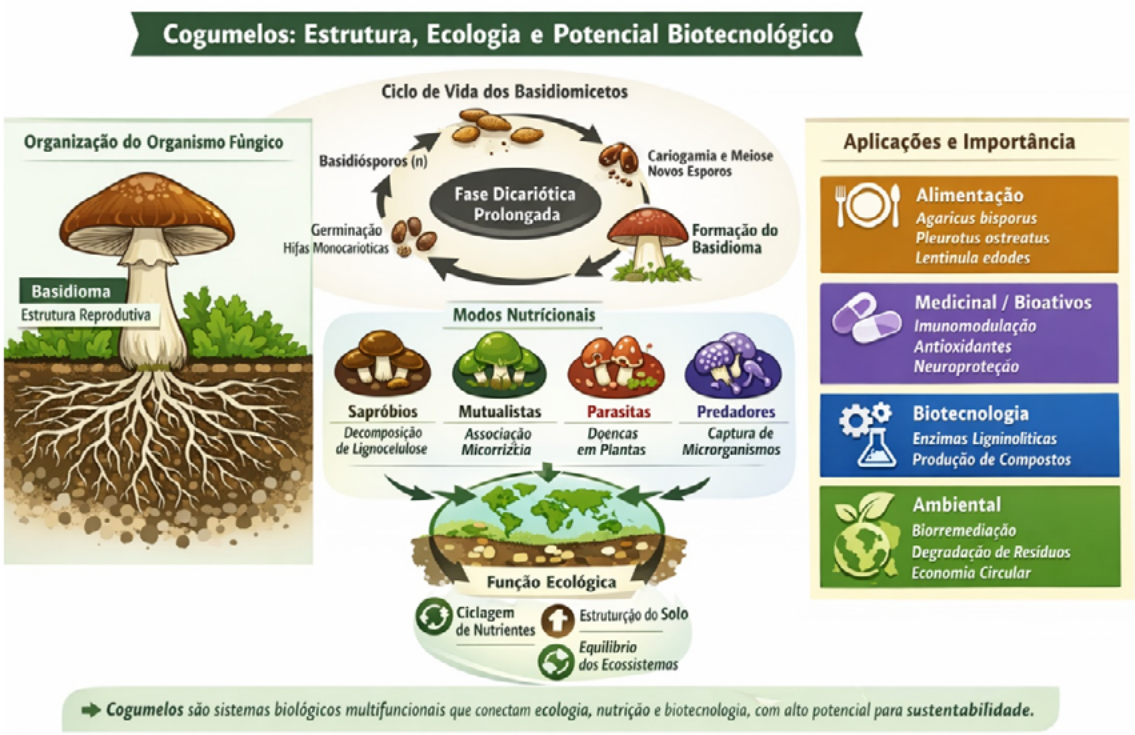
1

Thaís Marques Uber
Cristina Giatti Marques de Souza
Rosane Marina Peralta

O INCRÍVEL MUNDO DOS COGUMELOS

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-732-3.1

SUMÁRIO


Cogumelos: Estrutura, Ecologia e Potencial Biotecnológico
Organização do Organismo Fúngico
Basidioma
Estrutura Reprodutiva
Ciclo de Vida dos Basidiomicetos
Basidiósporos (n)
Cariogamia e Meiose
Novos Esporos
Fase Dicariótica Prolongada
Germinação
Hifas Monocarióticas
Formação do Basidioma
Modos Nutricionais
Sapróbios
Decomposição de Lignocelulose
Mutualistas
Associação Micorrízica
Parasitas
Doencas em Plantas
Predadores
Captura de Microrganismos
Função Ecológica
Ciclagem de Nutrientes
Estruturção do Solo
Equilíbrio dos Ecossistemas
Aplicações e Importância
Alimentação
Agaricus bisporus
Pleurotus ostreatus
Lentinula edodes
Medicinal / Bioativos
Imunomodulação
Antioxidantes
Neuroproteção
Biotecnologia
Enzimas Ligninolíticas
Produção de Compostos
Ambiental
Biorremediação
Degradação de Resíduos
Economia Circular
Cogumelos são sistemas biológicos multifuncionais que conectam ecologia, nutrição e biotecnologia, com alto potencial para sustentabilidade.



SUMÁRIO

RESUMO:

Os cogumelos são estruturas reprodutivas macroscópicas produzidas principalmente por fungos do filo Basidiomycota e, em menor proporção, do filo Ascomycota. Essas estruturas representam apenas a fração visível do organismo fúngico, cuja maior parte corresponde ao micélio, uma rede de hifas responsável pela absorção de nutrientes, crescimento e interação com o ambiente. Nos basidiomicetos, o corpo de frutificação, denominado basidioma, apresenta organização típica com píleo, estipe e lamelas ou poros, onde se localizam os basídios, responsáveis pela produção e liberação de basidiósporos. O ciclo de vida desses fungos é caracterizado por uma fase dicariótica prolongada, na qual o micélio permanece metabolicamente ativo no substrato até que estímulos ambientais, como umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes, induzam a frutificação. Do ponto de vista ecológico, os basidiomicetos desempenham papéis funcionais diversos, atuando como decompositores de matéria orgânica lignocelulósica, parasitas de plantas e outros organismos, simbiontes mutualistas em associações micorrízicas ou, em casos específicos, como predadores de microrganismos. Essas interações contribuem de forma decisiva para a ciclagem de nutrientes, a estruturação dos solos e a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas. Além de sua importância ecológica, os cogumelos possuem elevado valor econômico, nutricional e biotecnológico, sendo amplamente domesticados para consumo alimentar, produção de compostos bioativos, desenvolvimento de biomateriais e aplicações ambientais, o que reforça seu potencial como recurso estratégico para a sustentabilidade e a bioeconomia.

PALAVRAS-CHAVE: basidiomicetos, basidioma, ecologia, massa micelial, nutrição.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

Os cogumelos são estruturas reprodutivas visíveis produzidas por certos fungos, principalmente pertencentes ao filo Basidiomycota e, em menor proporção, ao filo Ascomycota. Eles representam apenas uma pequena parte do organismo fúngico, cuja maior porção é constituída pelo micélio, uma rede de hifas microscópicas que se desenvolve no substrato, como solo, madeira ou matéria orgânica em decomposição. Assim como as flores nas plantas, os basidiomas têm como principal função a produção e dispersão de esporos, garantindo a continuidade da espécie. Além da importância ecológica como decompositores, simbiontes e recicladores de nutrientes, os cogumelos possuem valor nutricional e funcional expressivo, sendo amplamente utilizados na alimentação, na medicina tradicional e na indústria para obtenção de compostos bioativos, nutracêuticos e biomateriais. Estima-se que existam entre 2 e 3 milhões de espécies de fungos no planeta, sendo descritas cerca de 148 mil até o momento, das quais aproximadamente 17 mil produzem corpos de frutificação visíveis. A "melhor estimativa" atual é de aproximadamente 2,5 milhões de espécies fúngicas, das quais mais de 90% ainda não foram descritas.

ESTRUTURA E CICLO DE VIDA DOS BASIDIOMICETOS

Os basidiomicetos apresentam uma estrutura de frutificação denominada basidioma, que pode assumir formas variadas (chapéus, poros, dentes ou estruturas gelatinosas). O basidioma típico é composto por chapéu (píleo), estipe (tronco) e lamelas, onde se localizam os basídios, células especializadas nas quais ocorre a cariogamia

SUMÁRIO

e a meiose, resultando na formação de quatro basidiósporos haploides (Figura 1). O ciclo de vida dos basidiomicetos é caracterizado pela presença de uma fase dicariótica (n + n) prolongada, distinta da alternância de gerações observada nas plantas. Após a germinação dos esporos haploides, formam-se hifas monocarióticas que, ao se fundirem por plasmogamia, originam o micélio dicariótico. Este micélio pode permanecer por longos períodos no substrato, até que condições ambientais adequadas desencadeiem a formação do basidioma, no qual ocorre a cariogamia e a meiose, liberando novos basidiósporos.

Figura 1 - Estruturas básicas e reprodução sexuada dos cogumelos





DIVERSIDADE ECOLÓGICA E MODOS NUTRICIONAIS

Os basidiomicetos apresentam ampla diversidade ecológica e podem ser classificados conforme seu modo de obtenção de nutrientes em quatro grupos:

a. ***Fungos sapróbios ou decompositores***: obtêm nutrientes a partir da decomposição de matéria orgânica morta, desempenhando papel essencial na ciclagem de carbono e nutrientes. Incluem fungos de podridão branca (*white rot*), como *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus* e *Pycnoporus sanguineus*, que degradam lignina, celulose e hemicelulose por meio de enzimas ligninolíticas (lacases, manganês peroxidases e lignina peroxidases) (Figura 2D/E/F). Já os fungos de podridão parda (*brown rot*), como *Gloeophyllum trabeum* e *Postia placenta* e *Fomitopsis betulina*, degradam preferencialmente a celulose e hemicelulose, preservando a lignina, através de reações oxidativas baseadas no sistema Fenton (Figura 2A/B/C). Os cogumelos decompositores secundários, como *Agaricus bisporus* e *Agaricus blazei (*Figura 3), são fungos sapróbios terrícolas que se desenvolvem em substratos ricos em matéria orgânica parcialmente decomposta, como misturas de palha, esterco e resíduos vegetais já fermentados. Diferentemente dos fungos de podridão branca ou parda, que atuam na degradação inicial de lignina e celulose da madeira fresca, os decompositores secundários colonizam materiais onde os compostos complexos já foram previamente transformados em formas mais simples por microrganismos primários. Sua nutrição baseia-se principalmente na assimilação de açúcares solúveis, aminoácidos e compostos derivados da celulose parcialmente hidrolisada, utilizando enzimas como celulases e hemicelulases. Esse tipo de fungo exerce papel crucial

na etapa final da decomposição orgânica, completando o ciclo de reciclagem de nutrientes no solo, além de possuir importância econômica significativa, uma vez que muitas dessas espécies são altamente domesticadas e cultivadas tanto para alimentação quanto para fins medicinais.

Figura 2 - Fungos da podridão da madeira. Podridão parda: (A) *Gloeophyllum trabeum*; (B) *Postia placenta*; (C) *Fomitopsis betulina*; Podridão branca (D) T*rametes versicolor*; (E) *Pleurotus ostreatus*; (F) *Pycnoporus sanguineus.*

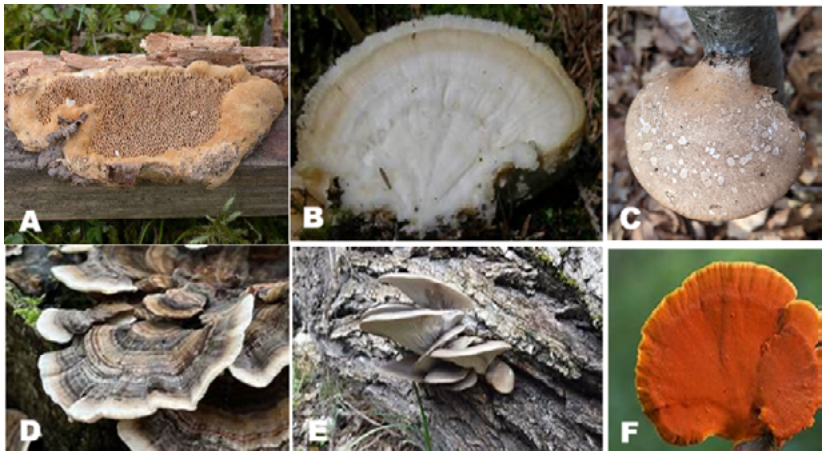


Figura 3 - Fungos sapróbios terrícolas. A: *Agaricus bisporus*; B: *Agaricus blazei*. Ambos são decompositores secundários utilizando substratos parcialmente degradados.





b. ***Fungos parasitas***: retiram nutrientes de organismos vivos, podendo causar doenças em plantas, animais e até em outros fungos. Exemplos incluem *Ustilago maydis* (carvão-do-milho) e *Armillaria mellea* (podridão radicular em árvores). A espécie *Armillaria ostoyae*, encontrada na Floresta Nacional de Malheur (Oregon, EUA) é considerada o maior organismo vivo conhecido, ocupando aproximadamente 965 hectares e podendo atingir até 8.650 anos de idade (Figura 4).

Figura 4 - *Armillaria ostoyae* o maior ser vivo da Terra



c. ***Fungos simbiontes mutualistas***: estabelecem relações de benefício mútuo com plantas (micorrizas), insetos (cultivos simbióticos) e outros organismos. Nas micorrizas ectotróficas, por exemplo, os basidiomicetos formam associações com raízes, auxiliando na absorção de água e nutrientes, enquanto recebem açúcares da planta hospedeira (Figura 5A).

d. ***Fungos predadores ou micoparasitas***: capturam nematoides ou outros fungos utilizando hifas modificadas e produção de toxinas ou estruturas adesivas. O cogumelo parasita *Armillaria mellea* causa a podridão radicular em árvores (Figura 5B). Alguns, como espécies do gênero *Hohenbuehelia*, apresentam interesse biotecnológico por produzirem compostos antimicrobianos e enzimas hidrolíticas (Figura 5C).



Figura 5 - Cogumelos quanto à nutrição. (A) Um cogumelo mutualista (*Cantharellus cibarius*); B: um cogumelo parasita, causador da podridão radicular em árvores (*Armillaria mellea*); C: um cogumelo predador (*Hohenbuehelia bonii*).



IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E POTENCIAL DE DOMESTICAÇÃO

Os basidiomicetos têm importância crescente em setores alimentares, farmacêuticos e ambientais. Espécies como *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus* e *Ganoderma lucidum* são amplamente domesticadas e cultivadas industrialmente. Outras, como *Morchella* spp. e *Cantharellus cibarius*, ainda dependem da coleta silvestre devido a exigências ecológicas complexas. A expansão da domesticação de espécies com potencial medicinal e ambiental representa uma fronteira promissora para a biotecnologia e a sustentabilidade.

A Tabela 1 lista basidiomicetos de interesse econômico, gastronômico, medicinal e ambiental, organizados em ordem alfabética pelo nome científico. Para cada espécie, são descritos seus usos como alimento, alimento funcional, aplicações medicinais, ambientais e outras funções industriais ou tradicionais. A última coluna indica o status de domesticação, categorizando as espécies em quatro níveis:



SUMÁRIO

1. Altamente domesticado (AD): cultivo industrial consolidado, com produção em larga escala.

2. Parcialmente domesticado (PD): cultivo restrito a algumas regiões ou em pequena escala, com processos ainda não padronizados.

3. Minimamente domesticado (MD): produção experimental, geralmente restrita a laboratórios ou projetos de pesquisa.

4. Não domesticado (ND): depende exclusivamente da coleta silvestre, muitas vezes por serem espécies ectomicorrízicas ou com exigências ecológicas complexas.

Essa classificação permite compreender a relação entre o grau de domesticação e os diferentes tipos de usos, evidenciando os desafios e oportunidades para a expansão do cultivo de espécies atualmente obtidas na natureza.

Tabela 1 - Espécies de basidiomicetos, principais usos (alimentares, medicinais, ambientais e industriais) e status de domesticação

Nome Científico Nome comum	Alimentos	Alimentos Funcionais	Medicinais	Ambientais	AD/PD/MD/ND
Agaricus bisporus (champignon de Paris)	Consumido fresco, enlatado ou processado	Compostos antioxidantes e fibras prebióticas	Estudos sobre efeitos imunomoduladores e anticâncer	Compostagem e reciclagem de resíduos orgânicos	AD
Agrocybe aegerita (pioppino)	Utilizado em pratos gourmet e tradicionais	Rico em compostos antioxidantes e fibras	Estudos iniciais sobre atividade antimicrobiana	-	PD
Auricularia auricula-judae (orelha-de-pau)	Tradicional em sopas e saladas na culinária asiática	Polissacarídeos hipoglicemiantes e hipocolesterolêmicos	Atividade anticoagulante e imunomoduladora	-	AD
Bjerkandera adusta	Não consumido	-	Produção de enzimas ligninolíticas	Tratamento de efluentes e biorremediação	PD
Boletus edulis (porcini)	Muito apreciado na gastronomia gourmet	Compostos antioxidantes e polifenóis	Estudos iniciais sobre atividade anti-inflamatória e imunomoduladora	-	ND



SUMÁRIO

Cantharellus cibarius (chanterelle)	Culinária gourmet valorizada	Compostos antioxidantes	Estudos iniciais sobre efeitos imunomoduladores	-	ND
Coprinus comatus (cogumelo-cabeludo)	Consumido jovem, sabor delicado	Compostos antioxidantes e fibras dietéticas	Atividade antidiabética e antioxidante em estudos pré-clínicos	Potencial na degradação de resíduos orgânicos	PD
Craterellus cornucopioides (trombeta-da-morte)	Culinária gourmet	Compostos antioxidantes	-	-	ND
Flammulina velutipes (enoki)	Consumo fresco, em sopas e conservas	Compostos antioxidantes e anti-inflamatórios	Estudos sobre atividade anticâncer e imunomoduladora	-	AD
Fomes fomentarius (tinder fungus)	Não consumido	-	Uso tradicional como antisséptico	-	ND
Ganoderma applanatum	Não utilizado como alimento	-	Uso medicinal tradicional em tônicos antioxidantes	Degradação de poluentes	ND
Ganoderma lucidum (reishi)	Chá e infusões limitadas	-	Imunomodulador, hepatoprotetor, anticâncer	Biorremediação de poluentes	AD
Ganoderma tsugae	Uso similar ao *G. lucidum*	-	Uso medicinal e suplementação	-	AD
Grifola frondosa (maitake)	Uso culinário sofisticado	Beta-glucanas imunomoduladoras	Terapias complementares em diabetes e câncer	-	PD
Gymnopilus junonius	Não utilizado como alimento	-	Produz psilocibina em baixa concentração, uso em neurociência	-	ND
Hericium erinaceus (juba-de-leão)	Culinária gourmet, sabor semelhante a frutos do mar	Compostos neuroprotetores (hericenonas e erinacinas)	Estudos em Alzheimer e Parkinson	-	PD
Hypsizygus marmoreus (hon-shimeji)	Uso culinário em pratos asiáticos	Compostos antioxidantes e fibras	Estudos sobre imunomodulação	-	AD
Hypsizygus tessellatus (bunashimeji)	Uso culinário japonês	Compostos antioxidantes e beta-glucanas	Estudos sobre atividade antitumoral	-	AD



SUMÁRIO

Inonotus obliquus (chaga)	Não consumido	-	Extratos antioxidantes, anti-inflamatórios e imunomoduladores	-	ND
Lentinula edodes (shiitake)	Fresco, seco ou processado em sopas e molhos	Lentinana com atividade imunomoduladora	Terapias complementares anticâncer e antivirais	Degradação de resíduos lignocelulósicos	AD
Morchella spp. (morel)	Culinária de alto valor	Compostos antioxidantes e fibras	Estudos sobre atividade anti-inflamatória	-	PD
Panaeolus cyanescens (blue meanie)	Não consumido	-	Produção alta de psilocibina, estudos em psiquiatria	-	ND
Phellinus linteus	Não consumido	-	Extratos anticâncer e imuno-moduladores		PD
Phanerochaete chrysosporium	Não consumido	-	Produção de peroxidases e lacases	Biorremediação de resíduos industriais	PD
Pholiota nameko (nameko)	Uso culinário japonês	Compostos antioxidantes	Estudos antimicrobianos e anti-inflamatórios	-	PD
Pleurotus citrinopileatus (ostra dourado)	Culinária gourmet	Compostos antioxidantes e fibras	Potencial hipoglicemiante e imunomodulador	Degradação de resíduos agrícolas	AD
Pleurotus djamor (ostra rosa)	Sabor suave, uso gourmet	Compostos antioxidantes e anti-inflamatórios	Estudos antimicrobianos	Biorremediação lignocelulósica	AD
Pleurotus ostreatus (ostra)	Consumido fresco ou processado	Polissacarídeos antioxidantes e antitumorais	Efeito hipocolesterolêmico comprovado	Biorremediação de plásticos e resíduos agrícolas	AD
Pleurotus pulmonarius	Semelhante ao *P. ostreatus*	*Idem*	*Idem*	*Idem*	AD
Pleurotus sajor-caju	Popular em regiões tropicais	Compostos antioxidantes e fibras	Efeito hipoglicemiante e imunomodulador	Biorremediação de resíduos agroindustriais	AD
Pluteus salicinus	Não consumido	-	Produção de psilocibina, foco em pesquisas	-	ND



SUMÁRIO

Psilocybe azurescens	Não consumido	-	Alta produção de psilocibina, estudos em depressão resistente	-	PD
Psilocybe cubensis	Não consumido	-	Estudos clínicos em ansiedade, depressão e TEPT	-	PD
Psilocybe semilanceata (liberty cap)	Não consumido	-	Produção natural de psilocibina, foco em neurociência	-	ND
Pycnoporus sanguineus	Não consumido	-	Produção de lacases para aplicações industriais	Tratamento de efluentes e degradação de corantes	MD
Schizophyllum commune	Consumo restrito em algumas regiões	Polissacarídeos antioxidantes	Produção de schizophyllan com aplicação farmacêutica	Biodegradação de madeira	ND
Stropharia rugosoannulata (wine cap)	Uso em agroflorestas e hortas	Compostos antioxidantes	Estudos sobre bioatividade	Compostagem e regeneração de solo	PD
Tremella fuciformis (cogumelo-da-neve)	Sobremesas e sopas na culinária asiática	Polissacarídeos hidratantes e antioxidantes	Saúde da pele e imunidade	-	AD
Trametes versicolor (cauda-de-peru)	Pouco utilizado como alimento	-	Produção de PSK e PSP. (imunomoduladores)	Tratamento de efluentes e degradação de pesticidas	MD
Tricholoma matsutake (matsutake)	Gastronomia japonesa de luxo	Compostos antioxidantes	Estudos sobre imunomodulação	-	ND
Volvariella volvacea (cogumelo-palha)	Popular na culinária asiática, especialmente em sopas	Compostos antioxidantes e fibras	Estudos sobre efeito hipoglicemiante	Cultivo sustentável em resíduos agrícolas	AD

Resumo da inclusão dos cogumelos psicoativos. Cultivo restrito e controlado: *Psilocybe cubensis* e *Psilocybe azurescens* podem ser cultivados em laboratórios licenciados para pesquisa; somente coleta silvestre: *Psilocybe semilanceata, Panaeolus cyanescens, Gymnopilus junonius, Pluteus salicinus*; Resumo do status de domesticação: AD = altamente domesticado. PD = parcialmente domesticado; MD = minimamente domesticado; ND = não domesticado.



CONCLUSÃO

O estudo dos cogumelos revela um sistema biológico complexo, no qual estruturas aparentemente simples correspondem a organismos altamente organizados, dinâmicos e funcionalmente diversos. Os basidiomicetos desempenham papel central nos ecossistemas terrestres, atuando na decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e em interações ecológicas complexas, como simbioses, parasitismo e predação, reforçando sua importância estrutural nos ambientes naturais. A compreensão da organização do micélio, do ciclo dicariótico e da formação dos basidiomas evidencia a elevada plasticidade desses organismos, permitindo respostas eficientes a estímulos ambientais e contribuindo para sua ampla diversidade.

Do ponto de vista biotecnológico e econômico, os cogumelos destacam-se como recursos estratégicos, tanto pelo uso alimentar quanto pelo potencial de compostos bioativos com atividades antioxidantes, imunomoduladoras e terapêuticas. Aplicações emergentes, como biorremediação, valorização de resíduos lignocelulósicos e desenvolvimento de biomateriais, reforçam seu papel na economia circular. Apesar dos avanços, grande parte da diversidade fúngica permanece inexplorada. Desafios como domesticação de espécies, padronização de cultivos e exploração de metabólitos exigem abordagens integradas envolvendo ecologia, genômica e engenharia de processos. Assim, os cogumelos devem ser entendidos como plataformas biológicas versáteis, essenciais para sustentabilidade ambiental e inovação tecnológica, cujo pleno aproveitamento depende da expansão do conhecimento científico e aplicado.



SUMÁRIO

REFERÊNCIAS

BAUTISTA-ZAMUDIO, J. *et al.* Biodegradation of plastics by white-rot fungi. **Science of the Total Environment**, v. 892, p. 164693, 2023. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165950

HYDE, K. D. *et al.* The 2024 outline of fungi and fungus-like taxa. **Mycosphere**, v. 15, n. 1, p. 2200992, 2024. https://doi.org/ 10.5943/mycosphere/15/1/1

LOSOYA-SIFUENTES, C. *et al*. Edible Mushrooms: a Nutrient-Rich Ingredient for Healthier Food Products – A Review. **Current Nutrition Reports***, v.* 14, p. 9, 2025. https://doi.org/10.1007/s13668-024-00605-0

NAGY, L. G. *et al.* Lessons on fruiting body morphogenesis from genomes and transcriptomes of Agaricomycetes. **Studies in Mycology**, v. 104, p. 1–85, 2023. https://doi.org/10.3114/sim.2022.104.01

NISKANEN, T. *et al.* Pushing the frontiers of biodiversity research: unveiling the global diversity, distribution, and conservation of fungi. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 48, p. 149–176, 2023. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112621-090937

SAHU, N. *et al.* Hallmarks of Basidiomycete Soft- and White-Rot in Wood-Decay -Omics Data of Two *Armillaria* Species. **Microorganisms**, v. 9, p. 149. 2021 https://doi.org/10.3390/microorganisms9010149

SARKAR, T. (ed.). **Mushroom bioactives**: bridging food, biotechnology, and nanotechnology for health and innovation. Cham: Springer, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-032-00789-6

ZHANG, X. *et al.* Cultivation and utilization of edible mushrooms: a review. **Scientia Horticulturae**, v. 140, 107224, 2025. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107224



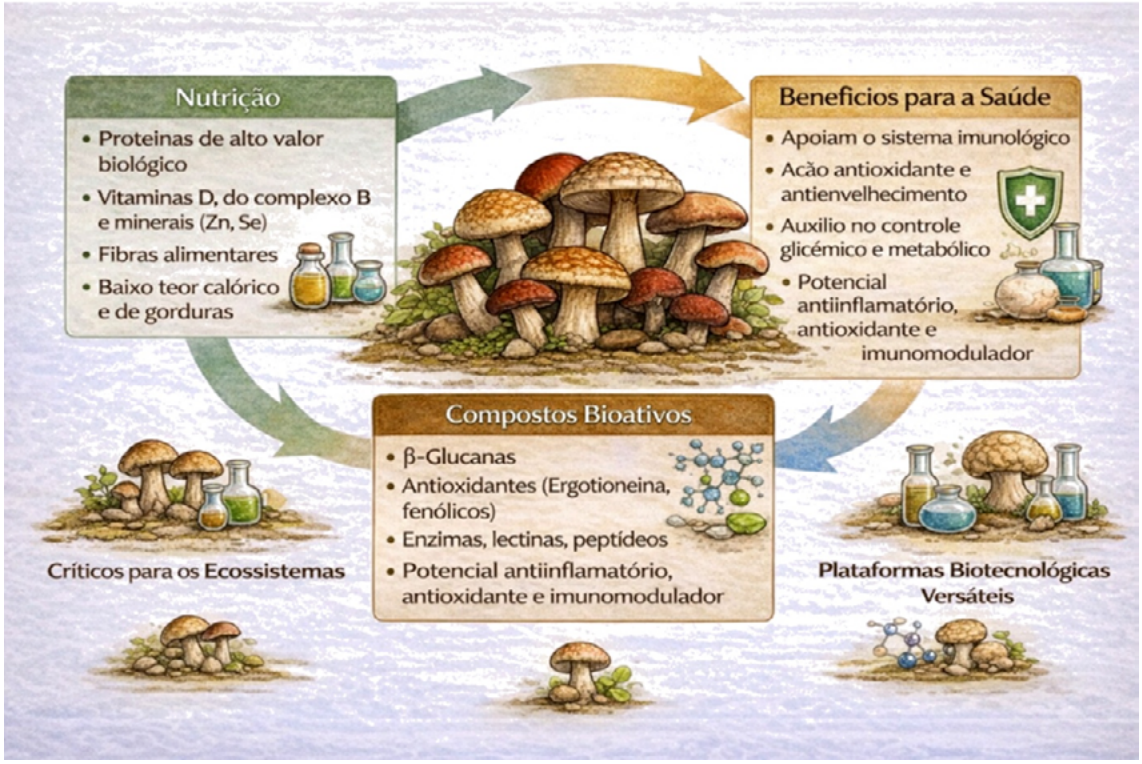
2

Amanda Rúbia de Figueiredo Trindade
Camila Gabriel Kato
Rosane Marina Peralta

COGUMELOS COMESTÍVEIS

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-732-3.2

SUMÁRIO


Nutrição
• Proteinas de alto valor biológico
• Vitaminas D, do complexo B e minerais (Zn, Se)
• Fibras alimentares
• Baixo teor calórico e de gorduras
Beneficios para a Saúde
• Apoiam o sistema imunológico
• Acão antioxidante e antienvelhecimento
• Auxilio no controle glicémico e metabólico
• Potencial antiinflamatório, antioxidante e imunomodulador
Compostos Bioativos
• β-Glucanas
• Antioxidantes (Ergotioneina, fenólicos)
• Enzimas, lectinas, peptídeos
• Potencial antiinflamatório, antioxidante e imunomodulador
Críticos para os Ecossistemas
Plataformas Biotecnológicas Versáteis



SUMÁRIO

RESUMO:

Os cogumelos comestíveis se destacam como alimentos de elevado interesse nutricional e funcional, combinando baixo teor calórico e lipídico com a presença de proteínas de boa qualidade, fibras alimentares e micronutrientes essenciais. Além de contribuírem para a diversificação da dieta, apresentam compostos bioativos relevantes, como β-glucanas, compostos fenólicos, terpenoides, lectinas e, especialmente, a ergotioneína, antioxidante característico de fungos, associada à proteção celular contra estresse oxidativo e potenciais benefícios metabólicos e neuroprotetores. Ao longo da história, o consumo de cogumelos esteve ligado a tradições culturais, gastronômicas e medicinais em diferentes regiões do mundo, variando de ingrediente cotidiano a símbolo de prestígio culinário. O capítulo também aborda a crescente importância econômica da cadeia produtiva de cogumelos, impulsionada pela expansão de dietas vegetarianas e veganas, pelo apelo de alimentos funcionais e pela busca por soluções sustentáveis. Nesse contexto, destaca-se a distinção entre cogumelos cultivados e selvagens: enquanto os cultivados oferecem produção contínua, segurança alimentar e padronização de qualidade, os selvagens apresentam maior exclusividade gastronômica e, muitas vezes, maior concentração de compostos bioativos, embora sejam limitados pela sazonalidade e riscos de contaminação e intoxicação. Adicionalmente, são discutidas tendências contemporâneas, incluindo o avanço tecnológico para domesticação de espécies tradicionalmente silvestres e o desenvolvimento de estratégias de preservação pós-colheita, visando ampliar a vida útil e reduzir perdas. Assim, os cogumelos comestíveis são apresentados como elementos estratégicos na interface entre saúde, inovação alimentar, gastronomia e sustentabilidade, com grande potencial de expansão científica, industrial e socioeconômica.

PALAVRAS-CHAVE: alimentos funcionais, ergotioneína, gastronomia gourmet, β-glucanas, mercado global, sustentabilidade, valor nutricional.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

Os cogumelos comestíveis destacam-se por seu perfil nutricional singular, que os diferencia de outros alimentos de origem vegetal ou animal. Apesar de apresentarem baixo teor calórico e reduzida quantidade de lipídios, são fontes relevantes de proteínas de alta qualidade, ricas em aminoácidos essenciais, o que os torna um complemento importante em dietas com restrição de carne. Além disso, fornecem fibras alimentares insolúveis e solúveis, como a quitina e β-glucanas, que contribuem para o bom funcionamento intestinal e apresentam efeitos benéficos sobre o metabolismo lipídico e glicídico.

Do ponto de vista vitamínico, os cogumelos representam uma das raras fontes alimentares não animais de vitamina D, especialmente a D_2 (ergocalciferol), cuja concentração pode ser aumentada pela exposição do corpo de frutificação à radiação ultravioleta. Além disso, são ricos em vitaminas do complexo B (riboflavina, niacina, ácido fólico) e minerais essenciais, como selênio, potássio, zinco, ferro e cobre, frequentemente encontrados em concentrações superiores às de hortaliças tradicionais.

Os cogumelos são reconhecidos como alimentos funcionais, conceito que vai além do simples aporte nutricional, envolvendo a presença de compostos bioativos capazes de modular processos fisiológicos e reduzir o risco de doenças crônicas. Entre esses compostos, destacam-se:

1. Polissacarídeos (principalmente β-glucanas e heteroglicanas), que apresentam propriedades imunomoduladoras e antitumorais;

2. Terpenoides e compostos fenólicos, com efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e hepatoprotetores;



3. Lectinas e proteínas bioativas, com potenciais efeitos hipoglicemiantes, anti-hipertensivos e antimicrobianos;

4. Ergotioneína, um aminoácido antioxidante de ocorrência quase exclusiva em fungos, considerado como um possível nutriente essencial devido ao seu papel na proteção celular contra estresse oxidativo, além de possuir efeitos anti-inflamatórios, neuroprotetores e auxiliar na longevidade celular.

A soma desses fatores faz dos cogumelos alimentos com elevado valor nutricional e funcional, posicionando-os como aliados na promoção da saúde e na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como obesidade, diabetes tipo 2, hipertensão e câncer. Assim, além de sua importância gastronômica, os cogumelos têm despertado crescente interesse da ciência e da indústria de alimentos funcionais e nutracêuticos. A riqueza química dos cogumelos abre caminhos para o desenvolvimento de produtos inovadores, como cápsulas, extratos concentrados, bebidas funcionais e alimentos enriquecidos. Além disso, a busca por alternativas naturais e sustentáveis aos fármacos sintéticos aumenta o interesse por suplementos à base de cogumelos, especialmente em mercados voltados ao bem-estar e à prevenção de doenças crônicas.

BREVE PANORAMA HISTÓRICO DO CONSUMO DE COGUMELOS

O consumo humano de cogumelos é uma prática milenar que atravessa culturas e continentes, marcada tanto por seu valor alimentício e medicinal quanto por conotações simbólicas e religiosas. Registros arqueológicos sugerem que povos pré-históricos já utilizavam cogumelos como parte de sua dieta, seja como fonte de nutrição ou em rituais xamânicos. Pinturas rupestres encontradas



no Saara Central (datadas de cerca de 7.000 anos atrás) e no México (civilização maia) indicam a associação entre cogumelos e práticas espirituais, apontando para um papel além da alimentação.

Na China antiga, cogumelos eram valorizados por suas propriedades medicinais. Textos clássicos da dinastia Han (206 a.C. – 220 d.C.) mencionam espécies como *Ganoderma lucidum* (reishi ou lingzhi), descrito como o cogumelo da imortalidade, associado à longevidade e à vitalidade. Da mesma forma, no Japão, o cultivo e consumo do *Lentinula edodes* (shiitake) datam de mais de mil anos, sendo empregado como tônico e alimento nobre.

Na região mediterrânea, gregos e romanos consumiam cogumelos tanto pelo sabor quanto pelo status social. O imperador Cláudio, por exemplo, é notoriamente lembrado por ter sido envenenado por cogumelos tóxicos, fato que revela não apenas o fascínio, mas também o risco associado à sua ingestão. Diversos autores clássicos, como Plínio, registraram o consumo de espécies silvestres, destacando tanto suas virtudes quanto os perigos da confusão com espécies venenosas.

Na Europa medieval e renascentista, os cogumelos mantiveram papel ambivalente: considerados iguarias pelas elites, mas muitas vezes evitados pelas classes populares por receio de intoxicações. Foi somente a partir do século XVII que práticas mais sistematizadas de cultivo começaram a se desenvolver, em especial na França, com o *Agaricus bisporus* (champignon de Paris), inaugurando uma nova era de disponibilidade e segurança alimentar.

No México e em outras regiões da América Central, algumas espécies de cogumelos psicoativos (como *Psilocybe spp.*) eram usadas em contextos cerimoniais e religiosos, associados a rituais de cura e comunicação espiritual. A chegada dos colonizadores espanhóis trouxe a repressão desse uso, mas também o registro histórico que hoje confirma sua importância cultural.



SUMÁRIO

Atualmente, o consumo de cogumelos se expandiu globalmente, com ênfase não apenas no sabor e na tradição, mas também no valor nutricional e funcional. Essa trajetória histórica evidencia como os cogumelos transitaram entre o sagrado, o medicinal e o alimentar, consolidando-se como parte relevante da alimentação humana em múltiplos contextos culturais.

PAPEL CULTURAL E GASTRONÔMICO EM DIFERENTES REGIÕES

Os cogumelos ocupam um lugar singular na história cultural e gastronômica da humanidade, sendo valorizados não apenas como alimento, mas também como símbolo de tradição, identidade e sofisticação. Seu consumo e apreciação variam entre regiões, refletindo contextos históricos, ecológicos e sociais.

Na Ásia Oriental (China, Japão e Coreia), os cogumelos sempre tiveram grande importância cultural, integrando-se à filosofia medicinal e à culinária cotidiana. Na China, espécies como *Lentinula edodes* (shiitake), *Auricularia auricula-judae* (orelha-de-pau) e *Tremella fuciformis* (cogumelo-da-neve) são consumidas há séculos e associadas à longevidade, equilíbrio energético e bem-estar. No Japão, o shitake, o *Flammulina velutipes* (enoki) e o *Hypsizygus tessellatus* (buna-shimeji) são protagonistas da gastronomia, compondo pratos tradicionais como nabemono e sopas. Já na Coreia, o *Phellinus linteus* e o shiitake são igualmente utilizados tanto na culinária quanto na fitoterapia.

Na Europa, os cogumelos sempre tiveram um forte valor gastronômico e simbólico. Países como França e Itália destacam-se pela culinária sofisticada com espécies como *Agaricus bisporus* (champignon de Paris), *Boletus edulis* (porcini) e trufas (*Tuber* spp.), consideradas verdadeiras iguarias. As trufas, em particular, assumem



papel de prestígio e luxo, sendo associadas à alta gastronomia e à exclusividade cultural. Na região do Leste Europeu e Rússia, espécies selvagens como *Cantharellus cibarius* (chanterelle) e *Lactarius deliciosus* são coletadas tradicionalmente em florestas, compondo receitas típicas e integrando práticas de subsistência.

No México e em outras regiões da América Central, o papel dos cogumelos transcende a alimentação, integrando práticas religiosas e espirituais ancestrais, especialmente no uso de espécies psicoativas (*Psilocybe* spp.) em cerimônias indígenas. Ao mesmo tempo, espécies como *Pleurotus* spp. (cogumelo-ostra) e *Agaricus bisporus* têm se consolidado na gastronomia moderna, compondo desde pratos tradicionais até releituras da culinária internacional. Já na América do Sul, o consumo de cogumelos ainda é limitado em comparação a outras regiões, mas cresce em países como Brasil, Chile e Argentina, especialmente com a expansão da produção de shiitake e *Pleurotus*, além da valorização cultural de ingredientes nativos em movimentos gastronômicos contemporâneos.

No Brasil, um dos principais desafios enfrentados no cultivo de cogumelos está relacionado ao clima extremamente quente e seco na maior parte do ano e na maior parte do país. A produção de cogumelos ainda é limitada no Brasil, com os produtores concentrados principalmente no estado de São Paulo. O cultivo comercial de cogumelos é mais comum nas regiões Sul e Sudeste do país, com destaque para espécies como *Agaricus bisporus* (champignon), *Lentinula edodes* (shiitake), *Pleurotus sajor-caju* (hiratake), *Pleurotus ostreatus* (shimeji) e, mais recentemente, *Agaricus blazei* (himematsutake), também conhecido popularmente como cogumelo do sol.

Com o crescente interesse pela culinária asiática e o aumento do número de vegetarianos e veganos no país, há uma oportunidade para o mercado de cogumelos no Brasil. No entanto, atualmente, o consumo médio de cogumelos pelos brasileiros é de apenas 160 gramas por ano, o que fica muito abaixo dos impressionantes oito quilos por habitante consumidos na China. Com base em literatura



SUMÁRIO

e levando em consideração os custos de infraestrutura e matéria-prima, é possível produzir um quilo de cogumelos por cerca de R$ 10,00, enquanto o preço de mercado chega a ser de aproximadamente R$ 30,00. Isso indica que o negócio de cultivo de cogumelos apresenta um alto potencial de rentabilidade.

Na África subsaariana, os cogumelos selvagens são coletados sazonalmente e representam uma fonte importante de proteínas e micronutrientes para comunidades locais. Espécies como *Termitomyces* spp., associadas a cupinzeiros, são amplamente consumidas e apreciadas, possuindo também significado cultural e medicinal.

O consumo de cogumelos é menos tradicional no mundo árabe e Oriente Médio, mas vem se ampliando nas últimas décadas com a globalização alimentar e a inserção de espécies cultivadas como champignon e shitake nas dietas locais. Alguns registros históricos mencionam o uso de trufas do deserto (*Terfezia* spp.), muito valorizadas em regiões áridas do Norte da África e da Península Arábica.

Assim, os cogumelos apresentam uma diversidade de papéis que vai do alimento de subsistência ao ingrediente de luxo, passando por usos medicinais, espirituais e culturais. Essa multiplicidade reforça sua relevância como elemento gastronômico global, capaz de unir tradição e inovação culinária.

IMPORTÂNCIA DOS COGUMELOS COMO ALIMENTO FUNCIONAL E FONTE DE NUTRIENTES

Os cogumelos comestíveis destacam-se por sua composição nutricional equilibrada e pela presença de moléculas bioativas, o que os insere na categoria de alimentos funcionais. Em média,



SUMÁRIO

apresentam 85–95% de água e, portanto, baixo valor energético, variando entre 20 e 40 kcal/100 g de peso fresco. Apesar do baixo aporte calórico, fornecem nutrientes relevantes que os diferenciam de vegetais e hortaliças tradicionais.

O teor proteico dos cogumelos frescos varia entre 2-4 g/100 g, podendo alcançar 20-40% da matéria seca, valores comparáveis a algumas leguminosas e superiores a diversas hortaliças. Além disso, as proteínas fúngicas apresentam um perfil de aminoácidos balanceado, com destaque para lisina e leucina, frequentemente limitantes em cereais, o que torna os cogumelos complementares em dietas vegetarianas ou veganas.

Os cogumelos são ricos em fibras alimentares (entre 3-5 g/100 g frescos; até 30% em base seca), incluindo quitina, hemiceluloses e β-glucanas. β-glucanas, em particular, têm sido associadas a propriedades imunomoduladoras, antitumorais e de redução do colesterol.

Os cogumelos representam uma das poucas fontes não animais de vitamina D_2 (ergocalciferol), cuja síntese pode ser estimulada pela exposição ao sol ou luz UV. Estudos indicam que 100 g de cogumelos expostos à radiação UV podem fornecer mais de 10 µg de vitamina D_2, atendendo à ingestão diária recomendada para adultos. Além disso, são ricos em vitaminas do complexo B, possuindo niacina: 3-5 mg/100 g (superior a muitas hortaliças); riboflavina: 0,3–0,5 mg /100 g; ácido fólico: 15–35 µg/100 g.

Minerais essenciais também estão presentes em concentrações expressivas: selênio: 10-30 µg/100 g (o champignon, *Agaricus bisporus*, é uma das principais fontes não animais); potássio: 300-400 mg/100 g, comparável a frutas como banana; ferro: 1-2 mg/100 g; zinco: 0,5-1,5 mg/100 g. Esses valores colocam os cogumelos como uma opção estratégica para a correção de deficiências nutricionais.



Além dos nutrientes clássicos, os cogumelos são fontes de compostos bioativos com efeitos funcionais, tais como ergotioneína: aminoácido antioxidante quase exclusivo dos fungos, com concentrações de 0,1-2 mg/g peso seco, estudado por seu papel na proteção celular contra o estresse oxidativo, fenólicos e terpenoides: associados à atividade antioxidante, anti-inflamatória e hepatoprotetora; lectinas e proteínas bioativas com potenciais efeitos hipoglicemiantes e anti-hipertensivos.

A ergotioneína (EGT) é um aminoácido tiol natural que vem recebendo bastante atenção científica devido às suas propriedades antioxidantes e protetoras celulares. Ela é encontrada principalmente em fungos (cogumelos comestíveis e medicinais) e em alguns microrganismos, sendo considerada um nutracêutico emergente com potencial aplicação em alimentos funcionais, cosméticos e produtos farmacêuticos. A concentração de ergotioneína varia bastante entre espécies de cogumelos (Tabela 1). Em geral, cogumelos silvestres apresentam teores mais elevados do que cogumelos cultivados.

Tabela 1 - Teores de ergotioneína (EGT) em diferentes espécies de cogumelos

Cogumelo	EGT (mg/kg peso seco)	Observações
Pleurotus citrinopileatus (Ostra Dourada)	1.500 - 2.000	Um dos mais ricos em EGT
Pleurotus ostreatus (Ostra comum)	500 – 900	Cogumelo amplamente cultivado
Lentinula edodes (Shiitake)	700 -1.100	Rico também em lentinana e polissacarídeos bioativos
Agaricus bisporus (Champignon de Paris)	500- 1.000	Fonte importante em dietas ocidentais
Boletus edulis (Porcini)	1.200- 1.800	Cogumelo selvagem com elevada concentração de EGT



SUMÁRIO

Flammulina velutipes (Enoki)	600 - 1.000	Alta demanda na culinária asiática
Grifola frondosa (Maitake)	400 -700	Utilizado na medicina tradicional
Hericium erinaceus (Juba de Leão)	400 – 600	Benefícios cognitivos e neuroprotetores

Valores são aproximados e dependem de fatores como método de cultivo, substrato, maturidade do cogumelo e condições de armazenamento.

O consumo regular de cogumelos está associado à redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis, incluindo diabetes tipo 2, doenças cardiovasculares e certos tipos de câncer. Assim, além de representarem um alimento nutritivo, configuram-se como ingredientes estratégicos em dietas funcionais e nutracêuticas, com aplicações crescentes na indústria de suplementos e alimentos enriquecidos. A Figura 1 ilustra como os cogumelos apresentam um perfil nutricional intermediário entre hortaliças e alimentos de origem animal, destacando-se por sua baixa densidade calórica, presença de fibras e micronutrientes como selênio e potássio, além de constituírem uma fonte singular de vitamina D_2.

MERCADO GLOBAL DE COGUMELOS E APELOS PARA O AUMENTO DO CONSUMO

O mercado global de cogumelos foi estimado em US$ 50,3 bilhões em 2025 e deverá se expandir a uma taxa de crescimento anual de 9,7% até 2030. Desse total, os cogumelos comestíveis cultivados representam parcela considerável do mercado de cogumelos.



SUMÁRIO

O aumento da população vegana/vegetariana que exige uma dieta rica em proteínas em todo o mundo é um impulsionador chave para o mercado. Os cogumelos são considerados superalimento graças aos seus conteúdos nutricionais. Os cogumelos são ricos em quatro nutrientes essenciais: selênio, vitamina D, glutationa e ergotioneína. Esses nutrientes ajudam a reduzir o estresse oxidativo e a prevenir ou diminuir o risco de doenças crônicas como câncer, doenças cardíacas e demência. Também graças à presença destas moléculas antioxidantes, os cogumelos têm sido cada vez mais aplicados na cosmética. Além disso, oferecem um forte sabor umami natural, permitindo aos consumidores reduzirem a adição de sal nas refeições de cogumelos em até 40%, trazendo enormes benefícios à saúde.

Figura 1 - Comparação aproximada da composição nutricional de cogumelos comestíveis, hortaliças e carne bovina magra

	Cogumelos comestíveis	Hortaliças (brócolls)	Carne bovina magra
Proteínas (g)	2–4	2,8	20–26
Fibras (g)	3–5 g	2,6	0
Energía (kcal)	20–40	34	250
Vitamina D (µg)	0,2–10	0	0
Niacina (mg)	3–5	0,6	4–6
Riboflavina (mg)	0,3–0,5	0,1	0,2
Ácido folico (µg)	15–35	63	5–10
Selênio (µg)	10–30	2,5	20–30
Potássio (mg)	300–400	316	350
Ferro (mg)	1–2	0,7	2–3
Zinco (mg)	0,5–1,5	0,4	4–6

*Valores de vitamina D em cogumelos podem variar amplamente



SUMÁRIO

CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS COGUMELOS COMESTÍVEIS

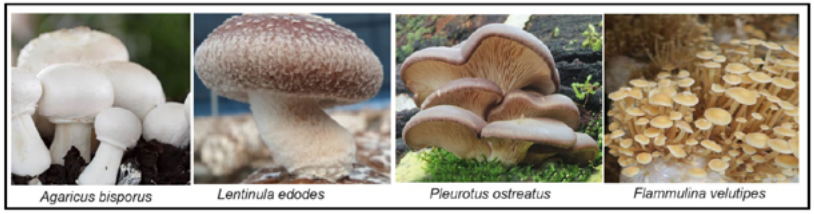
Os cogumelos comestíveis representam um grupo diversificado de fungos que podem ser consumidos por seres humanos, oferecendo não apenas sabor e textura únicos, mas também benefícios nutricionais e funcionais. De forma geral, eles são classificados em duas grandes categorias: cogumelos cultivados, produzidos em ambientes controlados, e cogumelos selvagens, que crescem naturalmente em florestas, campos e outros ecossistemas. Essa distinção é fundamental para compreender diferenças em termos de produção, disponibilidade, qualidade, segurança alimentar, valor econômico e importância cultural.

Os cogumelos cultivados correspondem à maior parte da produção mundial, sendo amplamente utilizados na gastronomia e na indústria alimentícia. Seu cultivo ocorre em sistemas controlados, que permitem regular variáveis ambientais como temperatura, umidade, ventilação, luminosidade e composição do substrato. Esse controle garante a obtenção de cogumelos com qualidade padronizada, segurança para o consumo humano e produção contínua durante todo o ano. Dentre as espécies mais produzidas em escala global, destacam-se: *Agaricus bisporus* (champignon de Paris) o cogumelo mais popular e consumido no mundo, que apresenta sabor suave e versatilidade culinária, podendo ser comercializado fresco, desidratado, congelado ou enlatado (Figura 2); *Pleurotus* spp., como *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus pulmonarius* e *Pleurotus eryngii*, popularmente chamados de cogumelos ostra, que são amplamente cultivados devido ao seu rápido crescimento, adaptação a diferentes resíduos agrícolas e custo relativamente baixo de produção; *Lentinula edodes* (shiitake), tradicional na culinária asiática, possuindo aroma intenso e é reconhecido por suas propriedades funcionais, incluindo a presença de polissacarídeos imunomoduladores, como o lentinano.

SUMÁRIO

Nos últimos anos, outras espécies têm ganhado espaço, como *Flammulina velutipes* (enoki), *Grifola frondosa* (maitake), *Hericium erinaceus* (cogumelo juba de leão) e *Volvariella volvacea* (cogumelo de palha), ampliando a diversidade do mercado.

Figura 2 - Os cogumelos comestíveis cultivados mais consumidos no mundo



O sucesso do cultivo destes cogumelos depende da escolha adequada do substrato e da manutenção de condições ambientais específicas para cada espécie. Os substratos utilizados incluem resíduos agrícolas e agroindustriais, como palha de trigo, serragem, pó de madeira, bagaço de cana-de-açúcar, casca de café e farelo de arroz. O uso desses materiais favorece a sustentabilidade e reduz custos de produção. Além disso, fatores ambientais como temperatura, umidade relativa, pH, ventilação e iluminação devem ser ajustados para promover o crescimento adequado do micélio e a frutificação dos cogumelos. Também são importantes fatores como pasteurização ou esterilização do substrato, inoculação com micélio de alta qualidade (*spawn*), uso de estufas climatizadas e técnicas de controle biológico para prevenir contaminações por fungos competidores ou bactérias.

Avanços como seleção de cepas mais produtivas, melhoramento genético, uso de bioprocessos controlados e fermentação submersa para produção de biomassa micelial têm se destacado, permitindo maior eficiência e inovação no setor. O cultivo controlado oferece benefícios significativos quando comparado à coleta de cogumelos selvagens, especialmente por proporcionar disponibilidade



constante do produto, permitindo a comercialização durante todo o ano; padronização da qualidade, garantindo sabor, textura e composição nutricional uniformes; segurança alimentar, eliminando o risco de confusão com espécies tóxicas; maior controle produtivo, independente das variações climáticas ou ambientais; potencial de inovação, como produção de cogumelos enriquecidos com vitamina D ou cultivados em substratos sustentáveis.

A produção mundial de cogumelos cultivados movimenta bilhões de dólares anualmente. A China lidera o mercado, seguida por países como Estados Unidos, Japão, Itália e Holanda. O setor é responsável por geração de empregos diretos e indiretos, incentivando o desenvolvimento rural e a agregação de valor a resíduos agrícolas. No Brasil, a produção tem crescido de forma expressiva, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, com destaque para o cultivo de shitake e cogumelos ostra. Além de atender à demanda interna, há potencial para expansão em mercados internacionais, especialmente com produtos diferenciados e de alto valor agregado.

Os cogumelos selvagens crescem espontaneamente em ambientes naturais, como florestas, campos e regiões montanhosas. São coletados por pessoas experientes, muitas vezes seguindo tradições locais de coleta, seleção e preparo. Essas espécies possuem alto valor gastronômico e cultural, sendo valorizadas em diversas cozinhas do mundo. Entre as espécies mais reconhecidas estão: *Boletus edulis* (porcini), muito apreciado na culinária europeia por seu sabor intenso e textura firme; *Cantharellus cibarius* (chanterelle), caracterizado por aroma frutado e sabor delicado; *Morchella* spp. (morelas), com formato característico em colmeia e sabor complexo; *Tricholoma matsutake* (matsutake), considerado um ingrediente raro e altamente valorizado na gastronomia japonesa; *Tuber* spp. – trufas, como *Tuber melanosporum* (trufa negra) e *Tuber magnatum* (trufa branca), que atingem preços extremamente elevados no mercado gourmet.



Figura 3 - Cogumelos comestíveis selvagens mais apreciados no mundo



Boletus edulis *Cantharellus cibarius* *Tricholama matsutake*

A coleta de cogumelos selvagens deve ser realizada com responsabilidade para garantir a conservação das espécies e a segurança do consumidor. Algumas recomendações incluem a coleta realizada por pessoas treinadas, capazes de identificar corretamente espécies comestíveis e tóxicas; práticas de manejo sustentável, como evitar a destruição do micélio durante a coleta e alternar áreas de exploração; certificação de origem e rastreabilidade para garantir qualidade e segurança alimentar; monitoramento ambiental para prevenir exploração excessiva que possa comprometer a biodiversidade.

Os maiores desafios associados aos cogumelos selvagens são a sazonalidade, que limita a oferta a determinados períodos do ano; risco de contaminação ambiental, incluindo metais pesados ou pesticidas acumulados no solo; dificuldade de padronização, o que pode afetar a comercialização e exportação; perigo de intoxicação, devido à semelhança visual entre espécies comestíveis e venenosas.

Os cogumelos selvagens ocupam posição de destaque na gastronomia, especialmente em pratos sofisticados. Trufas, matsutake e morelas são consideradas *delicatessens*, com forte apelo em cozinhas gourmet. Em vários países europeus e asiáticos, a coleta de cogumelos faz parte de tradições culturais, sendo celebrada em festivais e mercados especializados que atraem turistas e apreciadores da gastronomia local.



Assim como os cogumelos cultivados, os selvagens são fontes de nutrientes essenciais, incluindo proteínas, fibras, vitaminas e minerais. Muitos deles apresentam teores elevados de compostos bioativos, como antioxidantes naturais e polissacarídeos imunomoduladores, além de moléculas bioativas em concentrações superiores às encontradas em espécies cultivadas. Esses compostos têm despertado o interesse científico para o desenvolvimento de nutracêuticos e produtos funcionais derivados de cogumelos selvagens.

O abastecimento de cogumelos comestíveis silvestres no mercado tem enfrentado vários desafios. Os cogumelos frescos são vulneráveis à deterioração devido à falta de proteção de cutículas, alta umidade, taxa respiratória e atividade enzimática, além da presença de microrganismos. Esses fatores resultam na redução da qualidade dos cogumelos, incluindo perda de umidade, sabor, nutrientes, descoloração e amolecimento. Após a colheita, os cogumelos também sofrem escurecimento devido à perda de água e atividade enzimática. O escurecimento ocorre principalmente pela conversão de fenóis em quinonas, que produzem melanina junto com outras substâncias. Isso resulta em uma vida útil curta após a colheita, afetando tanto o valor nutricional quanto o comercial dos cogumelos.

Há cada vez mais técnicas de processamento ou preservação sendo desenvolvidas para prolongar a vida útil dos cogumelos. Entre essas técnicas, os processos térmicos têm se mostrado os mais populares, incluindo a secagem e o congelamento. Esses processos ajudam a retardar a deterioração da qualidade dos cogumelos comestíveis, controlando a temperatura de armazenamento e a atividade da água. Uma pesquisa interessante demonstrou que a redução da temperatura de armazenamento de 25 °C para 3 °C reduziu em 75% a taxa de escurecimento dos cogumelos. Existem diferentes tipos de técnicas de secagem disponíveis, sendo a secagem com ar quente a mais preferida. Essa técnica utiliza convecção forçada de ar quente para fornecer calor e desidratar os cogumelos. O método de congelamento a vácuo se mostra eficaz para limitar



o crescimento de microrganismos e retardar a deterioração dos cogumelos. Além disso, métodos físicos e químicos têm influência sobre parâmetros como textura, cor e taxa de perda de peso, inibindo a atividade microbiana.

A escolha entre cogumelos cultivados e selvagens envolve diferentes fatores relacionados à disponibilidade, segurança, qualidade e sustentabilidade. Enquanto os cultivados oferecem regularidade e padronização, os selvagens se destacam pela exclusividade gastronômica e riqueza cultural (Tabela 2).

Tabela 2 - Comparação entre cogumelos cultivados e selvagens

Aspecto	Cogumelos cultivados	Cogumelos selvagens
Disponibilidade	Produção contínua, ano todo	Sazonal, restrita a períodos específicos
Padronização	Alta, devido ao controle do cultivo	Variável, influenciada por condições ambientais
Segurança alimentar	Elevada, sem risco de espécies tóxicas	Risco de confusão com espécies venenosas
Perfil nutricional	Rico em fibras, proteínas e vitaminas	Variável, podendo apresentar maior diversidade
Compostos bioativos	Presentes em diversas espécies	Geralmente mais concentrados em espécies raras
Valor gastronômico	Popular e acessível	Exclusivo, com espécies gourmet como trufas
Sustentabilidade	Favorece o uso de resíduos agrícolas	Depende de manejo sustentável da coleta
Preço	Mais acessível	Elevado, devido à raridade e alta demanda

A classificação dos cogumelos em cultivados e selvagens permite compreender a complexidade desse grupo de alimentos. Enquanto os cultivados são fundamentais para o abastecimento contínuo e seguro do mercado, os selvagens representam a conexão com tradições gastronômicas e culturais, além de fornecerem ingredientes raros e de alto valor agregado.



SUMÁRIO

Juntos, esses dois grupos contribuem para a diversidade alimentar, o desenvolvimento econômico e a valorização da biodiversidade, reforçando a importância dos cogumelos na gastronomia, na saúde e na sustentabilidade global.

APLICAÇÕES EM GASTRONOMIA DE PONTA (ALTA COZINHA E PRODUTOS GOURMET) E PERSPECTIVAS

O papel dos cogumelos na gastronomia de ponta vem se fortalecendo nos últimos anos, impulsionado por chefs renomados e pela busca por ingredientes sofisticados e sustentáveis. Restaurantes de alta gastronomia valorizam espécies de sabores complexos, texturas diferenciadas e aromas únicos, como trufas, matsutake, morelas e porcini.

Além do uso tradicional, a inovação culinária tem explorado novas formas de preparo, como: fermentações controladas, que potencializam o sabor umami dos cogumelos; desenvolvimento de molhos, extratos e condimentos gourmet, ampliando a versatilidade do produto; técnicas modernas de gastronomia molecular, que permitem criar texturas e apresentações diferenciadas; integração dos cogumelos em produtos veganos ou vegetarianos premium, substituindo carnes em pratos elaborados.

O interesse pela alta gastronomia tem efeito positivo em toda a cadeia produtiva, incentivando pequenos produtores e fortalecendo o comércio de espécies raras, desde que associado a práticas sustentáveis. O crescimento do setor de cogumelos comestíveis está diretamente relacionado à economia circular e ao uso de recursos renováveis. A produção em larga escala já utiliza resíduos agrícolas



como substratos, transformando materiais de baixo valor em alimentos e ingredientes de alto valor agregado.

Entre as principais perspectivas para cadeias produtivas sustentáveis, destacam-se: aproveitamento integral de resíduos agrícolas, como palha, serragem e bagaço, reduzindo desperdícios e impactos ambientais; certificações de sustentabilidade e origem, que agregam valor aos produtos no mercado global; integração com comunidades rurais, promovendo geração de renda e inclusão social; comércio justo e fortalecimento de cadeias curtas de distribuição, aproximando produtores e consumidores; desenvolvimento de modelos de produção regenerativa, que aliam preservação ambiental e valorização econômica. Essas estratégias contribuem para um mercado mais ético e sustentável, em sintonia com os objetivos globais de desenvolvimento sustentável (ODS).

O mercado global de cogumelos comestíveis está em constante transformação, impulsionado por mudanças nas preferências dos consumidores, avanços tecnológicos no cultivo e crescente valorização de alimentos saudáveis e sustentáveis. As tendências emergentes refletem não apenas o aumento da demanda por espécies tradicionais, mas também o interesse por espécies raras e de maior valor agregado. Além disso, observa-se um movimento em direção à integração entre produção agrícola, gastronomia, saúde e preservação ambiental.

Uma das principais tendências atuais é o desenvolvimento de tecnologias para domesticar espécies tradicionalmente coletadas na natureza, permitindo seu cultivo em ambientes controlados. Esse processo, conhecido como cultivo controlado de espécies selvagens, tem avançado rapidamente graças à pesquisa em biologia do desenvolvimento fúngico, microbiologia e engenharia de substratos.

Espécies como *Morchella* spp. (morelas), *Boletus edulis* (porcini) e *Tricholoma matsutake* (matsutake), antes restritas à coleta



sazonal, já estão sendo cultivadas experimentalmente em países como China, Japão e Estados Unidos. Esse avanço traz benefícios importantes, como: redução da pressão sobre populações naturais, contribuindo para a conservação da biodiversidade; oferta regular e previsível dessas espécies no mercado, superando limitações sazonais; aumento da segurança alimentar, uma vez que o cultivo controlado minimiza o risco de contaminações ambientais; potencial de redução dos preços, tornando espécies gourmet mais acessíveis a consumidores.

Ainda existem desafios a serem superados, como a adaptação de substratos específicos, compreensão dos ciclos reprodutivos e controle preciso das condições ambientais. No entanto, os avanços recentes indicam que a domesticação de espécies selvagens será uma realidade cada vez mais presente na próxima década.

CONCLUSÃO

Os cogumelos comestíveis ocupam uma posição privilegiada na interseção entre alimentação saudável, diversidade cultural e sustentabilidade ambiental. Seu consumo vem crescendo mundialmente, impulsionado pela valorização de dietas equilibradas, pelo interesse em alimentos funcionais e pela busca por ingredientes inovadores na gastronomia.

Para garantir o desenvolvimento equilibrado desse setor, é essencial integrar produção controlada, consumo seguro e preservação das espécies silvestres. Investimentos em pesquisa, tecnologia e práticas sustentáveis são fundamentais para expandir o mercado, proteger ecossistemas e gerar benefícios econômicos e sociais.

Dessa forma, os cogumelos comestíveis não são apenas ingredientes culinários de grande versatilidade, mas também agentes



de transformação socioeconômica e ambiental, com papel estratégico na construção de sistemas alimentares mais saudáveis, diversificados e resilientes.

REFERÊNCIAS

ABDELSHAFY, A. M. *et al.* A comprehensive review on phenolic compounds from edible mushrooms: occurrence, biological activity, application and future prospective. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 22, p. 6204–6224, 2021. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1898335.

EL-RAMADY, H. *et al.* Edible mushrooms for sustainable and healthy human food: nutritional and medicinal attributes. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 4941, 2022. https://doi.org/10.3390/su14094941.

HALLIWELL, B.; TANG, R. M. Y.; CHEAH, I. K. Diet-derived antioxidants: the special case of ergothioneine. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 14, p. 323–345, 2023. https://doi.org/10.1146/annurev-food-060822-122236.

HYDE, K. D. *et al.* The 2024 outline of fungi and fungus-like taxa**. Mycosphere**, v. 15, n. 1, p. 5146-6239, 2024. http://dx.doi.org/10.5943/mycosphere/15/1/25.

KUMAR, K. *et al.* Edible mushrooms: a comprehensive review on bioactive compounds with health benefits and processing aspects. **Foods**, v. 10, n. 12, p. 2996, 2021. https://doi.org/10.3390/foods10122996.

ROYSE, D. J.; BAARS, J. J. P.; TAN, Q. Current overview of mushroom production in the world. *In*: ZIED, D. C.; PARDO-GIMÉNEZ, A. (eds.). **Edible and medicinal mushrooms**: technology and applications. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2017. p. 5–13. https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2

SARKAR, T. (Ed.). **Mushroom bioactives**: bridging food, biotechnology, and nanotechnology for health and innovation. Cham: Springer, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-032-00789-6

ZHANG, X. *et al.* Cultivation and utilization of edible mushrooms: from extraction of active components to effective substrate utilization. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 140, p. 107224, 2025. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107224



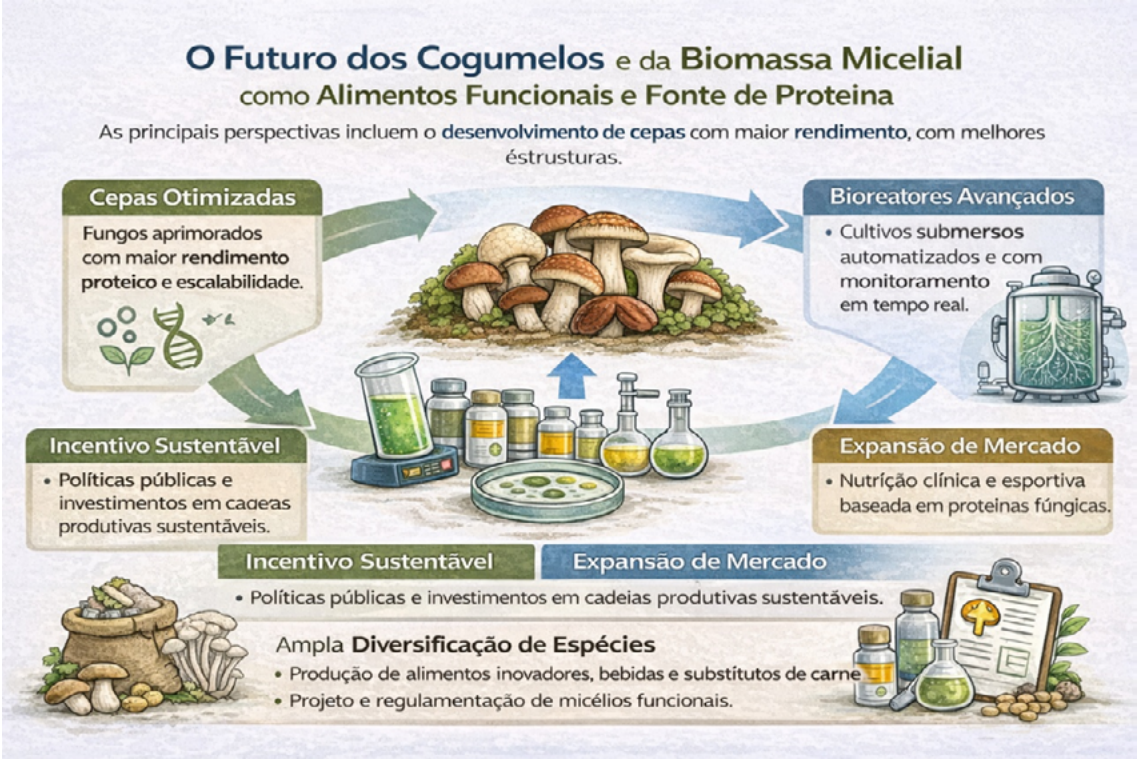
3

José Rivaldo dos Santos Filho
Cristina Giatti Marques de Souza
Rosane Marina Peralta

COGUMELOS COMO FONTE DE PROTEÍNAS ALTERNATIVAS

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-732-3.3

SUMÁRIO


O Futuro dos Cogumelos e da Biomassa Micelial
como Alimentos Funcionais e Fonte de Proteina
As principais perspectivas incluem o desenvolvimento de cepas com maior rendimento, com melhores
éstrusturas.
Cepas Otimizadas
Fungos aprimorados com maior rendimento proteico e escalabilidade.
Bioreatores Avançados
• Cultivos submersos automatizados e com monitoramento em tempo real.
Incentivo Sustentável
• Políticas públicas e investimentos em cadeias produtivas sustentáveis.
Expansão de Mercado
• Nutrição clínica e esportiva baseada em proteinas fúngicas.
Incentivo Sustentável
Expansão de Mercado
• Políticas públicas e investimentos em cadeias produtivas sustentáveis.
Ampla Diversificação de Espécies
• Produção de alimentos inovadores, bebidas e substítutos de carne
• Projeto e regulamentação de micélios funcionais.



SUMÁRIO

RESUMO:

Os desafios globais relacionados à segurança alimentar, às mudanças climáticas e ao crescimento populacional têm impulsionado a busca por fontes alternativas de proteína que sejam sustentáveis, nutritivas e escaláveis. Os cogumelos comestíveis e, principalmente, a biomassa micelial emergem como soluções promissoras para complementar ou substituir parcialmente as proteínas de origem animal, reduzindo impactos ambientais associados à pecuária intensiva. Este capítulo discute o conceito de proteínas de alto valor biológico, destacando a importância do perfil de aminoácidos essenciais e da digestibilidade, com ênfase em índices como PDCAAS e DIAAS. Em seguida, apresenta a relevância dos cogumelos no contexto da "revolução proteica", evidenciando seu bom equilíbrio de aminoácidos e sua capacidade de serem produzidos com baixo consumo de água e terra, frequentemente utilizando resíduos agroindustriais como substratos. O texto aborda o cultivo tradicional de cogumelos, descrevendo espécies amplamente produzidas e fatores críticos para o crescimento, como temperatura, umidade e ventilação. Como alternativa tecnológica, destaca-se a produção de biomassa micelial por fermentação submersa e fermentação em estado sólido, detalhando tipos de biorreatores, composição de meios, estratégias para maximização do teor de proteína e comparações entre os processos. Por fim, o capítulo explora o potencial ambiental, econômico e industrial das proteínas miceliais, incluindo a expansão de mercados, aplicações em alimentos *plant-based* e espécies emergentes com alto valor nutricional e funcional. Conclui-se que cogumelos e micélio representam uma estratégia robusta e alinhada à economia circular para o futuro dos sistemas alimentares.

PALAVRAS-CHAVE: aminoácidos essenciais, biomassa micelial, economia circular, sustentabilidade, valor biológico proteico.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o mundo tem enfrentado desafios crescentes relacionados à segurança alimentar, impulsionados por fatores como o crescimento populacional, mudanças climáticas, urbanização acelerada e aumento do consumo de alimentos de origem animal. Estima-se que a população mundial atinja cerca de 10 bilhões de pessoas até 2050, elevando a demanda por alimentos em aproximadamente 70%. Entre os nutrientes mais críticos, a proteína ocupa posição central, por ser essencial ao crescimento, manutenção e funcionamento do organismo humano.

Tradicionalmente, a maior parte da proteína consumida pela população global provém de fontes animais, como carne, leite, ovos e pescado. No entanto, a produção convencional de proteína animal apresenta limitações significativas, incluindo alto impacto ambiental, com emissões elevadas de gases de efeito estufa, especialmente metano e dióxido de carbono, provenientes de sistemas de pecuária intensiva; uso intensivo de recursos naturais, como água e terra, competindo com áreas destinadas ao cultivo de alimentos vegetais; perda de biodiversidade, causada pela expansão de pastagens e monoculturas voltadas para ração animal; preocupações éticas e de bem-estar animal, que influenciam escolhas alimentares em diversas regiões; vulnerabilidade a crises sanitárias, como surtos de doenças zoonóticas (gripe aviária, peste suína, COVID-19), que podem afetar a cadeia produtiva e a saúde pública.

Esses desafios têm impulsionado uma busca global por fontes alternativas de proteína, capazes de suprir a demanda crescente de forma mais sustentável, segura e ética. Nesse contexto, emergem diferentes categorias de proteínas alternativas: proteínas vegetais, derivadas de leguminosas, cereais, oleaginosas e algas; proteínas de insetos, reconhecidas pelo alto teor proteico e baixa pegada ecológica; proteínas cultivadas em laboratório, como carnes produzidas



a partir de células animais (cultivo celular); proteínas microbianas, obtidas de microrganismos como leveduras, bactérias e fungos, incluindo a biomassa micelial de cogumelos.

A transição para proteínas alternativas é motivada por uma combinação de fatores sociais, econômicos e ambientais que incluem:

1. Sustentabilidade ambiental: consumidores e governos buscam reduzir a pegada de carbono e o impacto ecológico da produção de alimentos.

2. Mudanças no comportamento do consumidor: aumento do número de vegetarianos e veganos em países desenvolvidos e emergentes.

3. Avanços tecnológicos: desenvolvimento de processos industriais inovadores, como fermentação de precisão e biotecnologia aplicada à produção de alimentos.

4. Saúde e bem-estar: maior conscientização sobre os efeitos do consumo excessivo de carne vermelha e ultraprocessados na saúde humana.

5. Políticas públicas e regulações: incentivos governamentais para produção sustentável e redução do desmatamento.

Esses fatores têm fortalecido a chamada "revolução proteica", na qual novos ingredientes e produtos surgem para atender consumidores que buscam alimentos mais sustentáveis e éticos.



O QUE SÃO PROTEÍNAS DE ALTO VALOR BIOLÓGICO?

As proteínas de alto valor biológico são aquelas que apresentam perfil de aminoácidos essenciais completo e balanceado, atendendo às necessidades nutricionais humanas. Aminoácidos essenciais são aqueles que o organismo não consegue sintetizar em quantidades suficientes e, portanto, devem ser obtidos por meio da alimentação. Em adultos, são reconhecidos nove aminoácidos essenciais: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina. Para lactentes, a arginina também é considerada essencial devido às elevadas demandas durante o crescimento.

Além da composição de aminoácidos, outro fator determinante para classificar uma proteína como de alto valor biológico é a sua digestibilidade, ou seja, a eficiência com que ela é hidrolisada no trato gastrointestinal e absorvida como peptídeos e aminoácidos livres. A qualidade proteica pode ser avaliada por índices como PDCAAS (*Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score*) e DIAAS (*Digestible Indispensable Amino Acid Score*), os quais combinam a composição de aminoácidos essenciais com a digestibilidade real medida em estudos fisiológicos. Valores próximos a 1,0 indicam proteínas de qualidade elevada, como aquelas encontradas em ovos, leite e carne.

As proteínas de origem animal, tradicionalmente, têm sido consideradas as principais fontes de alto valor biológico, pois apresentam perfis de aminoácidos completos e alta biodisponibilidade. Contudo, proteínas alternativas de origem vegetal e fúngica, como as obtidas de cogumelos, vêm despertando interesse crescente por apresentarem combinações únicas de aminoácidos, fibras e outros bioativos. Em alguns casos, essas proteínas podem ser



complementares, necessitando da associação com outras fontes para atingir um perfil aminoacídico ideal.

A avaliação da qualidade proteica também leva em conta fatores antinutricionais, como taninos, fitatos e inibidores enzimáticos, que podem reduzir a digestibilidade e a absorção de aminoácidos. Cogumelos, por exemplo, tendem a apresentar baixos níveis desses compostos em comparação a algumas leguminosas, o que favorece sua digestibilidade. Além disso, o processo de cozimento ou processamento pode melhorar a disponibilidade de aminoácidos, tornando a proteína mais funcional para o consumo humano. Dessa forma, compreender os conceitos de valor biológico, digestibilidade e biodisponibilidade é essencial para avaliar o potencial das proteínas provenientes de cogumelos como alternativas sustentáveis às fontes convencionais. Esse entendimento possibilita a formulação de produtos alimentícios equilibrados, capazes de atender às demandas nutricionais, ao mesmo tempo em que contribuem para a sustentabilidade e economia circular no setor alimentício.

Segue uma tabela comparativa mostrando a composição de aminoácidos essenciais em proteínas de cogumelos comestíveis em relação a proteínas de origem animal, como carne bovina e ovo (Tabela 1). Os valores são apresentados em mg de aminoácido por grama de proteína, conforme recomendações do *FAO/WHO (2013)* e dados da literatura recente sobre cogumelos.

Os cogumelos apresentam bom equilíbrio de aminoácidos essenciais, especialmente leucina, lisina e fenilalanina + tirosina. O teor de metionina e triptofano tende a ser menor, indicando que, em dietas exclusivamente baseadas em cogumelos, pode ser necessária a combinação com outras fontes proteicas, como leguminosas ou cereais. A digestibilidade das proteínas de cogumelos, embora inferior à de ovos e carnes, pode ser considerada boa, principalmente após processamento térmico. A associação de proteínas de cogumelos com outras fontes vegetais pode resultar em uma proteína



complementar, atingindo qualidade nutricional comparável às proteínas de origem animal.

Tabela 1 - Comparação da composição de aminoácidos essenciais (mg/g de proteína) entre cogumelos comestíveis, carne bovina e ovo

Aminoácido essencial	*P. ostreatus* (cogumelo ostra)	*L. edodes* (shiitake)	*A. bisporus* (champignon)	Carne bovina	Ovo
Histidina	23	19	18	33	24
Isoleucina	42	37	35	54	40
Leucina	71	67	64	86	70
Lisina	65	61	59	91	60
Metionina + Cisteína	29	27	24	42	56
Fenilalanina + Tirosina	72	70	66	84	93
Treonina	43	39	38	46	47
Triptofano	11	9	8	11	17
Valina	49	45	43	55	50

A IMPORTÂNCIA DOS COGUMELOS NO CENÁRIO DE PROTEÍNAS ALTERNATIVAS

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e outras instituições globais têm apontado a necessidade de diversificar as fontes de proteína, visando reduzir a dependência da pecuária tradicional. Estima-se que o mercado global de proteínas alternativas possa atingir mais de US$ 450 bilhões até 2040, representando uma parcela significativa da indústria



alimentícia. Dentro desse cenário, a produção de cogumelos e biomassa micelial deve ocupar papel de destaque, especialmente pela integração com conceitos de economia circular e sustentabilidade, utilizando resíduos como insumos e contribuindo para sistemas alimentares mais resilientes.

Os cogumelos comestíveis e, especialmente, a biomassa micelial, apresentam grande potencial como fonte alternativa de proteína. Eles oferecem vantagens estratégicas que incluem:

1. Alto teor proteico com perfil de aminoácidos essenciais comparável a alimentos de origem animal.

2. Baixa exigência de recursos naturais, podendo ser cultivados em substratos derivados de resíduos agroindustriais.

3. Produção rápida e escalonável, principalmente em sistemas de fermentação submersa ou em estado sólido.

4. Aceitação cultural crescente, pois já fazem parte da dieta tradicional em muitas regiões do mundo.

5. Versatilidade industrial, permitindo o desenvolvimento de ingredientes para carnes vegetais, suplementos e produtos inovadores.

Enquanto outras fontes, como proteínas de insetos ou carnes cultivadas, ainda enfrentam barreiras culturais e regulatórias, os cogumelos já possuem uma imagem positiva perante consumidores, sendo considerados alimentos naturais e saudáveis.



SUMÁRIO

CULTIVO TRADICIONAL DE COGUMELOS PARA PRODUÇÃO DE PROTEÍNA

O cultivo tradicional de cogumelos é um dos métodos mais antigos e consolidados de obtenção de proteína fúngica para alimentação humana. Esse sistema se baseia na produção do corpo de frutificação (basidioma), que é consumido como alimento fresco ou processado. Embora inicialmente limitado a práticas artesanais, o cultivo evoluiu para uma atividade agroindustrial de grande relevância, responsável por movimentar bilhões de dólares anualmente e fornecer uma fonte significativa de proteína em várias regiões do mundo. O cultivo tradicional tem importância estratégica porque integra tecnologia agrícola, aproveitamento de resíduos agroindustriais e produção de alimentos de alto valor nutricional, sendo um componente essencial na diversificação das cadeias produtivas de alimentos.

A escolha da espécie de cogumelo a ser cultivada depende de fatores como demanda de mercado, facilidade de cultivo, valor gastronômico e perfil nutricional. As espécies com maior destaque são apresentadas na Tabela 2.

O substrato é um elemento fundamental no cultivo de cogumelos, pois fornece os nutrientes necessários para o crescimento do micélio e posterior formação dos corpos de frutificação. A escolha do substrato depende da espécie cultivada e dos recursos disponíveis na região. Alguns dos substratos utilizados são palhas de trigo ou arroz utilizadas para o cultivo de *Pleurotus spp.*, devido à abundância e baixo custo; serragem e pó de madeira, especialmente usados no cultivo de shiitake, simulando o ambiente natural de troncos em decomposição; compostagem à base de esterco e palha, tradicionalmente empregada no cultivo de champignon, resultando em um substrato rico em matéria orgânica. Nos últimos anos, pesquisas têm se concentrado



em aproveitar resíduos agroindustriais, promovendo economia circular e redução do impacto ambiental. Exemplos incluem: bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho e sabugo, casca de café e de cacau, farelo de trigo, arroz ou soja; resíduos de papel e papelão reciclado e subprodutos da indústria cervejeira (borras e grãos úmidos). Esses resíduos não apenas reduzem o custo de produção, mas também contribuem para a valorização de subprodutos agrícolas, transformando-os em proteína de alto valor nutricional.

A produção em larga escala transformou os cogumelos de um alimento sazonal em uma commodity global, disponível durante todo o ano. Países como China, Estados Unidos, Índia, Japão e Itália lideram a produção mundial. Os aspectos positivos da produção em larga escala estão associados ao aumento da oferta proteica, atendendo à crescente demanda por alimentos ricos em nutrientes, padronização de qualidade, permitindo atender mercados internos e exportação, redução de custos de produção, tornando os cogumelos mais acessíveis à população, criação de empregos diretos e indiretos, principalmente em comunidades rurais e integração com cadeias produtivas sustentáveis, como a utilização de resíduos agrícolas como insumo.

Tabela 2 - Principais cogumelos cultivados no mundo

Cogumelo	Características
Agaricus bisporus (Champignon de Paris)	É o cogumelo mais produzido e consumido no mundo, responsável por cerca de 30% a 35% da produção global. Possui sabor suave, textura delicada e ampla aceitação comercial. Pode ser cultivado em sistemas semi-industriais ou industriais, sendo comum em países da Europa, América do Norte e América Latina. Teor proteico médio de 20% a 25% na matéria seca.
Pleurotus spp. (Cogumelos Ostra)	Inclui espécies como *Pleurotus ostreatus, Pleurotus pulmonarius* e *Pleurotus eryngii.* Caracterizam-se pelo rápido crescimento, baixo custo de produção e capacidade de degradar diferentes resíduos lignocelulósicos. São amplamente cultivados em países asiáticos, mas têm ganhado espaço no Brasil e em outros mercados emergentes. Teor proteico médio entre 25% e 30% na matéria seca.



SUMÁRIO

Lentinula edodes (Shiitake)	Tradicionalmente cultivado na Ásia, é valorizado pelo sabor intenso e propriedades funcionais. É o segundo cogumelo mais produzido globalmente, atrás apenas do champignon. Amplamente estudado por seus compostos bioativos, como o lentinano, com potencial imunomodulador. Teor proteico variando entre 18% e 24% na matéria seca.
Flammulina velutipes (Enoki)	Amplamente consumido na culinária oriental, especialmente em sopas e pratos típicos do Japão, China e Coreia. Caracteriza-se por apresentar corpos frutíferos longos, finos e delicados, de coloração branca. Seu cultivo requer temperaturas baixas (10–15 °C). Possui teor proteico médio de 18% a 22% na matéria seca e contém polissacarídeos com potencial atividade antioxidante e imunomoduladora.
Grifola frondosa (Maitake)	Conhecido como "cogumelo da galinha dançante" devido ao formato ramificado de seus corpos frutíferos. Valorizado tanto como alimento quanto por suas propriedades medicinais, incluindo polissacarídeos com atividade imunomoduladora e potencial anticâncer. Cultivado principalmente na Ásia, especialmente no Japão e na China. Teor proteico médio de 20% a 25% na matéria seca.
Volvariella volvacea (Cogumelo de palha)	Muito popular no sudeste asiático, especialmente em países como China, Tailândia e Filipinas. Cultivado em palha de arroz ou outros resíduos agrícolas em climas tropicais e subtropicais. Possui rápido crescimento e ciclo produtivo curto (15–20 dias). Teor proteico médio entre 18% e 21% na matéria seca.

O cultivo tradicional de cogumelos depende de um ambiente controlado, que favoreça o crescimento do micélio e a frutificação. Os principais fatores a serem monitorados estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Principais fatores a serem monitorados durante crescimento dos cogumelos

Fator	Função principal	Faixa ideal (varia por espécie)
Temperatura	Regula crescimento do micélio e formação dos corpos frutíferos	15°C – 25°C
Umidade relativa	Mantém o substrato hidratado e evita ressecamento dos cogumelos	80% – 95%
Ventilação	Evita acúmulo de CO_2 e garante oxigenação adequada	Renovação de ar



SUMÁRIO

Luminosidade	Estimula frutificação em espécies como *Pleurotus* spp.	Luz difusa, 200–500 lux
pH do substrato	Influencia crescimento fúngico e prevenção de contaminações	pH 5,5 – 7,0

O controle preciso desses parâmetros garante uma produção eficiente e minimiza perdas por contaminações ou baixo rendimento. Atualmente, muitas fazendas utilizam tecnologia automatizada, como sensores e sistemas computadorizados, para monitorar e ajustar as condições ambientais em tempo real.

No Brasil, o cultivo de shiitake e *Pleurotus* spp. tem crescido significativamente, impulsionado pelo mercado de alimentação saudável e gastronomia gourmet. A produção ainda é concentrada em pequenas e médias propriedades, mas com potencial para expansão industrial.

Apesar de suas vantagens, o cultivo tradicional dos cogumelos apresenta desafios que limitam sua capacidade de atender, sozinho, à crescente demanda global por proteína. As principais limitações estão associadas:

1. ao tempo de produção elevado, visto que o ciclo de cultivo, desde a inoculação do substrato até a colheita, pode levar várias semanas ou até meses, dificultando respostas rápidas à variação da demanda de mercado;

2. à dependência de condições ambientais específicas considerando que pequenas variações na temperatura ou umidade podem afetar significativamente o rendimento e exigem infraestrutura avançada e alto consumo de energia para climatização;

3. ao risco de contaminações pela presença de fungos competidores e bactérias que podem comprometer safras inteiras e exigem práticas rigorosas de higiene e controle sanitário;



4. às limitações físicas e espaciais, pois a produção tradicional exige áreas físicas consideráveis para instalação de estufas ou galpões que tornam difíceis expansões em áreas urbanas ou regiões de alta densidade populacional.

Uma questão que deve ser considerada é a baixa eficiência na produção de proteína por área e tempo. Embora nutritivos, os cogumelos têm elevada proporção de água (80% a 90%), o que reduz a densidade proteica final em base fresca. Comparativamente, a produção de biomassa micelial em fermentação submersa ou estado sólido pode gerar maior quantidade de proteína em menor tempo.

PRODUÇÃO DE BIOMASSA MICELIAL COMO FONTE DE PROTEÍNAS

O cultivo tradicional de cogumelos desempenha papel fundamental na produção global de proteínas de origem fúngica, oferecendo um alimento nutritivo, seguro e culturalmente aceito. Entretanto, para atender à crescente demanda mundial por proteínas sustentáveis, é necessário complementar esse sistema com métodos inovadores, como a produção de biomassa micelial em fermentadores industriais, capazes de oferecer maior escalabilidade, padronização e sustentabilidade. Essa transição permitirá expandir o papel dos cogumelos na matriz alimentar global, posicionando-os como protagonistas na revolução proteica do século XXI.

A produção de biomassa micelial representa uma inovação na obtenção de proteínas fúngicas, permitindo a geração de um ingrediente altamente nutritivo, escalonável e sustentável.

Ao contrário do cultivo tradicional, que foca na produção do corpo de frutificação (cogumelo visível), esse método explora



a estrutura vegetativa do fungo, o micélio, como produto final. O micélio pode ser cultivado em sistemas fechados e controlados, como fermentadores, utilizando técnicas de fermentação submersa (SmF) ou fermentação em estado sólido (SSF). Esses métodos viabilizam produção em larga escala, maior padronização e menor impacto ambiental, características essenciais para atender à crescente demanda global por proteínas alternativas.

DIFERENÇAS ENTRE BASIDIOMA (COGUMELO FRUTIFICADO) E BIOMASSA MICELIAL

O basidioma é a estrutura reprodutiva do fungo, visível a olho nu, formado em condições específicas de luz, temperatura, ventilação e nutrientes. A sua consistência é firme, possui alta umidade (80-90%) e é utilizado principalmente na alimentação in natura ou processado. Sua produção é cíclica e dependente de condições ambientais controladas.

A biomassa micelial é composta por hifas interligadas, que formam uma rede fibrosa e densa. É a parte vegetativa do fungo, responsável pela absorção e assimilação de nutrientes. É produzida continuamente em fermentadores ou leitos sólidos, sem a necessidade de induzir frutificação. Possui maior teor de matéria seca e proteína por unidade de volume, podendo ser usada diretamente como ingrediente proteico ou após processos de secagem e concentração.

Essa distinção é fundamental para compreender por que a biomassa micelial é considerada mais adequada para produção industrial em larga escala, principalmente quando o objetivo é a obtenção de proteína e não de cogumelos frescos.



A produção de biomassa micelial traz benefícios significativos em relação ao cultivo tradicional. O ciclo produtivo é mais rápido, ocorrendo em poucos dias, enquanto a formação de cogumelos pode levar semanas. Isso permite múltiplos ciclos de produção ao longo do ano. A produção de biomassa micelial permite maior padronização e controle sanitário, pois os cultivos são realizados em sistemas fechados, com controle rigoroso de temperatura, pH, oxigenação e nutrientes, o que reduz o risco de contaminações por microrganismos competidores e garante uniformidade no teor proteico e na qualidade final. Outras vantagens estão associadas ao uso de resíduos agroindustriais como substrato (materiais como farelos, cascas, bagaços e resíduos lignocelulósicos que podem servir como fonte de carbono e nutrientes, o que contribui para a economia circular, transformando resíduos em produtos de alto valor agregado) e ao fato de a produção poder ser realizada em qualquer localidade dispensando a necessidade de áreas agrícolas ou condições climáticas específicas. Essas vantagens fazem da biomassa micelial uma solução estratégica para suprir a demanda global por proteínas de forma sustentável e escalável.

OBTENÇÃO DO MICÉLIO FÚNGICO POR CULTIVOS SUBMERSOS (FERMENTAÇÃO SUBMERSA)

A fermentação submersa é uma técnica biotecnológica em que o micélio cresce em meio líquido, dentro de biorreatores projetados para manter condições ideais de crescimento. É amplamente utilizada na produção de enzimas, antibióticos e outros metabólitos, mas recentemente tem se destacado na produção de proteínas fúngicas (Figura 1).

SUMÁRIO

Os princípios que norteiam os cultivos submersos são:

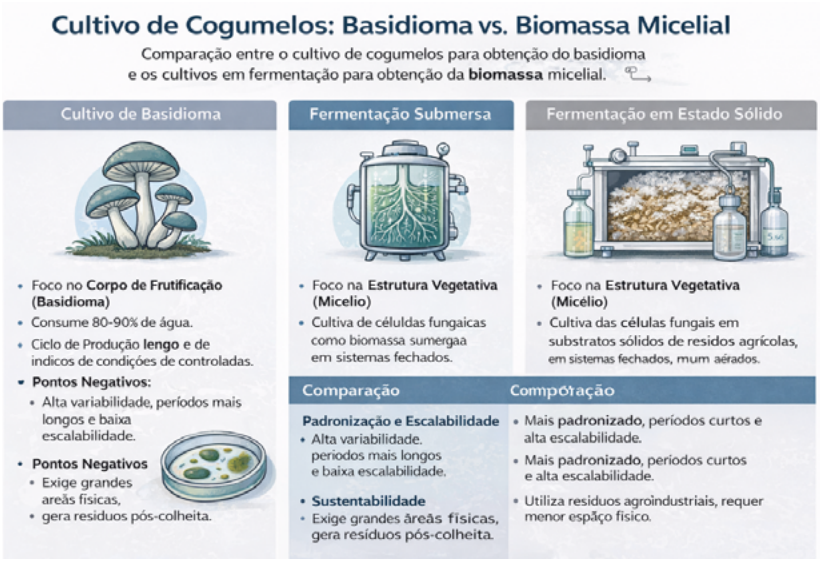
1. O micélio se desenvolve em um líquido contendo fontes de carbono, nitrogênio, sais minerais e vitaminas.

2. O crescimento pode ser disperso (hifas soltas) ou em forma de pellets miceliais, dependendo da agitação e composição do meio.

3. Parâmetros críticos, como pH, oxigenação, temperatura e agitação, são monitorados continuamente.

4. Ao final do processo, a biomassa é separada do líquido, seca e processada para uso como ingrediente proteico.

Figura 1 - Cultivo tradicional (obtenção do basidioma) versus fermentação submersa e em estado sólido (obtenção de biomassa micelial)

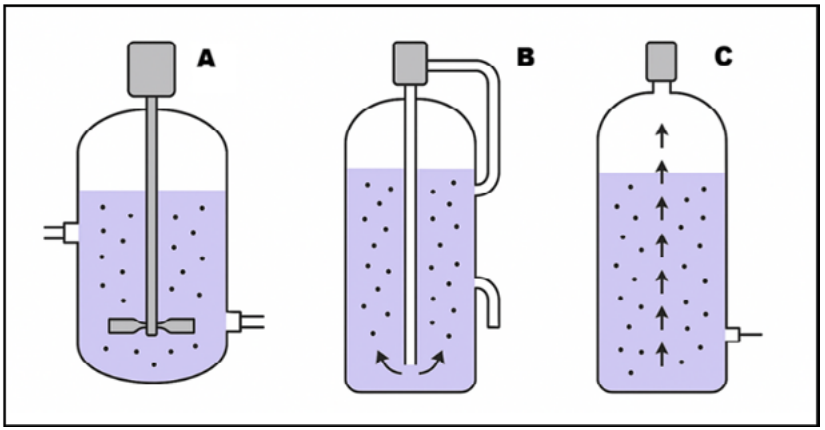


Nos cultivos submersos de fungos filamentosos, a seleção do biorreator é um fator decisivo para o desempenho do processo, pois



influencia diretamente a transferência de oxigênio (kLa), mistura, distribuição de nutrientes, remoção de CO_2, controle térmico e o nível de cisalhamento mecânico imposto ao micélio. De modo geral, três tipos de reatores são amplamente empregados para produção de biomassa micelial e metabólitos em escala laboratorial e industrial (Figura 2): biorreatores agitados (STR), biorreatores airlift e biorreatores de coluna de bolhas.

Figura 2 - Tipos de reatores utilizados nos cultivos submersos. A: biorreator agitado; B: biorreator airlift; C: biorreator de coluna de bolhas



Os biorreatores STR são os sistemas mais difundidos na biotecnologia industrial devido à sua versatilidade operacional, facilidade de instrumentação e capacidade de manter o cultivo altamente homogêneo. São equipados com impelidores (pás mecânicas) e sistemas de aeração que promovem mistura eficiente e, em geral, maior taxa de transferência de oxigênio, sendo especialmente vantajosos em processos que demandam elevada respiração celular e controle rigoroso das variáveis de processo. No entanto, em cultivos de fungos filamentosos, o STR pode induzir tensões de cisalhamento que afetam a integridade do micélio, promovendo fragmentação, alteração de morfologia (pellets vs. micélio disperso) e, consequentemente, mudanças na viscosidade e na produtividade. Assim, é necessário



otimizar parâmetros como velocidade de agitação, geometria do impelidor, taxa de aeração, buscando equilibrar oxigenação e preservação estrutural da biomassa.

Os biorreatores *airlift* utilizam a circulação do meio promovida pela aeração, geralmente organizada em zonas de subida (*riser*) e descida (*downcomer*). Esse desenho permite mistura eficiente com menor gasto energético em comparação ao STR, além de eliminar partes móveis internas, reduzindo custos de manutenção e riscos de contaminação mecânica. Um dos principais benefícios para cultivos miceliais é o baixo cisalhamento, o que favorece a manutenção de estruturas fúngicas mais íntegras e pode contribuir para maior estabilidade em cultivos prolongados. Esses reatores são frequentemente aplicados quando se deseja reduzir danos físicos ao micélio e minimizar formação excessiva de fragmentos. Entretanto, sua eficiência pode ser limitada em meios muito viscosos ou quando o micélio forma agregados densos, o que pode dificultar a circulação e reduzir o desempenho de transferência gasosa.

Os reatores de coluna de bolhas apresentam concepção estrutural simples, consistindo basicamente em um cilindro vertical no qual o ar é injetado na base para promover mistura e fornecimento de oxigênio. Por sua simplicidade, esses sistemas possuem baixo custo de instalação e são frequentemente utilizados em estudos iniciais, otimização de condições de cultivo e produção em menor escala. Assim como no *airlift*, a ausência de componentes mecânicos reduz o cisalhamento e torna o sistema atrativo para biomassa sensível. Contudo, em comparação ao STR, a coluna de bolhas pode apresentar menor controle de mistura e formação de gradientes (principalmente em processos mais densos), além de desempenho variável dependendo do tamanho das bolhas, taxa de aeração e propriedades reológicas do caldo fermentativo. Ainda assim, é uma alternativa robusta e escalonável para aplicações em que simplicidade e economia são prioritárias.



SUMÁRIO

O desenvolvimento de meios de cultura de baixo custo, baseados em subprodutos agroindustriais, é uma prioridade para viabilizar economicamente a produção de biomassa micelial. As estratégias utilizadas para maximizar o crescimento e o teor proteico da massa micelial incluem:

1. Escolhas econômicas de fontes de carbono (resíduos ricos em amido, celulose e sacarose) e nitrogênio (sulfato de amônio, farelo de soja ou resíduos proteicos) além de sais minerais e vitaminas (essenciais para o metabolismo fúngico);
2. Ajuste da razão carbono/nitrogênio (C/N) para estimular síntese proteica;
3. Controle preciso de pH e oxigenação;
4. Uso de estratégias de alimentação contínua (*fed-batch*) para prolongar a fase de crescimento exponencial;
5. Seleção de cepas de fungos com alta taxa de crescimento e elevado teor de proteína.

OBTENÇÃO DO MICÉLIO FÚNGICO EM CULTIVOS EM ESTADO SÓLIDO

A fermentação em estado sólido é um método no qual o micélio cresce sobre substratos sólidos úmidos, sem a presença de líquido livre (Figura 1). É especialmente adequada para fungos filamentosos, que se desenvolvem naturalmente em materiais sólidos na natureza. Esse método tem sido amplamente estudado para produção de enzimas e metabólitos, mas também apresenta grande potencial na produção de biomassa micelial rica em proteína, principalmente quando utiliza resíduos agroindustriais como base. Os princípios do cultivo



em estado sólido são: o micélio coloniza a superfície e os espaços internos do substrato, utilizando os nutrientes disponíveis; a umidade deve ser controlada para garantir crescimento sem encharcamento, geralmente entre 40% e 70%, dependendo do material; não requer agitação constante, mas depende de ventilação adequada para suprir oxigênio e remover CO_2.

Os substratos usados na fermentação em estado sólido são normalmente resíduos agrícolas de baixo custo, o que torna o processo altamente sustentável e econômico. Farelos de cereais como: trigo, arroz e milho; resíduos lignocelulósicos como serragem, bagaço de cana, sabugo de milho, casca de café e cacau; resíduos de frutas e vegetais como polpa de frutas, cascas e fibras; subprodutos industriais como resíduos da indústria cervejeira ou alimentícia.

Comparado ao cultivo submerso, os equipamentos e métodos necessários para a condução do processo em estado sólido são mais simples e econômicos, como bandejas ou leitos estáticos. Estes equipamentos são ideais para produção artesanal ou em pequena escala. Os leitos móveis ou rotativos permitem maior uniformidade na colonização do substrato e reduzem gradientes de temperatura e umidade. Os biorreatores de coluna ou leito fixo são utilizados em processos semi-industriais e industriais e permitem melhor controle de ventilação e temperatura. Em escala industrial há necessidade de biorreatores de grande capacidade, capazes de processar toneladas de substrato, atendendo à produção comercial de biomassa. A Tabela 4 apresenta uma comparação entre a fermentação em estado sólido e a fermentação submersa.

Tabela 4 - Comparação da fermentação em estado sólido com a fermentação submersa

Aspecto	Fermentação Submersa)	Fermentação em Estado Sólido
Custo inicial de instalação	Alto (biorreatores sofisticados)	Baixo a moderado
Consumo de água	Alto	Muito baixo



SUMÁRIO

Flexibilidade de substratos	Baixa (meios líquidos definidos)	Alta (uso de resíduos variados)
Controle de parâmetros	Muito alto (monitoramento contínuo)	Limitado, depende do tipo de equipamento
Risco de contaminação	Baixo (sistema fechado)	Médio a alto (sistema aberto)
Escalabilidade	Muito alta	Alta, mas com desafios logísticos
Tempo de produção	2–10 dias	5–15 dias

A produção de biomassa micelial, seja por fermentação submersa ou estado sólido, representa uma alternativa inovadora e sustentável ao cultivo tradicional de cogumelos. Enquanto a fermentação submersa oferece maior controle e escalabilidade industrial, a fermentação em estado sólido se destaca pelo baixo custo e uso eficiente de resíduos.

A escolha entre os métodos dependerá de fatores como disponibilidade de recursos, infraestrutura, tipo de fungo cultivado e objetivo final do produto. No entanto, ambos têm potencial para atender à crescente demanda por proteínas alternativas, posicionando os cogumelos e seu micélio como protagonistas na revolução alimentar do futuro.

POTENCIAL DOS COGUMELOS E DO MICÉLIO COMO FONTES SUSTENTÁVEIS DE PROTEÍNA

O papel dos cogumelos e, especialmente, da biomassa micelial como fontes sustentáveis de proteína tem ganhado destaque na última década. À medida que a busca por alternativas à proteína animal se intensifica, os cogumelos emergem como



uma solução natural, versátil e de baixo impacto ambiental. Eles não apenas oferecem um perfil nutricional de alta qualidade, mas também apresentam vantagens ecológicas e tecnológicas que os diferenciam de outras fontes alternativas, como proteínas vegetais isoladas, insetos ou carne cultivada.

Os cogumelos comestíveis, como *Agaricus bisporus*, *Pleurotus* spp. e *Lentinula edodes*, são reconhecidos por conter proteínas de alta qualidade, ricas em aminoácidos essenciais necessários para a saúde humana. Em média, a proteína corresponde a 15% a 35% da matéria seca do corpo frutífero, variando de acordo com a espécie e as condições de cultivo. No caso da biomassa micelial, esse teor pode ser ainda maior, chegando a 45% da matéria seca, tornando-a altamente competitiva com fontes convencionais como soja e carne.

Algumas características das proteínas dos cogumelos as tornam de alta qualidade nutricional. Com relação aos aminoácidos essenciais, as proteínas de cogumelos apresentam perfis equilibrados, com destaque para lisina, leucina, valina e treonina, que são limitantes em muitas proteínas vegetais. Estudos demonstram que a digestibilidade das proteínas fúngicas é elevada, comparável à de ovos e laticínios, facilitando sua absorção pelo organismo. Os cogumelos possuem pouca gordura e não contêm colesterol, o que os torna adequados para dietas balanceadas e saudáveis. Além das proteínas, os cogumelos contêm fibras, β-glucanas, vitaminas do complexo B e minerais como selênio e potássio, contribuindo para benefícios funcionais e imunomoduladores. Essa composição única permite que cogumelos e biomassa micelial atendam a diferentes necessidades alimentares, desde a suplementação proteica em dietas veganas até a formulação de produtos funcionais e nutracêuticos.

O micélio, estrutura vegetativa dos fungos, apresenta grande potencial para uso industrial como fonte de proteína. Ao contrário do basidioma (cogumelo tradicional), que depende de ciclos reprodutivos mais longos e condições ambientais específicas, o micélio



pode ser produzido rapidamente e em escala industrial em sistemas de fermentação. Outros fatores associados à produção de proteína micelial que a torna competitiva são:

1. A produção é contínua e escalonável, com menor dependência de fatores sazonais ou climáticos. O processo apresenta alta uniformidade e padronização, facilitando o controle de qualidade. Os cultivos podem ser conduzidos em meios líquidos (fermentação submersa) ou sólidos, aproveitando resíduos agrícolas como farelos, cascas, palhas e bagaços.

2. Baixo risco microbiológico, uma vez que o cultivo pode ser conduzido em ambiente fechado e controlado, reduzindo contaminações.

3. Textura fibrosa natural, que permite uso direto como substituto de carne em alimentos *plant-based*, sem necessidade de processamento complexo.

Por essas características, o micélio tem sido descrito como uma "proteína do futuro", integrando inovação biotecnológica, segurança alimentar e sustentabilidade.

A produção de proteína a partir de micélio se destaca por seu baixo impacto ambiental em comparação com fontes tradicionais (Tabela 5). Estudos de análise do ciclo de vida demonstram que a pegada ecológica do cultivo fúngico é significativamente menor que a da pecuária intensiva e até mesmo que algumas proteínas vegetais industrializadas. Outros aspectos associados ao cultivo de micélio são: produção vertical, com menor ocupação de espaço físico, ideal para áreas urbanas ou regiões com escassez de terra arável, redução do desmatamento, uma vez que não há necessidade de conversão de áreas naturais para pastagens ou monoculturas destinadas a ração e menor geração de resíduos, com possibilidade de reciclagem de subprodutos do cultivo. Essas características tornam o cultivo de micélio uma ferramenta poderosa para mitigar os impactos



ambientais da produção de alimentos, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Tabela 5 - Indicadores ambientais para obtenção de proteínas de diferentes fontes

Indicador Ambiental	Pecuária	Proteínas Vegetais (soja, ervilha)	Micélio de cogumelos
Uso de água	Muito alto (milhares de litros/kg carne)	Moderado	Muito baixo
Uso de terra	Extensivo (pastagens)	Moderado	Muito baixo
Emissões de gases de efeito estufa	Elevadas (CH_4 e CO_2)	Baixas	Muito baixas
Aproveitamento de resíduos	Raro	Parcial	Total (substratos reciclados)

POTENCIAL ECONÔMICO E INDUSTRIAL DAS PROTEÍNAS MICELIAIS

O mercado global de proteínas alternativas está em plena expansão, impulsionado pela crescente demanda por alimentos sustentáveis. Estima-se que o segmento de proteínas derivadas de fungos, incluindo micélio, possa atingir US$ 15 bilhões até 2030, segundo projeções recentes. Fatores que impulsionam esse crescimento são: aumento do número de consumidores vegetarianos e veganos; aceitação cultural mais ampla em relação aos cogumelos, que já fazem parte da dieta em diversas regiões do mundo; avanços em biotecnologia e engenharia de processos, que tornam a produção mais eficiente e competitiva; interesse de startups e grandes empresas alimentícias, que investem na criação de produtos inovadores, como hambúrgueres e carnes *plant-based* à base de micélio;



possibilidade de integrar a produção com cadeias de economia circular, agregando valor a resíduos agrícolas e industriais. Essa combinação de fatores posiciona os cogumelos e o micélio como protagonistas no futuro da indústria alimentícia, com potencial para atender nichos de mercado de alto valor, como produtos gourmet, suplementos proteicos e alimentos funcionais.

Embora outras proteínas alternativas, como as derivadas de insetos ou carnes cultivadas, também apresentem benefícios, o micélio oferece vantagens competitivas únicas como pode ser observado na Tabela 6. Essa comparação evidencia que os cogumelos têm menores barreiras culturais e maior aplicabilidade imediata, facilitando sua introdução em mercados globais.

Tabela 6 - Comparação das proteínas de origem fúngica com outros tipos de proteínas alternativas

Fonte de Proteína	Aceitação do Consumidor	Escalabilidade	Impacto Ambiental	Complexidade Tecnológica
Cogumelos e micélio	Alta (imagem positiva e culturalmente aceita)	Alta	Muito baixo	Média
Proteínas vegetais	Alta	Muito alta	Baixo	Baixa
Proteínas de insetos	Baixa (barreiras culturais)	Alta	Muito baixo	Média
Carne cultivada (cell-based)	Média a baixa (em desenvolvimento)	Baixa (tecnologia emergente)	Baixo	Muito alta



ESPÉCIES EMERGENTES PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA MICELIAL PROTEICA

Enquanto cogumelos amplamente cultivados como *Pleurotus ostreatus* (shimeji), *Lentinula edodes* (shiitake) e *Ganoderma lucidum* são comumente estudados, diversas espécies menos exploradas têm despertado atenção por seu alto teor proteico, perfil funcional e adaptabilidade a cultivos não convencionais.

1. *Schizophyllum commune.* Cogumelo cosmopolita com crescimento robusto em substratos lignocelulósicos. A composição da biomassa micelial pode conter até 25–30% de proteína (base seca), com alta proporção de aminoácidos essenciais como leucina e lisina. Produz β-glucanas e compostos com atividade imunomoduladora. Apresenta rápido crescimento em fermentação submersa e resistência a condições ambientais adversas. Pode ser um substituto proteico em pós fermentados e blends com leguminosas em alimentos extrusados.

2. *Termitomyces spp.* Associados a cupins em regiões tropicais da África, Ásia e América Latina são pouco cultivados, mas com alto valor nutricional. Apresenta elevados teores de proteína de até 35% (base seca), ricos em treonina e triptofano. Estudos demonstram bom crescimento micelial em subprodutos agrícolas (casca de arroz, sabugo de milho). Os desafios estão associados ao fato de serem de difícil domesticação e à dependência de relações simbióticas, o que restringe o cultivo industrial por fermentação em estado sólido, mas técnicas recentes de fermentação líquida têm mostrado bons resultados.

3. *Cordyceps militaris.* São fungos entomopatogênicos com forte atividade biológica e valor funcional. Possuem alto teor proteico (cerca de 30% da biomassa seca), além de conter cordicepina, um composto com propriedades antioxidantes e antitumorais.



SUMÁRIO

Em relação aos cultivos, apresentam excelente adaptabilidade ao cultivo submerso, especialmente em meios contendo resíduos vegetais e melaço. Pode ser incorporado a bebidas funcionais, suplementos e barras proteicas.

4. *Clitopilus passeckerianus.* Espécie conhecida por produzir pleuromutilina, com ação antibacteriana. Ricos em proteínas (25–28%) e fibras alimentares. Quando cultivados em fermentação submersa, permite produção de biomassa proteica e compostos bioativos. Seu micélio pode ser explorado como ingrediente funcional de elevado valor agregado em substitutos de carne com propriedades antimicrobianas naturais.

5. *Marasmius oreades.* É um cogumelo de pradaria, comestível e muito resistente à dessecação. Teores de proteínas comparáveis aos da carne de frango (20–25% base seca) com boa digestibilidade. Podem ser cultivados em fermentação em estado sólido utilizando substrato como palha de trigo e farelo de arroz. Algumas de suas aplicações potenciais são desenvolvimento de texturizados vegetais com perfil sensorial delicado e alta estabilidade de armazenamento.

6. *Auricularia polytricha*, também conhecida como "orelha-de-pau" ou "wood ear mushroom", tem despertado crescente interesse como fonte alternativa de proteínas devido ao seu elevado teor proteico (geralmente entre 15% e 25% em base seca) e à presença de aminoácidos essenciais em proporções equilibradas. Além do conteúdo proteico, esse fungo é rico em fibras solúveis, polissacarídeos bioativos e minerais, o que o torna particularmente interessante para formulações alimentares funcionais e produtos voltados a dietas sustentáveis ou vegetarianas. Sua biomassa micelial pode ser cultivada em substratos lignocelulósicos de baixo custo, como resíduos agroindustriais (bagaço de cana, serragem, cascas de café, etc.), reforçando o conceito de economia circular e reduzindo impactos ambientais. Do ponto de vista tecnológico, as proteínas de *A. polytricha* apresentam boas propriedades funcionais: solubilidade,



capacidade emulsificante e formação de géis, o que permite sua aplicação em análogos de carne, suplementos proteicos e alimentos *plant-based.* Estudos recentes também indicam que hidrolisados de suas proteínas possuem atividade antioxidante e potencial bioativo, o que amplia seu valor agregado. A Tabela 7 apresenta uma comparação das propriedades e aplicações alimentares destes cogumelos emergentes.

Tabela 7 - Biomassa micelial de cogumelos emergentes – Dados nutricionais, tecnológicos e aplicações alimentares

Espécie Fúngica	% Proteína (base seca)	Fermentação Ideal Substratos utilizados	Aplicações alimentares	Status tecnológico / Observações
Schizophyllum commune	25–30%	SmF e SSF. Bagaço de cana, farelo de arroz, serragem	Blends proteicos, sopas enriquecidas, carnes vegetais texturizadas	Produtos-piloto desenvolvidos na Ásia e Europa; versátil e fácil de escalar
Termitomyces spp.	Até 35%	SSF. Casca de arroz, sabugo de milho, bagaço de mandioca	Produtos fermentados, pós funcionais, farinhas para composições mistas	Cultivo simbiótico limitante, mas avanços em SmF vêm sendo relatados
Cordyceps militaris	28–32%	SmF. Resíduos de milho, melaço, farelo de soja	Bebidas energéticas, cápsulas, barras proteicas, substitutos de frango	Diversas patentes na China e Coreia; altamente funcional
Clitopilus passeckerianus	25–28%	SmF. Resíduos de frutas, glicerol, farelo de trigo	Produtos proteicos funcionais com ação antimicrobiana natural	Cultivo simultâneo para produção de antimicrobianos (pleuromutilina)
Marasmius oreades	20–25%	SSF. Palha de trigo, farelo de arroz	Alimentos desidratados ricos em proteínas, sopas instantâneas, snacks	Micélio com excelente estabilidade e leve sabor; ideal para pós-proteicos de longa vida útil
Auricularia polytricha	15–25%	SSF. Serragem de eucalipto, bagaço cítrico	Carne vegetal fibrosa, empanados, bases para sopas e caldos	Rico em fibras e colágeno vegetal*; textura gelatinosa favorece produtos estruturados

*SMF= fermentação submersa; SSF= fermentação em estado sólido. * O colágeno vegetal é um conceito funcional e mercadológico, não uma molécula idêntica ao colágeno animal, mas um conjunto de ingredientes de origem vegetal capazes de estimular, substituir ou imitar suas propriedades estruturais e cosméticas.*



A exploração de espécies fúngicas menos convencionais para produção de biomassa micelial permite diversificação da base biológica para formulação de novos alimentos; aproveitamento de resíduos regionais, como bagaço de mandioca, casca de café e resíduos de frutas tropicais; geração de alimentos funcionais com compostos bioativos específicos de cada espécie; redução de competição agrícola, ao não depender de culturas já usadas na alimentação humana e animal.

CONCLUSÃO

Com os avanços tecnológicos e a crescente demanda por sustentabilidade, o uso de cogumelos e biomassa micelial como fonte proteica tende a se expandir. As principais perspectivas incluem o desenvolvimento de cepas com maior rendimento, inovação em biorreatores para cultivos submersos automatizados, integração em produtos híbridos com proteínas vegetais ou de algas, incentivo por políticas públicas e expansão do mercado para nutrição clínica e esportiva.

Cogumelos e micélio representam uma solução estratégica para desafios globais de segurança alimentar, combinando eficiência produtiva, qualidade nutricional e baixo impacto ambiental. Com o avanço tecnológico e maior aceitação do consumidor, esses organismos tendem a se consolidar como ingredientes-chave em sistemas alimentares mais sustentáveis e resilientes. A diversificação de espécies fúngicas amplia o potencial da biomassa micelial na produção de alimentos inovadores, incluindo bebidas, barras e substitutos de carne. O uso de espécies não convencionais, com alto teor proteico e presença de bioativos, reforça a necessidade de investimento em pesquisa e regulamentação para consolidar o papel dos fungos na alimentação do futuro.



SUMÁRIO

REFERÊNCIAS

AYIMBILA, F.; KEAWSOMPONG, S. Nutritional Quality and Biological Application of Mushroom Protein as a Novel Protein Alternative. **Current Nutrition Reports**, v. 12, p. 290–307 2023. https://doi.org/10.1007/s13668-023-00468-x

FAO; WHO. **Dietary protein quality evaluation in human nutrition**: report of an FAO expert consultation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. ISBN 978-92-5-107417-6.

FINNIGAN, T. J. A.; THEOBALD, H.; BAJKA, B. Mycoprotein: a healthy and sustainable source of alternative protein-based foods. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 16, p. 4.1–4.25, 2024. https://doi.org/10.1146/annurev-food-111523-121802.

GONZÁLEZ, A. *et al.* Edible mushrooms as a novel protein source for functional foods. **Food & Function**, v. 11, n. 9, p. 7400–7414, 2020. https://doi.org/10.1039/D0FO01746A.

HOLT, R. R. *et al.* Mycelium: a nutrient-dense food to help address world hunger, promote health, and support regenerative food systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 72, n. 8, p. 2697–2707, 2024. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c03307.

KALAČ, P. **Edible mushrooms**: chemical composition and nutritional value. London: Academic Press, 2016.

PASHAAEI, K. H. A. *et al.* Edible mushrooms as an alternative to animal proteins for improving human health and food security. **Journal of Health, Population and Nutrition**, v. 43, p. 7, 2024. https://doi.org/10.1186/s41043-024-00701-5.

YOU, S. W. *et al.* Mushrooms as functional and nutritious food ingredients for future foods: a review. **ACS Food Science & Technology**, v. 2, n. 12, p. 1284–1295, 2022. https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00107.



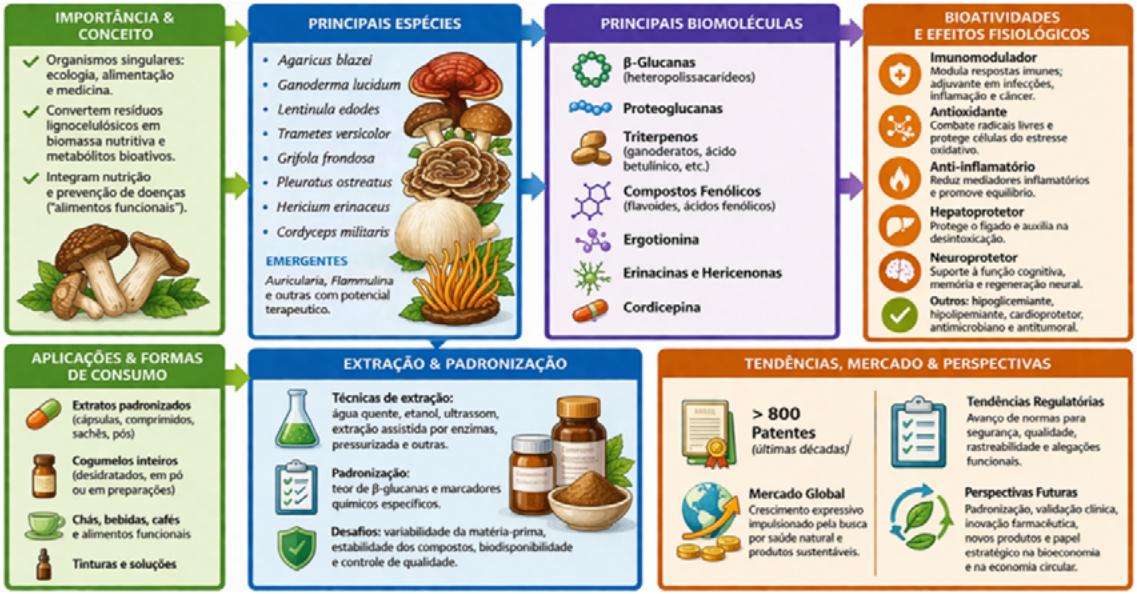
4

Vinícius Mateus Salvatori Cheute
Adelar Bracht
Rosane Marina Peralta

COGUMELOS FUNCIONAIS E MEDICINAIS

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-732-3.4

SUMÁRIO


IMPORTÂNCIA & CONCEITO
Organismos singulares: ecologia, alimentação e medicina.
Convertem resíduos lignocelulósicos em biomassa nutritiva e metabólitos bioativos.
Integram nutrição e prevenção de doenças ("alimentos funcionais").
PRINCIPAIS ESPÉCIES
Agaricus blazei
Ganoderma lucidum
Lentinula edodes
Trametes versicolor
Grifola frondosa
Pleurotus ostreatus
Hericium erinaceus
Cordyceps militaris
EMERGENTES
Auricularia, Flammulina e outras com potencial terapeutico.
PRINCIPAIS BIOMOLÉCULAS
β-Glucanas (heteropolissacarídeos)
Proteoglucanas
Triterpenos (ganoderatos, ácido betulínico, etc.)
Compostos Fenólicos (flavoides, ácidos fenólicos)
Ergotionina
Erinacinas e Hericenonas
Cordicepina
BIOATIVIDADES E EFEITOS FISIOLÓGICOS
Imunomodulador
Modula respostas imunes; adjuvante em infecções, inflamação e câncer.
Antioxidante
Combate radicais livres e protege células do estresse oxidativo.
Anti-inflamatório
Reduz mediadores inflamatórios e promove equilíbrio.
Hepatoprotetor
Protege o fígado e auxilia na desintoxicação.
Neuroprotetor
Suporte à função cognitiva, memória e regeneração neural.
Outros: hipoglicemiante, hipolipemiante, cardioprotetor, antimicrobiano e antitumoral.
APLICAÇÕES & FORMAS DE CONSUMO
Extratos padronizados (cápsulas, comprimidos, sachês, pós)
Cogumelos inteiros (desidratados, em pó ou em preparações)
Chás, bebidas, cafés e alimentos funcionais
Tinturas e soluções
EXTRAÇÃO & PADRONIZAÇÃO
Técnicas de extração: água quente, etanol, ultrassom, extração assistida por enzimas, pressurizada e outras.
Padronização: teor de β-glucanas e marcadores químicos específicos.
Desafios: variabilidade da matéria-prima, estabilidade dos compostos, biodisponibilidade e controle de qualidade.
TENDÊNCIAS, MERCADO & PERSPECTIVAS
> 800 Patentes (últimas décadas)
Mercado Global
Crescimento expressivo impulsionado pela busca por saúde natural e produtos sustentáveis.
Tendências Regulatórias
Avanço de normas para segurança, qualidade, rastreabilidade e alegações funcionais.
Perspectivas Futuras
Padronização, validação clínica, inovação farmacêutica, novos produtos e papel estratégico na bioeconomia e na economia circular.



SUMÁRIO

RESUMO:

Este capítulo apresenta uma visão integrativa sobre cogumelos funcionais e medicinais, destacando sua relevância biotecnológica, nutricional e farmacológica na promoção da saúde e na prevenção de doenças. São discutidas as principais espécies com evidência científica e aplicação nutracêutica, incluindo *Agaricus blazei, Ganoderma lucidum, Lentinula edodes, Trametes versicolor, Grifola frondosa, Pleurotus ostreatus, Hericium erinaceus* e *Cordyceps militaris*, além de espécies emergentes com potencial terapêutico. O texto relaciona as biomoléculas mais importantes produzidas por esses fungos, como β-glucanas, proteoglucanas, triterpenos, compostos fenólicos, ergotionina, erinacinas e cordicepina, às suas principais bioatividades, com ênfase em efeitos imunomoduladores, antioxidantes, anti-inflamatórios, hepatoprotetores, neuroprotetores e adjuvantes em terapias clínicas. Também são abordadas as formas de consumo e apresentação comercial dos produtos, estratégias de extração de bioativos, desafios farmacotécnicos, tendências regulatórias e avanços industriais refletidos no aumento de patentes e no mercado global de cogumelos funcionais. Por fim, são discutidas perspectivas futuras relacionadas à padronização, validação clínica e ao papel dos cogumelos como plataformas sustentáveis de inovação na bioeconomia e na economia circular.

PALAVRAS-CHAVE: cogumelos funcionais, cogumelos medicinais, β-glucanas, imunomodulação, triterpenos.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

Os cogumelos têm sido reconhecidos ao longo da história como organismos singulares na interface entre natureza, alimentação e medicina. Além do seu papel ecológico indispensável na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes, esses fungos se destacam pela notável capacidade de converter substratos lignocelulósicos em biomassa nutritiva e em uma diversidade de metabólitos com alto valor biológico. Essa característica tem estimulado o interesse crescente por cogumelos não apenas como alimentos, mas como fontes estratégicas de compostos bioativos com potencial de aplicação nutracêutica e farmacológica.

Nas últimas décadas, o avanço de ferramentas analíticas (como metabolômica e genômica), aliado à expansão do cultivo controlado e ao aprimoramento dos processos de extração, permitiu a identificação de centenas de moléculas derivadas de cogumelos com atividades relevantes para a saúde humana. Polissacarídeos, triterpenos, fenóis, esteróis, peptídeos e nucleosídeos bioativos compõem um repertório químico capaz de interagir com múltiplas vias fisiológicas, influenciando processos relacionados ao estresse oxidativo, à inflamação, ao metabolismo energético, à integridade hepática e ao funcionamento do sistema imune. Assim, os cogumelos passaram a ocupar um lugar de destaque no conceito moderno de "alimentos funcionais", no qual nutrição e prevenção de doenças se integram de forma sinérgica.

Nesse contexto, os chamados cogumelos funcionais e medicinais têm atraído atenção por sua capacidade de exercer efeitos biológicos amplos, muitas vezes associados não a um único composto isolado, mas à ação combinada de frações bioativas presentes no basidioma e no micélio. Evidências experimentais e clínicas indicam que compostos como β-glucanas, proteoglucanas e triterpenos podem modular mecanismos imunológicos por meio de receptores



celulares específicos, contribuindo para respostas mais equilibradas frente a infecções, inflamação crônica e processos neoplásicos. Além disso, substâncias como ergotionina, cordicepina, erinacinas e hericenonas têm sido investigadas por suas propriedades antioxidantes, citoprotetoras e neuroprotetoras, ampliando o potencial terapêutico desses organismos para além do uso tradicional.

Paralelamente, o mercado global de cogumelos funcionais tem apresentado crescimento expressivo, impulsionado pela busca por estratégias naturais de promoção da saúde e pela demanda por produtos de origem sustentável. Nesse cenário, a biotecnologia fúngica se fortalece como uma área estratégica, não apenas pelo desenvolvimento de ingredientes funcionais e candidatos a fármacos, mas também por sua contribuição aos princípios da economia circular, ao possibilitar a valorização de resíduos agroindustriais como substratos para produção de biomassa e metabólitos de interesse.

Diante desse panorama, este capítulo aborda os cogumelos funcionais e medicinais sob uma perspectiva integrativa, discutindo as espécies de maior relevância, suas principais classes de compostos bioativos, os mecanismos de ação associados e as evidências disponíveis sobre seus efeitos fisiológicos e aplicações terapêuticas. Também são considerados aspectos farmacotécnicos e desafios relacionados à padronização, segurança e regulamentação, fundamentais para consolidar o uso racional e eficaz de produtos derivados de cogumelos em contextos clínicos e nutracêuticos. Para avançar de uma visão geral para uma análise aplicada, a próxima seção reúne as espécies de maior relevância clínica e nutracêutica, enfatizando os compostos bioativos associados e as evidências mais consistentes de seus efeitos terapêuticos.



ESPÉCIES DE COGUMELOS COM PROPRIEDADES FUNCIONAIS E FARMACOLÓGICAS

Diversas espécies de cogumelos comestíveis e medicinais são reconhecidas por seu conteúdo expressivo de metabólitos secundários bioativos e por seus efeitos fisiológicos amplos, atribuídos principalmente a polissacarídeos (β-glucanas, heteropolissacarídeos e proteoglucanas), triterpenos, compostos fenólicos, esteróis e nucleosídeos. Tradicionalmente, gêneros como *Ganoderma, Lentinula, Trametes, Pleurotus, Grifola, Hericium, Flammulina, Cordyceps e Auricularia* ocupam posição de destaque na medicina tradicional oriental e, mais recentemente, vêm sendo amplamente investigados em estudos experimentais e clínicos pela sua relevância na promoção da saúde e como suporte terapêutico complementar. Entre as espécies de maior notoriedade, destaca-se o *Agaricus blazei* (cogumelo-do-sol), que ganhou ampla visibilidade após relatos de benefícios em pacientes submetidos a protocolos de quimioterapia e radioterapia, especialmente relacionados à melhora de parâmetros imunológicos e à redução de efeitos adversos. Evidências controladas sugerem que extratos concentrados podem apresentar efeitos imunomoduladores e antioxidantes, embora seja importante considerar que preparações caseiras (como chás) ou cápsulas de baixa padronização frequentemente não reproduzem os mesmos resultados, reforçando a importância da qualidade do extrato, do método de obtenção e do conteúdo efetivo de bioativos. O *Ganoderma lucidum* (Reishi), conhecido popularmente como "cogumelo da imortalidade", é uma das espécies mais estudadas do ponto de vista farmacológico e biotecnológico. Seus principais compostos bioativos incluem triterpenos do tipo lanostano (especialmente ácidos ganodéricos) e polissacarídeos estruturais e solúveis, frequentemente associados a efeitos hepatoprotetores, antitumorais, anti-inflamatórios e neuroprotetores.



A amplitude dessas atividades está relacionada à capacidade de seus metabólitos modularem vias celulares centrais envolvidas em inflamação, estresse oxidativo, apoptose e imunorregulação, o que explica seu uso recorrente como ingrediente em produtos nutracêuticos e formulações de suporte em diferentes contextos clínicos.

Espécies como *Lentinula edodes (shiitake), Trametes versicolor* e *Grifola frondosa* (maitake) também representam grupos de elevada relevância clínica e translacional, especialmente devido à produção de polissacarídeos bioativos com histórico de aplicação como adjuvantes em terapias oncológicas em alguns países asiáticos. Esses cogumelos são frequentemente citados na literatura por seus efeitos na modulação de células imunes (como macrófagos e células NK), bem como por sua contribuição para a melhora da qualidade de vida em pacientes sob tratamentos intensivos, reforçando a importância de extratos padronizados e bem caracterizados quimicamente. Nos últimos anos, o avanço das técnicas de biotecnologia, metabolômica e genômica comparativa permitiu não apenas identificar novos compostos bioativos, mas também compreender com maior profundidade as rotas metabólicas responsáveis por sua síntese em diferentes espécies. Essa abordagem tem demonstrado que existe uma variabilidade metabólica considerável até mesmo entre cepas do mesmo gênero, e que fatores como tipo de substrato, condições de cultivo, fase de crescimento e método de extração influenciam diretamente o perfil químico e a intensidade dos efeitos biológicos observados. Em cultivos de *Pleurotus ostreatus* e *Lentinula edodes* em resíduos lignocelulósicos, por exemplo, tem sido descrito maior acúmulo de β-glucanas, ergotionina e compostos fenólicos, reforçando o valor tecnológico da produção sustentável de biomoléculas de alto valor agregado.

Além das espécies tradicionalmente estabelecidas, cogumelos menos explorados vêm ganhando destaque na literatura recente devido ao seu perfil químico particular e ao potencial terapêutico em diferentes alvos biológicos. O *Inonotus obliquus* (Chaga), por exemplo,



é frequentemente associado à presença de compostos fenólicos e triterpenos com elevada capacidade antioxidante e efeitos antitumorais em modelos experimentais. Da mesma forma, *Antrodia cinnamomea*, espécie endêmica de Taiwan, tem sido reconhecida por propriedades hepatoprotetoras e antimetastáticas, sendo objeto de crescente interesse farmacológico. Outro caso relevante é o *Schizophyllum commune*, produtor do polissacarídeo *schizophyllan* (SPG), cujo uso como adjuvante em protocolos clínicos de alguns tipos de câncer tem reforçado o valor terapêutico de espécies não convencionais e ampliado o espectro de cogumelos com aplicação biomédica.

Paralelamente, cresce o interesse pela integração de cogumelos à nutrição funcional e à saúde preventiva, impulsionando o desenvolvimento de formulações alimentares e suplementos enriquecidos com extratos fúngicos. Espécies como *Hericium erinaceus* (juba-de-leão) têm sido associadas à melhora da cognição e à prevenção de declínio neurodegenerativo, enquanto *Grifola frondosa* e *Cordyceps militaris* vêm sendo investigadas por efeitos imunoestimulantes e antifadiga, com destaque para seu potencial em modular metabolismo energético e desempenho físico. Nesse cenário, torna-se evidente que o uso combinado de extratos de cogumelos em formulações multifuncionais, visando ações antioxidantes, hipoglicemiantes, anti-inflamatórias e moduladoras da microbiota intestinal, representa uma tendência consolidada tanto na pesquisa translacional quanto no mercado global de nutracêuticos. De forma geral, a diversidade de espécies descritas como funcionais e medicinais evidencia que os cogumelos constituem uma plataforma biológica privilegiada para inovação em saúde, não apenas pelo conteúdo de bioativos, mas pela combinação entre sustentabilidade produtiva, potencial de aplicação clínica e relevância econômica. Assim, compreender as particularidades químicas e funcionais das espécies mais investigadas é essencial para interpretar criticamente os resultados experimentais disponíveis e orientar o desenvolvimento racional de produtos padronizados e seguros.



COGUMELOS FUNCIONAIS:
BIOMOLÉCULAS DE INTERESSE E PRINCIPAIS BIOATIVIDADES

Embora diferentes espécies de cogumelos compartilhem classes gerais de metabólitos bioativos (como β-glucanas, triterpenos, fenólicos e nucleosídeos), a assinatura química predominante pode variar entre gêneros e até mesmo entre cepas. Essa variabilidade impacta diretamente a intensidade e o perfil das respostas biológicas observadas em modelos in vitro, in vivo e em estudos clínicos. Assim, a compreensão integrada entre espécie, biomoléculas predominantes, mecanismo de ação e bioatividade é essencial tanto para o uso racional em saúde quanto para o desenvolvimento de produtos nutracêuticos e farmacêuticos padronizados.

A Tabela 1 relaciona as principais espécies de cogumelos funcionais e medicinais aos seus compostos bioativos, efeitos e aplicações. Em conjunto, essas espécies ilustram que os efeitos terapêuticos atribuídos aos cogumelos não se devem a um único composto isolado, mas à interação entre diferentes classes de biomoléculas e seus alvos fisiológicos.

Tabela 1 - Principais espécies de cogumelos funcionais e medicinais: compostos bioativos, efeitos e aplicações

Espécie (nome comum)	Principais compostos bioativos	Principais efeitos biológicos associados	Aplicações e observações
Agaricus blazei (cogumelo-do-sol)	β-glucanas, proteoglucanas, compostos fenólicos	Imunomodulador, antioxidante, potencial suporte em condições inflamatórias	Muito estudado como suplemento; eficácia depende da padronização do extrato e qualidade do produto



SUMÁRIO

Ganoderma lucidum (Reishi)	Triterpenos (ácidos ganodéricos), polissacarídeos, esteróis	Anti-inflamatório, hepatoprotetor, imunomodulador, potencial antitumoral e neuroprotetor	Um dos mais usados em nutracêuticos; destaca-se pela alta diversidade metabólica
Lentinula edodes (Shiitake)	β-glucanas (lentinana), polissacarídeos, fenólicos	Imunomodulador, antioxidante, suporte metabólico	Amplamente consumido como alimento funcional; extratos têm aplicações tecnológicas e biomédicas
Trametes versicolor (Turkey tail)	Polissacarídeos (PSK/PSP), proteoglucanas	Imunomodulador, potencial adjuvante em terapias oncológicas	Histórico de uso em contextos clínicos em alguns países; exige controle rigoroso de qualidade
Grifola frondosa (Maitake)	β-glucanas, frações polissacarídicas, fenólicos	Imunomodulador, antioxidante, possível efeito metabólico (glicose/lipídios)	Frequente em suplementos; potencial em estratégias de prevenção e suporte metabólico
Pleurotus ostreatus (Shimeji/cogumelo ostra)	β-glucanas, ergotionina, fenólicos, fibras	Antioxidante, anti-inflamatório leve, suporte imunológico e intestinal	Excelente uso alimentar e biotecnológico; bom candidato para cultivo em resíduos agroindustriais
Hericium erinaceus (Juba-de-leão)	Erinacinas, hericenonas, polissacarídeos	Neuroprotetor, potencial suporte cognitivo e neuromodulador	Muito explorado em suplementos para saúde mental/cognição; interesse crescente em estudos translacionais
Cordyceps militaris	Cordicepina, polissacarídeos, nucleosídeos	Antifadiga, imunomodulador, possível suporte energético e metabólico	Muito utilizado em formulações voltadas a vitalidade e desempenho; depende de qualidade do cultivo
Inonotus obliquus (Chaga)	Fenólicos, triterpenos, melaninas, polissacarídeos	Antioxidante forte, anti-inflamatório, potencial antitumoral	Cogumelo "emergente"; composição química varia conforme origem e extração



Antrodia cinnamomea	Triterpenos, compostos fenólicos e específicos do gênero	Hepatoprotetor, anti-inflamatório, potencial antimetastático	Alta relevância farmacológica; espécie de interesse biotecnológico e ainda pouco difundida
Schizophyllum commune	Schizophyllan (SPG), polissacarídeos	Imunomodulador, potencial adjuvante em terapias oncológicas	Importante como fonte de polímero bioativo; uso terapêutico relacionado à fração polissacarídica
Auricularia spp. (orelha-de-pau)	Polissacarídeos, fibras solúveis, fenólicos	Antioxidante, suporte intestinal, possível efeito hipolipidêmico	Muito usado como alimento funcional; relevante em dietas ricas em fibras

AGARICUS BLAZEI: B-GLUCANAS E IMUNOMODULAÇÃO COMO EIXO CENTRAL

O *Agaricus blazei* (cogumelo-do-sol) é um dos cogumelos medicinais mais associados ao potencial imunomodulador, principalmente devido ao seu conteúdo de β-glucanas e proteoglucanas, que atuam como moduladores da resposta imune inata. Essas biomoléculas apresentam capacidade de interagir com receptores de reconhecimento padrão, como Dectin-1 e Toll-like receptors (TLRs), promovendo ativação de macrófagos e modulação de citocinas envolvidas em inflamação e defesa contra patógenos. Além da imunomodulação, extratos de *A. blazei* vêm sendo associados a efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios, que podem contribuir para respostas sistêmicas mais equilibradas em situações de estresse oxidativo e inflamação persistente. Entretanto, a consistência desses efeitos depende fortemente do método de obtenção do extrato e do teor real de polissacarídeos bioativos, reforçando a importância da padronização de formulações nutracêuticas e do controle de qualidade.



GANODERMA LUCIDUM: TRITERPENOS LANOSTANOIDES, HEPATOPROTEÇÃO E ANTI-INFLAMAÇÃO

O *Ganoderma lucidum* (Reishi) é uma das espécies com maior relevância farmacológica, especialmente pela elevada concentração de triterpenos do tipo lanostano (como os ácidos ganodéricos), além de frações polissacarídicas com potencial imunomodulador. Os triterpenos de Ganoderma são frequentemente associados a efeitos hepatoprotetores, com atuação em vias relacionadas à redução de estresse oxidativo, diminuição da inflamação e modulação de alvos metabólicos implicados em disfunções hepáticas. Do ponto de vista terapêutico, os compostos de *G. lucidum* também são associados a atividades anti-inflamatórias e citoprotetoras, com potencial aplicação no suporte de condições crônicas em que a inflamação sistêmica desempenha papel central. A combinação entre polissacarídeos e triterpenos confere a esse cogumelo um perfil multifuncional, justificando seu uso frequente em produtos nutracêuticos voltados à imunidade, saúde hepática e envelhecimento saudável.

LENTINULA EDODES: LENTINANA E SUPORTE IMUNOLÓGICO COM EVIDÊNCIA TRANSLACIONAL

O *Lentinula edodes* (shiitake) é uma espécie amplamente consumida como alimento funcional e reconhecida pela presença de polissacarídeos de interesse terapêutico, com destaque para lentinana, uma β-glucana associada a efeitos imunomoduladores



relevantes. Em contextos translacionais, extratos padronizados e frações polissacarídicas derivadas dessa espécie têm sido associados ao suporte imunológico, principalmente por sua capacidade de modular células efetoras do sistema imune, como macrófagos, neutrófilos e células NK. Além da aplicação biomédica, o shiitake se destaca como exemplo de cogumelo no qual alimentação e saúde se conectam de forma direta: sua composição inclui fibras, micronutrientes e antioxidantes, favorecendo a integração em estratégias nutricionais voltadas à prevenção de disfunções metabólicas e inflamatórias. Do ponto de vista tecnológico, a biodisponibilidade e o efeito final tendem a ser mais consistentes quando se utiliza extrato com composição definida e controle de qualidade reprodutível.

TRAMETES VERSICOLOR: PSK/PSP E IMUNOTERAPIA ADJUVANTE EM ONCOLOGIA

Trametes versicolor é uma espécie emblemática por seu histórico de aplicação em contextos clínicos em alguns países, especialmente associado aos polissacarídeos bioativos PSK (Krestin®) e PSP, considerados polissacarídeos ligados a proteínas (polissacarídeo-peptídeos). Essas biomoléculas são descritas como potentes moduladores da resposta imune e vêm sendo utilizadas como adjuvantes em terapias oncológicas, sobretudo em câncer gástrico e colorretal, com evidência clínica acumulada. Os mecanismos associados incluem ativação de células apresentadoras de antígeno, modulação de citocinas e fortalecimento de respostas imunes mediadas por células, o que reforça o valor do *T. versicolor* como referência histórica em imunonutrição e imunoterapia complementar. Pela relevância clínica, essa espécie ilustra de forma clara a necessidade de extratos altamente padronizados, devido ao risco de variabilidade química e de inconsistência terapêutica em produtos não controlados.



GRIFOLA FRONDOSA: FRAÇÕES POLISSACARÍDICAS E INTERFACE ENTRE IMUNIDADE E METABOLISMO

O *Grifola frondosa* (maitake) apresenta destaque por frações bioativas ricas em polissacarídeos, incluindo a chamada *D-fraction*, frequentemente associada ao suporte imunológico. A bioatividade relatada para essa espécie inclui imunomodulação, com potencial sinergia em processos de controle inflamatório, além de evidências sugerindo efeitos metabólicos, como suporte na regulação de glicose e lipídios em modelos experimentais. A relevância do maitake decorre do fato de que suas biomoléculas atuam em uma interface fisiológica central: imunidade, inflamação e metabolismo energético. Essa integração tem particular importância para condições crônicas de alta prevalência, como inflamação de baixo grau associada à síndrome metabólica, embora ainda sejam necessários esforços adicionais em padronização e validação clínica de produtos comerciais.

PLEUROTUS OSTREATUS: ERGOTIONINA, COMPOSTOS FENÓLICOS E APLICAÇÕES ALIMENTARES SUSTENTÁVEIS

O *Pleurotus ostreatus* se destaca tanto pelo valor nutricional quanto pela relevância tecnológica e ambiental. Entre suas biomoléculas de maior interesse estão a ergotionina (antioxidante dietético com ação citoprotetora) e compostos fenólicos, além de β-glucanas e fibras alimentares que contribuem para benefícios gastrointestinais e metabólicos. A combinação desses componentes



favorece a associação do *P. ostreatus* com propriedades antioxidantes e com suporte à saúde intestinal. Essa espécie é particularmente relevante para estratégias de sustentabilidade, pois apresenta excelente adaptação ao cultivo em substratos lignocelulósicos, permitindo a produção de biomassa e bioativos de alto valor agregado a partir da valorização de resíduos agroindustriais. Assim, o *P. ostreatus* constitui um exemplo importante de cogumelo funcional que conecta saúde humana, biotecnologia e economia circular.

HERICIUM ERINACEUS: ERINACINAS, HERICENONAS E NEUROPROTEÇÃO

O *Hericium erinaceus* (juba-de-leão) representa uma das espécies mais promissoras no campo de cogumelos funcionais voltados à saúde neurológica, principalmente devido à presença de compostos como erinacinas e hericenonas. Essas biomoléculas têm sido associadas ao estímulo de fatores ligados à neuroplasticidade e à manutenção funcional do tecido nervoso, o que sustenta o interesse crescente em aplicações relacionadas à cognição, envelhecimento cerebral e condições neurodegenerativas. Além do eixo neurológico, *H. erinaceus* também apresenta frações polissacarídicas com potencial antioxidante e imunomodulador, contribuindo para um perfil biológico integrado. Entretanto, como em outras espécies, a equivalência entre produtos comerciais depende do tipo de matéria-prima (micélio ou basidioma), do método de cultivo e da concentração efetiva dos compostos-alvo.



CORDYCEPS MILITARIS:
CORDICEPINA E BIOATIVIDADES MULTIFUNCIONAIS

O *Cordyceps militaris* é frequentemente associado à cordicepina (3′-desoxiadenosina), um nucleosídeo bioativo investigado por propriedades que incluem atividades anti-inflamatórias, imunomoduladoras e potencial aplicação em estudos antitumorais e antivirais experimentais. Essa espécie também contém frações polissacarídicas que contribuem para o efeito geral observado em formulações nutracêuticas. A ampla popularização de *Cordyceps* no mercado global está relacionada ao seu vínculo com aumento de vitalidade, redução de fadiga e suporte metabólico. Contudo, é essencial considerar que os efeitos podem variar conforme condições de cultivo e composição do extrato, sendo necessária padronização para garantir consistência e confiabilidade terapêutica.

ESPÉCIES EMERGENTES:
INONOTUS, ANTRODIA E SCHIZOPHYLLUM
COMO FRONTEIRA DE INOVAÇÃO

Além dos cogumelos já consolidados, algumas espécies emergentes representam uma fronteira de inovação em farmacognosia e biotecnologia fúngica. O *Inonotus obliquus* (Chaga) é associado a elevada capacidade antioxidante devido a compostos fenólicos, melaninas e frações triterpênicas. Já *Antrodia cinnamomea* apresenta destaque por compostos bioativos relacionados à hepatoproteção e potencial ação antimetastática, sendo considerada uma das espécies com maior relevância farmacológica em desenvolvimento. O *Schizophyllum commune*, por sua vez, é reconhecido pela



produção do polissacarídeo esquizofilana (SPG), com uso relatado como adjuvante em estratégias terapêuticas específicas, reforçando o papel de biomoléculas macromoleculares como moduladores imunológicos. Essas espécies exemplificam o potencial ainda não totalmente explorado dos fungos como fontes de moléculas bioativas, bem como a necessidade de estudos adicionais de segurança, padronização e validação clínica.

COMO CONSUMIR OS COGUMELOS FUNCIONAIS E MEDICINAIS

No mercado nutracêutico, os produtos derivados de cogumelos são comercializados em diferentes formas: cápsulas contendo o cogumelo pulverizado, comprimidos, extratos líquidos, pós solúveis, bebidas funcionais, géis orais, balas mastigáveis e até alimentos fortificados (como cafés, chocolates e farinhas). As cápsulas com pó integral contêm micélio ou basidioma secos e triturados, preservando o conjunto natural de bioativos, enquanto os extratos padronizados concentram frações específicas com maior potência terapêutica. A escolha da forma depende da finalidade, uso clínico, suplemento alimentar ou prevenção de doenças, e da estabilidade química dos compostos. Ensaios clínicos recentes têm demonstrado biodisponibilidade satisfatória dos polissacarídeos e triterpenos administrados por via oral, reforçando a viabilidade dessas formulações.

Além do uso do basidioma (corpo de frutificação), tem crescido o interesse pela utilização da biomassa micelial como matéria-prima alternativa para produtos funcionais e medicinais. O micélio pode ser produzido de forma controlada por fermentação submersa ou cultivo em estado sólido, permitindo maior previsibilidade de produção, menor tempo de cultivo e possibilidade de escalonamento



industrial, além de facilitar a padronização de condições ambientais e nutricionais que influenciam a síntese de metabólitos. Essa estratégia é especialmente atrativa para espécies cujo cultivo do basidioma é mais lento ou tecnicamente exigente, e para a obtenção de compostos bioativos associados ao micélio, como ocorre em extratos comerciais derivados de *Lentinula edodes* (ex.: AHCC®). Entretanto, é importante considerar que o perfil químico do micélio pode diferir do basidioma, resultando em variações qualitativas e quantitativas na composição de polissacarídeos, triterpenos e antioxidantes. Assim, a escolha entre basidioma e micélio deve considerar o objetivo terapêutico, a biomolécula-alvo e o nível de evidência disponível, sendo indispensável o controle de qualidade para evitar inconsistências, especialmente quando há risco de presença de substratos residuais no produto e diferenças de concentração dos compostos responsáveis pela bioatividade.

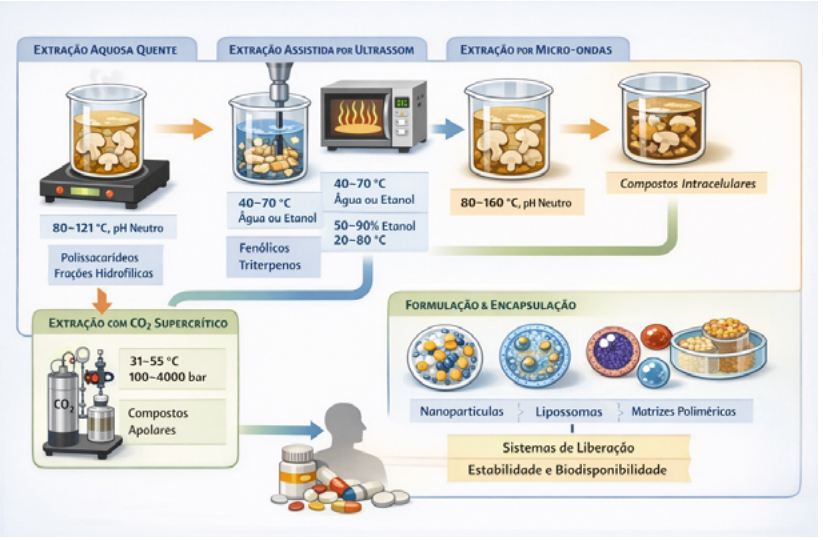
A obtenção de compostos bioativos a partir de cogumelos e biomassa micelial pode ser realizada por diferentes estratégias de extração, as quais variam quanto ao solvente, condições operacionais e seletividade para classes químicas específicas (Figura 1). A extração aquosa quente, conduzida em pH neutro e temperaturas elevadas (80–121 °C), é tradicionalmente empregada para solubilizar polissacarídeos e frações hidrofílicas de interesse funcional. Alternativamente, métodos assistidos por tecnologias emergentes podem aumentar a eficiência e reduzir o tempo de processo, como a extração assistida por ultrassom (40–70 °C, utilizando água ou etanol), que favorece a ruptura celular e melhora a transferência de massa, e a extração assistida por micro-ondas (80–160 °C, em pH neutro), que intensifica o aquecimento volumétrico e pode ampliar o rendimento de compostos intracelulares. A extração assistida por ultrassom (UAE), utilizando etanol em ampla faixa de concentração (50–90%) e temperaturas moderadas (20–80 °C), é indicada para recuperar componentes de maior afinidade orgânica, como fenólicos e triterpenos. Além disso, a extração com fluido supercrítico de CO_2 (31–55 °C; 100–4000 bar) representa uma abordagem de alta

SUMÁRIO

seletividade para metabólitos menos polares, permitindo obtenção de extratos concentrados com baixa degradação térmica e sem resíduos de solventes convencionais, o que é particularmente relevante para aplicações nutracêuticas e farmacêuticas.

Os aspectos farmacotécnicos são decisivos para garantir a eficácia dos produtos derivados de cogumelos. A estabilidade dos extratos depende de fatores como pH, temperatura, teor de umidade e presença de oxigênio. A encapsulação em matrizes poliméricas (gelatina, quitosana, maltodextrina) e o uso de nanotecnologia têm sido explorados para aumentar a solubilidade, proteger os compostos da degradação e controlar sua liberação. Sistemas de nanopartículas lipídicas e lipossomas contendo β-glucanas e triterpenos já são testados em formulações farmacêuticas e cosmecêuticas, ampliando as possibilidades de aplicação tópica e oral. Além disso, estudos de farmacocinética e farmacodinâmica vêm sendo conduzidos para avaliar absorção, distribuição e metabolismo dos compostos bioativos fúngicos em humanos.

Figura 1 - Formas de extração de compostos bioativos de cogumelos e biomassa micelial, formulação e encapsulação





A incorporação de extratos de cogumelos em produtos alimentares e cosméticos também representa um avanço significativo na valorização desses recursos. Em alimentos funcionais, polissacarídeos e antioxidantes são utilizados para enriquecer massas, bebidas e suplementos proteicos, melhorando o perfil nutricional e adicionando propriedades imunológicas e antioxidantes. Já na área cosmética, extratos de *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus* e *Flammulina velutipes* são empregados em formulações antienvelhecimento e regeneradoras, devido à capacidade de estimular colágeno e reduzir o estresse oxidativo cutâneo. Essa versatilidade de aplicação reforça o potencial biotecnológico e comercial dos cogumelos.

Em termos regulatórios, o mercado global de cogumelos funcionais segue em expansão, mas ainda enfrenta desafios quanto à padronização, controle de qualidade e regulamentação sanitária. No Japão, China e Coreia do Sul, diversos extratos, como PSK, lentinana e AHCC, já possuem status de uso clínico aprovado, enquanto no Ocidente a maioria é comercializada como suplementos alimentares, sem alegações terapêuticas oficiais. A harmonização internacional de normas é um passo necessário para consolidar o uso clínico global dos cogumelos e garantir a segurança dos consumidores. Paralelamente, cresce a demanda por produtos certificados, de origem rastreável e obtidos por métodos sustentáveis, refletindo o avanço da bioeconomia e da farmacognosia moderna.

O avanço das pesquisas e da biotecnologia aplicada aos cogumelos tem se refletido em um número crescente de patentes internacionais relacionadas à extração, purificação e formulação de compostos fúngicos bioativos. Países como Japão, China, Coreia do Sul e Estados Unidos lideram o registro de tecnologias voltadas à obtenção de polissacarídeos, triterpenos e ergotionina com alta pureza e estabilidade, destinados à produção de medicamentos, suplementos e cosmecêuticos. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos principais produtos e medicamentos derivados de cogumelos disponíveis no mercado internacional, destacando seus compostos



ativos, espécies de origem e aplicações terapêuticas relatadas. Essa sistematização permite visualizar a convergência entre avanço tecnológico, validação científica e aplicação industrial no setor de cogumelos funcionais.

Tabela 2 - Produtos e medicamentos comerciais derivados de cogumelos

Produto / Nome Comercial	Composto Ativo Principal	Espécie Fúngica	Indicação / Efeito Terapêutico	Fabricante / País
Krestin® (PSK)	Polissacarídeo-K (β-glucana ligada a proteína)	*Trametes versicolor*	Adjuvante em câncer gástrico e colorretal	Kureha Corp., Japão
Lentinan®	β-Glucana purificada	*Lentinula edodes*	Imunoterápico adjuvante em câncer gástrico	Ajinomoto Co., Japão
Ganopoly®	Extrato padronizado de Ganoderma lucidum	*G. lucidum*	Hepatoprotetor e imunomodulador	Ganotherapy Ltd., China
AHCC®	Extrato do micélio de *L. edodes* (*Active Hexose Correlated Compound*)	*L. edodes*	Suplemento imunomodulador, adjuvante em terapias oncológicas	Amino Up Co., Japão
Maitake D-Fraction®	Proteoglucana D-fraction	*Grifola frondosa*	Suporte imunológico, adjuvante em câncer	Mushroom Wisdom Inc., EUA
***Hericium erinaceus extract* (Lion's Mane)**	Erinacinas e hericenonas	*H. erinaceus*	Suporte cognitivo e neuroprotetor	Suplementos naturais (EUA, Europa, Japão)
Cordycepin-based formulations	Cordicepina (3′-desoxiadenosina)	*Cordyceps militaris*	Antitumoral, antiviral experimental	Em desenvolvimento (China, Coreia)
Pleuran®	β-(1→3/1→6)-D-glucana	*Pleurotus ostreatus*	Prevenção de infecções respiratórias e asma infantil	Biotech Ltd., Eslováquia



Estima-se que mais de 800 patentes ativas estejam associadas a produtos contendo extratos de *Ganoderma lucidum*, *Lentinula edodes*, *Cordyceps militaris* e *Hericium erinaceus*, refletindo a maturidade tecnológica e o potencial econômico do setor. Essa tendência demonstra a consolidação do mercado global de cogumelos funcionais, cuja comercialização movimenta bilhões de dólares anualmente, impulsionada pela demanda crescente por terapias naturais, nutrição personalizada e produtos sustentáveis. Além do crescimento do número de patentes, observa-se que parte relevante dessas inovações já se traduz em produtos comerciais consolidados e em formulações com diferentes graus de evidência científica.

CONCLUSÃO

O crescente interesse científico e industrial pelos cogumelos funcionais e medicinais reflete sua relevância na promoção da saúde humana e na prevenção de doenças crônicas. As evidências acumuladas indicam que compostos como β-glucanas, triterpenos, cordicepina e ergotionina apresentam potencial terapêutico robusto, mas ainda exigem padronização de doses, métodos de extração e validação clínica. No contexto da bioeconomia e sustentabilidade, os cogumelos despontam como recursos estratégicos na valorização de resíduos agroindustriais, na produção de biocompostos de alto valor agregado e na formulação de alimentos funcionais. O avanço da biotecnologia fúngica permitirá a exploração de novas cepas, rotas metabólicas e substratos alternativos, consolidando o papel dos cogumelos como agentes fundamentais na transição para uma economia circular e saudável.



SUMÁRIO

REFERÊNCIAS

HABTEMARIAM, S. *Trametes versicolor* (Synn. *Coriolus versicolor*) Polysaccharides in Cancer Therapy: Targets and Efficacy. **Biomedicines,** v. 8, p. 135, 2020 https://doi.org/10.3390/biomedicines8050135

HAMZA, A. *et al.* An insight into the nutritional and medicinal value of edible mushrooms: A natural treasury for human health. **Journal of Biotechnology**, v. 381, p. 86-99, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2023.12.014.

KUMAR K, *et al.* Edible Mushrooms: A Comprehensive Review on Bioactive Compounds with Health Benefits and Processing Aspects. **Foods.** v. 10, n. 12, p. 2996, 2021. https://doi.org/10.3390/foods10122996

PANDA, S.K. & LUYTEN, W. Medicinal mushrooms: Clinical perspective and challenges, **Drug Discovery Today,** v. 27, p. 636-651, 2022 https://doi.org/10.1016/j.drudis.2021.11.017

QIU, Y. *et al.* Bioactive substances in *Hericium erinaceus* and their biological properties: a review. **Food Science and Human Wellness**, v.13, n.4, p. 1825-1844, 2024. https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250152

RAZA, S.H. *et al. Ganoderma lucidum* triterpenoids investigating their role in medicinal applications and genomic protection. **Journal of Pharmacy and Pharmacology,** v. 76, n. 12, p. 1535–1551, 2024 https://doi.org/10.1093/jpp/rgae133

TIAN, X., THORNE, J.L., MOORE, J.B. Ergothioneine: an underrecognised dietary micronutrient required for healthy ageing? **British Journal Nutrition,** v. 129, p. 104-114, 2023. https://doi.org/10.1017/S0007114522003592

YU, Y. *et al.* Medicinal value of edible mushroom polysaccharides: a review. **Journal of Future Foods,** v. 3, n. 1, p. 16-23, 2023 https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.09.003



5

Samanta Shiraishi Kagueyama
Adelar Bracht
Rosane Marina Peralta

COGUMELOS EM COSMÉTICA

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-732-3.5

SUMÁRIO


MECANISMOS DE AÇÃO DOS BIOATIVOS FÚNGICOS NA PELE
ANTIOXIDANTE
ROS
Redução do Estresse Oxidativo
ANTI-INFLAMATÓRIO
Modulação da Inflamação
AÇÃO SINÉRGICA NA PELE
RENOVAÇÃO CELULAR
Estimulo à Regeneração
MELANOGÊNESE
Regulação da Pigmentação
BARREIRA CUTÂNEA
Fortalecimento da Barreira
EXTRATOS FÚNGICOS
Atuação Integrada em Múltiplas Vias Celulares
Efeito Pleiotrópico e Cosmético



SUMÁRIO

RESUMO:

Este capítulo aborda o potencial dos cogumelos como fontes de bioativos para aplicações cosméticas e cosmecêuticas, destacando sua relevância frente à crescente demanda por ingredientes naturais, eficazes e sustentáveis. São discutidas as principais classes de compostos bioativos, incluindo polissacarídeos, triterpenos, compostos fenólicos, ergotionina, peptídeos e enzimas, bem como seus mecanismos de ação na pele. Esses compostos apresentam atuação multifuncional, modulando processos como estresse oxidativo, inflamação, melanogênese, hidratação, regeneração celular e interação com o microbioma cutâneo. O capítulo também apresenta espécies com aplicação cosmética, como *Tremella fuciformis*, *Ganoderma lucidum*, *Lentinula edodes* e *Pleurotus ostreatus*, destacando suas propriedades e usos em formulações dermatológicas. Em especial, *Tremella fuciformis* é enfatizado pelo seu elevado potencial hidratante e como alternativa natural ao ácido hialurônico. Adicionalmente, são exploradas enzimas fúngicas como classe emergente de ingredientes cosméticos, com destaque para lacases, tirosinases e proteases, aplicadas em esfoliação enzimática, modulação da pigmentação e biotransformação de compostos. Aspectos tecnológicos envolvendo extração, purificação, padronização e formulação são discutidos, incluindo o uso de sistemas avançados de entrega para melhorar estabilidade e biodisponibilidade. Também são abordadas questões de segurança, regulamentação e controle de qualidade, enfatizando a necessidade de padronização de extratos e validação científica. Por fim, discutem-se aplicações como *anti-aging*, hidratação, clareamento da pele, regeneração cutânea e cuidados capilares, além de desafios e perspectivas futuras.

PALAVRAS-CHAVE: antioxidantes, bioativos fúngicos, enzimas, melanogênese, *Tremella fuciformis.*



INTRODUÇÃO

A indústria cosmética tem passado por uma transformação profunda nas últimas décadas, impulsionada pela convergência entre avanços científicos, biotecnologia e uma crescente demanda por produtos mais eficazes, seguros e sustentáveis. Nesse cenário, observa-se uma transição progressiva de formulações baseadas predominantemente em compostos sintéticos para abordagens que incorporam ingredientes de origem natural com propriedades bioativas comprovadas. Esse movimento está diretamente associado à consolidação do conceito de cosmecêuticos, no qual produtos cosméticos deixam de exercer apenas funções estéticas e passam a atuar de forma funcional sobre processos biológicos da pele.

Entre as fontes naturais emergentes, os cogumelos têm se destacado como plataformas biotecnológicas altamente promissoras para o desenvolvimento de ingredientes cosméticos inovadores. Esses organismos apresentam notável capacidade de sintetizar uma ampla diversidade de metabólitos bioativos, incluindo polissacarídeos, triterpenos, compostos fenólicos, esteróis, peptídeos e enzimas, muitos dos quais associados a atividades antioxidantes, anti-inflamatórias, hidratantes, regeneradoras e moduladoras da pigmentação cutânea. Essa riqueza metabólica, aliada à possibilidade de produção controlada por cultivo e fermentação, posiciona os cogumelos como fontes sustentáveis e versáteis de ativos para aplicações dermatológicas.

O interesse crescente por extratos de cogumelos na área cosmética também está fortemente relacionado à sua compatibilidade biológica e ao potencial de atuar em múltiplos alvos fisiológicos simultaneamente. Diferentemente de moléculas sintéticas isoladas, os extratos fúngicos frequentemente apresentam efeitos sinérgicos decorrentes da interação entre diferentes classes de compostos, o que pode resultar em respostas mais amplas e equilibradas na pele.



Estudos recentes têm demonstrado que bioativos derivados de cogumelos são capazes de modular processos centrais associados ao envelhecimento cutâneo, incluindo estresse oxidativo, inflamação crônica de baixo grau, degradação da matriz extracelular e alterações na função de barreira da pele. Além dos efeitos diretos sobre a fisiologia cutânea, os cogumelos também têm sido investigados no contexto da interação com o microbioma da pele, um componente essencial para a manutenção da homeostase cutânea. A capacidade de certos compostos fúngicos de atuar como moduladores microbianos ou de influenciar o metabolismo lipídico e antioxidante da pele abre novas perspectivas para o desenvolvimento de cosméticos mais integrados à biologia do hospedeiro.

Do ponto de vista tecnológico, o avanço das técnicas de cultivo, extração e purificação tem permitido a obtenção de extratos padronizados com composição química definida, o que representa um passo fundamental para a reprodutibilidade dos efeitos biológicos e para a segurança de uso em formulações cosméticas. Paralelamente, estratégias como encapsulação, nanotecnologia e sistemas de liberação controlada têm sido empregadas para aumentar a estabilidade dos compostos bioativos e otimizar sua biodisponibilidade na pele.

Outro aspecto relevante refere-se à crescente valorização de práticas sustentáveis na indústria cosmética. A produção de biomassa fúngica em substratos renováveis, incluindo resíduos agroindustriais, está alinhada aos princípios da economia circular e da química verde, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para a geração de produtos com maior valor agregado. Nesse contexto, os cogumelos não apenas fornecem ingredientes bioativos, mas também representam uma alternativa estratégica para o desenvolvimento de cadeias produtivas mais sustentáveis.

Diante desse panorama, este capítulo tem como objetivo abordar de forma integrativa o potencial dos cogumelos na indústria



SUMÁRIO

cosmética, explorando suas principais espécies de interesse, classes de compostos bioativos, mecanismos de ação na pele, estratégias de obtenção e aplicações em formulações cosmecêuticas. Também serão discutidos aspectos relacionados à segurança, regulamentação, desafios tecnológicos e perspectivas futuras, destacando o papel dos cogumelos como agentes centrais na inovação biotecnológica aplicada à cosmetologia.

COGUMELOS COMO FONTES DE BIOATIVOS PARA A PELE

Os cogumelos constituem uma das fontes naturais mais versáteis de compostos bioativos com potencial aplicação na área cosmética e dermatológica. A diversidade metabólica desses organismos reflete sua capacidade adaptativa em ambientes complexos, resultando na produção de moléculas com funções biológicas distintas, muitas das quais apresentam relevância direta para a fisiologia cutânea. Entre essas biomoléculas destacam-se polissacarídeos, triterpenos, compostos fenólicos, esteróis, peptídeos, nucleosídeos e enzimas, cuja atuação abrange desde a proteção contra o estresse oxidativo até a modulação de processos inflamatórios, regenerativos e pigmentares.

Diferentemente de ingredientes sintéticos isolados, os extratos de cogumelos frequentemente apresentam uma composição multifatorial, na qual diferentes classes de compostos atuam de forma sinérgica. Essa característica confere aos bioativos fúngicos a capacidade de interagir com múltiplas vias celulares simultaneamente, promovendo efeitos mais amplos e integrados na pele. Assim, a utilização de extratos fúngicos em formulações cosmecêuticas está



SUMÁRIO

associada não apenas à presença de uma molécula específica, mas ao perfil químico global do extrato e à sua padronização.

A Tabela 1 sintetiza as principais classes de biomoléculas derivadas de cogumelos, seus mecanismos de ação e aplicações cosméticas.

Tabela 1 - Principais biomoléculas de cogumelos com aplicações cosméticas

Classe de compostos	Principais exemplos	Mecanismo de ação	Aplicações cosméticas
Polissacarídeos (β-glucanas)	β-(1→3), β-(1→6)-glucanas	Formação de filme protetor, retenção de água, modulação imunológica	Hidratação, reparo da barreira cutânea, ação calmante
Triterpenos	Ácidos ganodéricos (*Ganoderma*)	Atividade anti-inflamatória e antioxidante	*Anti-aging*, redução de irritação, proteção celular
Compostos fenólicos	Ácidos fenólicos, flavonoides	Neutralização de ROS, proteção contra danos oxidativos	Antioxidante, fotoproteção, prevenção do envelhecimento
Ergotionina	Aminoácido sulfurado antioxidante	Captura de radicais livres, proteção mitocondrial	*Anti-aging,* proteção contra estresse oxidativo
Peptídeos e proteínas	Peptídeos bioativos fúngicos	Estímulo celular, possível modulação de colágeno	Regeneração cutânea, firmeza da pele
Enzimas (oxidoredutases, hidrolases)	Lacases, tirosinases, proteases	Reações de oxidação/ redução, renovação celular	Clareamento, esfoliação enzimática, uniformização da pele
Esteróis	Ergosterol	Precursor de vitamina D, ação antioxidante	Proteção da barreira cutânea
Nucleosídeos	Cordicepina (*Cordyceps*)	Modulação metabólica e anti-inflamatória	Revitalização celular, *anti-aging*

Os polissacarídeos, especialmente as β-glucanas, estão entre os compostos mais estudados em cogumelos com aplicação



cosmética. Essas biomoléculas apresentam elevada capacidade de retenção de água e formação de filmes protetores na superfície da pele, contribuindo para a manutenção da hidratação e integridade da barreira cutânea. Além disso, β-glucanas podem atuar como moduladores da resposta imune local, favorecendo processos de reparo tecidual e reduzindo sinais de irritação.

Os triterpenos, particularmente aqueles derivados de *Ganoderma lucidum*, apresentam propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes relevantes para aplicações dermatológicas. Esses compostos são capazes de modular vias inflamatórias e reduzir a produção de mediadores associados ao envelhecimento cutâneo, contribuindo para a proteção da matriz extracelular e a manutenção da integridade da pele.

O estresse oxidativo desempenha papel central no envelhecimento cutâneo, sendo associado à degradação de colágeno, elastina e outros componentes estruturais da pele. Compostos fenólicos e ergotionina presentes em cogumelos atuam como antioxidantes naturais, neutralizando espécies reativas de oxigênio (ROS) e protegendo células cutâneas contra danos induzidos por radiação UV e poluentes ambientais. A ergotionina, em particular, tem despertado interesse devido à sua capacidade de atuar como antioxidante intracelular altamente estável.

As enzimas produzidas por cogumelos representam uma classe emergente de ativos cosméticos com aplicações inovadoras. Oxidoredutases como lacases e tirosinases têm sido investigadas por seu potencial na modulação da pigmentação cutânea, enquanto proteases podem atuar na renovação celular por meio de esfoliação enzimática suave. Essas enzimas oferecem vantagens importantes, como alta especificidade catalítica e atuação em condições fisiológicas compatíveis com a pele.



Um aspecto distintivo dos bioativos de cogumelos é sua natureza multifuncional. Diferentes classes de compostos frequentemente coexistem nos extratos, atuando de forma sinérgica em múltiplos alvos biológicos. Essa sinergia pode resultar em efeitos combinados, como hidratação associada à proteção antioxidante e modulação inflamatória, ampliando o potencial dos cogumelos em formulações cosmecêuticas avançadas.

PRINCIPAIS ESPÉCIES DE COGUMELOS APLICADAS EM COSMÉTICA

Diversas espécies de cogumelos comestíveis e medicinais têm sido investigadas quanto ao seu potencial na área cosmética, devido à presença de biomoléculas com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, hidratantes, regeneradoras e moduladoras da pigmentação cutânea. A relevância dessas espécies está diretamente relacionada à sua composição química, que pode variar conforme condições de cultivo, substrato, parte utilizada (basidioma ou micélio) e método de extração. De modo semelhante ao observado em aplicações nutracêuticas, os efeitos cosméticos dos cogumelos não decorrem de um único composto isolado, mas da interação entre diferentes classes de biomoléculas, que atuam de forma sinérgica em múltiplos alvos fisiológicos da pele. Nesse contexto, algumas espécies têm se destacado como fontes estratégicas de ingredientes cosmecêuticos, sendo já incorporadas em formulações comerciais ou investigadas em estudos experimentais.

A Tabela 2 apresenta uma síntese das principais espécies de cogumelos com aplicação cosmética, seus compostos bioativos predominantes e suas funções dermatológicas.



Tremella fuciformis, conhecido como "cogumelo da neve" (*snow mushroom*), tem se destacado como um dos cogumelos mais promissores e amplamente utilizados na indústria cosmética contemporânea. Sua relevância está diretamente associada à produção de polissacarídeos altamente hidrofílicos, capazes de reter grandes quantidades de água e formar uma matriz hidratante na superfície da pele. Esses polissacarídeos apresentam propriedades funcionais comparáveis às do ácido hialurônico, sendo frequentemente considerados uma alternativa natural a esse composto. Sua estrutura ramificada permite elevada interação com moléculas de água, resultando em formação de um filme hidratante leve, não oclusivo e com excelente sensorial cosmético. Essa característica contribui para a redução da perda transepidérmica de água (TEWL), melhora da elasticidade e aumento da maciez da pele. Além do efeito hidratante, estudos indicam que os polissacarídeos de *T. fuciformis* podem exercer atividade antioxidante e contribuir para a proteção contra danos induzidos por fatores ambientais, como radiação UV e poluentes. Essa combinação de propriedades posiciona o cogumelo como um ativo multifuncional, adequado para formulações *anti-aging* e produtos destinados à manutenção da saúde cutânea.

Tabela 2 - Principais espécies de cogumelos com aplicações em cosmética

Espécie (nome comum)	Principais compostos bioativos	Principais efeitos na pele	Aplicações cosméticas
Ganoderma lucidum (Reishi)	Triterpenos (ácidos ganodéricos), polissacarídeos	Antioxidante, anti-inflamatório, proteção contra envelhecimento	Anti-aging, produtos calmantes, regeneração da pele
Lentinula edodes (Shiitake)	β-glucanas, compostos fenólicos, compostos tipo ácido kójico	Clareador, antioxidante, hidratante	Produtos despigmentantes, uniformização do tom da pele
Pleurotus ostreatus (cogumelo ostra)	Ergotionina, β-glucanas, fenólicos	Antioxidante, suporte à barreira cutânea	Hidratação, proteção contra estresse oxidativo



SUMÁRIO

Trametes versicolor (Turkey tail)	Polissacarídeos (PSK/PSP), proteoglucanas	Imunomodulador, anti-inflamatório	Produtos para peles sensíveis e inflamatórias
Hericium erinaceus (juba-de-leão)	Erinacinas, hericenonas, polissacarídeos	Regeneração celular, neurocosmética	*Anti-aging* avançado, cuidado da pele sensível
Cordyceps militaris	Cordicepina, nucleosídeos, polissacarídeos	Revitalizante, anti-inflamatório	Produtos energizantes e anti-fadiga
Inonotus obliquus (Chaga)	Compostos fenólicos, melaninas, triterpenos	Antioxidante potente, fotoproteção	Cosméticos antioxidantes e anti-aging
Auricularia spp. (orelha-de-pau)	Polissacarídeos, fibras solúveis	Hidratante, formador de filme	Hidratantes e suavizantes
Flammulina velutipes (enoki)	Polissacarídeos, antioxidantes	Clareador leve, antioxidante	Uniformização da pele
Schizophyllum commune	Schizophyllan (β-glucana)	Hidratante, formação de filme	Produtos de hidratação e barreira cutânea
Tremella fuciformis (snow mushroom)	Polissacarídeos altamente hidrofílicos	Hidratação intensa, formação de filme, melhora da elasticidade	Séruns hidratantes, *anti-aging,* substituto natural do ácido hialurônico

Do ponto de vista biotecnológico, o cultivo de *T. fuciformis* pode ser realizado de forma controlada, permitindo a obtenção de extratos padronizados e reprodutíveis. Sua estabilidade, biocompatibilidade e baixo potencial irritativo favorecem sua incorporação em diferentes tipos de formulações, incluindo séruns, cremes hidratantes e produtos cosmecêuticos avançados. Dessa forma, *T. fuciformis* representa um exemplo emblemático da aplicação de biomoléculas fúngicas na cosmetologia moderna, integrando eficácia funcional, sustentabilidade e inovação tecnológica.

Ganoderma lucidum é uma das espécies mais exploradas na indústria cosmética, principalmente devido à presença de triterpenos e



polissacarídeos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Esses compostos atuam na neutralização de espécies reativas de oxigênio e na modulação de vias inflamatórias, contribuindo para a prevenção do envelhecimento cutâneo e para a manutenção da integridade da matriz extracelular. Extratos de *Ganoderma* são frequentemente incorporados em formulações *anti-aging* e produtos destinados a peles sensíveis.

Lentinula edodes destaca-se pela presença de compostos fenólicos e moléculas com atividade semelhante ao ácido kójico, amplamente utilizado como agente despigmentante. Esses compostos podem atuar na inibição da tirosinase, enzima-chave na melanogênese, contribuindo para a redução de hiperpigmentações e uniformização do tom da pele. Além disso, β-glucanas presentes nessa espécie auxiliam na hidratação e proteção da barreira cutânea.

Pleurotus ostreatus é particularmente relevante devido à presença de ergotionina, um antioxidante natural com elevada capacidade de proteção celular. Associada a compostos fenólicos e β-glucanas, essa molécula contribui para a redução do estresse oxidativo e para a manutenção da integridade da pele, sendo amplamente explorada em formulações hidratantes e protetoras.

Os polissacarídeos bioativos de *Trametes versicolor*, como PSK e PSP, são reconhecidos por suas propriedades imunomoduladoras. Em aplicações cosméticas, esses compostos têm potencial para reduzir processos inflamatórios cutâneos, sendo relevantes para formulações destinadas a peles sensíveis, irritadas ou com tendência a condições inflamatórias**.**

Hericium erinaceus tem surgido como uma espécie de interesse na chamada "neurocosmética", devido à presença de compostos que podem influenciar vias relacionadas à regeneração celular e comunicação neurocutânea. Essa abordagem considera a interação



entre sistema nervoso e pele, ampliando o conceito de cuidados dermatológicos para além dos efeitos superficiais.

Cordyceps militaris é conhecido por seus efeitos associados à vitalidade e metabolismo energético, atribuídos principalmente à cordicepina. Em cosmética, esses efeitos são explorados em produtos destinados à revitalização da pele, especialmente em contextos de fadiga cutânea e envelhecimento.

Dentre as espécies emergentes, *Inonotus obliquus* (Chaga), *Auricularia spp.* e *Schizophyllum commune* representam novos focos na cosmetologia baseada em cogumelos. Seus compostos bioativos apresentam propriedades antioxidantes, hidratantes e formadoras de filme, sendo promissores para o desenvolvimento de formulações inovadoras.

A diversidade de perfis químicos observada entre as espécies se traduz diretamente em distintos efeitos biológicos, que serão discutidos na seção seguinte.

MECANISMOS DE AÇÃO DOS BIOATIVOS FÚNGICOS NA PELE

Os bioativos derivados de cogumelos exercem seus efeitos cosméticos por meio da interação com múltiplas vias celulares e moleculares da pele, atuando de forma integrada sobre processos como estresse oxidativo, inflamação, renovação celular, melanogênese e manutenção da função de barreira cutânea. Essa atuação multifatorial decorre da diversidade química dos extratos fúngicos, que contêm diferentes classes de compostos capazes de modular simultaneamente diversos alvos biológicos. Diferentemente de ativos sintéticos com mecanismo de ação específico, os compostos



de cogumelos frequentemente apresentam atividade pleiotrópica, ou seja, são capazes de atuar em diferentes vias fisiológicas de forma sinérgica. Essa característica é particularmente relevante em cosmetologia, uma vez que o envelhecimento cutâneo e outras alterações dermatológicas resultam de processos complexos e interdependentes. A Figura 1 apresenta uma visão integrada das relações entre as principais classes de compostos bioativos de cogumelos, seus alvos celulares e os efeitos cosméticos resultantes.

Figura 1 - Mecanismos de ação dos bioativos fúngicos na pele



Ação antioxidante e prevenção do fotoenvelhecimento. O estresse oxidativo é um dos principais fatores envolvidos no envelhecimento cutâneo, sendo induzido principalmente pela radiação ultravioleta (UV), poluição e processos metabólicos celulares. A produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS) leva à degradação de componentes estruturais da pele, como colágeno e elastina, além de promover danos ao DNA e às membranas celulares.

Compostos fenólicos, ergotionina, polissacarídeos e triterpenos presentes em cogumelos atuam como antioxidantes naturais,



neutralizando ROS e reduzindo danos oxidativos. Além da ação direta como sequestradores de radicais livres, alguns desses compostos podem modular sistemas antioxidantes endógenos, estimulando a expressão de enzimas como superóxido dismutase (SOD) e catalase. Essa atividade contribui para a prevenção do fotoenvelhecimento, redução de rugas e manutenção da integridade estrutural da pele.

Modulação da resposta inflamatória. A inflamação crônica de baixo grau é um componente central de diversas condições cutâneas, incluindo envelhecimento, acne, dermatites e hiperpigmentação. Bioativos fúngicos, especialmente triterpenos e polissacarídeos, têm demonstrado capacidade de modular vias inflamatórias, como aquelas mediadas por NF-κB e citocinas pró-inflamatórias. A redução da produção de mediadores inflamatórios contribui para a diminuição de eritema, irritação e danos teciduais, além de favorecer processos de regeneração cutânea. Essa propriedade torna os extratos de cogumelos particularmente interessantes para formulações destinadas a peles sensíveis ou com tendência inflamatória.

Inibição da melanogênese e controle da pigmentação. A melanogênese é um processo complexo regulado principalmente pela enzima tirosinase, responsável pela conversão de tirosina em melanina. A hiperatividade desse processo está associada a condições como melasma, manchas solares e hiperpigmentação pós-inflamatória. Diversos compostos derivados de cogumelos, incluindo fenólicos e enzimas, têm demonstrado capacidade de inibir a atividade da tirosinase ou interferir em etapas da síntese de melanina. Essa modulação pode ocorrer por mecanismos como quelação de íons metálicos essenciais à atividade enzimática ou competição com substratos naturais. Como resultado, esses bioativos contribuem para o clareamento da pele e a uniformização do tom cutâneo, sendo amplamente explorados em cosméticos despigmentantes.

Hidratação e reforço da barreira cutânea. A integridade da barreira cutânea é essencial para a manutenção da hidratação e proteção contra agentes externos. Polissacarídeos de cogumelos,



especialmente β-glucanas e aqueles derivados de *Tremella fuciformis*, desempenham papel fundamental nesse processo. Esses compostos atuam formando filmes hidratantes na superfície da pele, reduzindo a perda transepidérmica de água (TEWL) e promovendo retenção hídrica. Além disso, podem estimular processos de reparo da epiderme e melhorar a organização da matriz extracelular. Esse mecanismo resulta em aumento da elasticidade, maciez e resistência da pele, sendo particularmente relevante em formulações hidratantes e *anti-aging*.

Estímulo à regeneração celular e síntese de colágeno. A renovação celular e a manutenção da matriz extracelular são processos essenciais para a aparência jovem e saudável da pele. Alguns compostos fúngicos, como peptídeos bioativos, polissacarídeos e triterpenos, podem estimular a proliferação celular e a síntese de colágeno. Além disso, a redução do estresse oxidativo e da inflamação contribui indiretamente para a preservação das fibras dérmicas, retardando processos de degradação associados ao envelhecimento. Esse conjunto de efeitos favorece a melhora da firmeza, elasticidade e textura da pele.

Ação enzimática e renovação da pele. As enzimas produzidas por cogumelos representam uma classe relevante de bioativos com aplicações cosméticas específicas, atuando por meio de mecanismos catalíticos seletivos. Essas enzimas incluem principalmente oxidoredutases (lacases, tirosinases, peroxidases) e hidrolases (proteases), que desempenham funções distintas na pele. Apesar de seu elevado potencial, a incorporação de enzimas em formulações cosméticas apresenta desafios importantes, principalmente relacionados à estabilidade e manutenção da atividade catalítica. Como proteínas, as enzimas são sensíveis a fatores como temperatura, pH, presença de solventes e agentes oxidantes. Para superar essas limitações, diferentes estratégias têm sido empregadas, incluindo encapsulação em lipossomas e nanopartículas, uso de estabilizantes proteicos e desenvolvimento de sistemas de liberação



controlada. Essas abordagens permitem proteger as enzimas contra degradação e prolongar sua atividade na pele, aumentando a eficácia dos produtos.

Sinergia de mecanismos e abordagem multifuncional. Um dos aspectos mais relevantes dos bioativos fúngicos é a capacidade de atuar simultaneamente em diferentes mecanismos biológicos. A combinação de efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios, hidratantes e regenerativos permite uma abordagem multifuncional no cuidado da pele. Essa sinergia torna os extratos de cogumelos particularmente adequados para o desenvolvimento de cosmecêuticos avançados, capazes de atuar de forma integrada nos principais processos associados ao envelhecimento e às disfunções cutâneas.

Interação com o microbioma cutâneo. A pele abriga uma microbiota complexa que desempenha papel essencial na manutenção da homeostase cutânea. Bioativos de cogumelos podem influenciar esse ecossistema por diferentes mecanismos, incluindo modulação da disponibilidade de nutrientes, atividade antimicrobiana seletiva e redução do estresse oxidativo.

Polissacarídeos podem atuar como substratos para microrganismos benéficos, enquanto compostos fenólicos podem inibir o crescimento de microrganismos patogênicos. Essa modulação contribui para o equilíbrio da microbiota e para a prevenção de disfunções cutâneas.

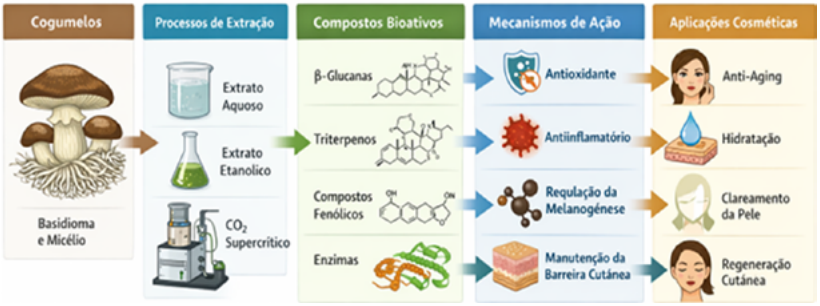


SUMÁRIO

EXTRAÇÃO E OBTENÇÃO DE BIOATIVOS DE COGUMELOS PARA APLICAÇÕES COSMÉTICAS

A obtenção de bioativos a partir de cogumelos para uso cosmético envolve uma etapa crítica de extração, na qual o método empregado influencia diretamente o perfil químico, a estabilidade e a eficácia dos compostos obtidos. Diferentes classes de biomoléculas fúngicas apresentam polaridade, estrutura e sensibilidade distintas, exigindo abordagens específicas para sua recuperação eficiente e reprodutível. No contexto cosmético, a escolha do método de extração não deve considerar apenas o rendimento, mas também fatores como segurança toxicológica, ausência de solventes residuais, estabilidade dos compostos e compatibilidade com formulações dermatológicas. Assim, técnicas de extração têm sido continuamente otimizadas para atender aos requisitos de qualidade e sustentabilidade exigidos pela indústria cosmética moderna (Figura 2).

Figura 2 - Principais tipos de extração de bioativos de cogumelos para uso em cosmética



Os bioativos de cogumelos podem ser obtidos tanto do basidioma (corpo de frutificação) quanto da biomassa micelial produzida por cultivo controlado. O basidioma é tradicionalmente utilizado e



apresenta composição rica em polissacarídeos estruturais, fenólicos e triterpenos. No entanto, sua produção depende de ciclos de cultivo mais longos e condições ambientais específicas. Por outro lado, a biomassa micelial pode ser obtida por fermentação submersa ou em estado sólido, permitindo maior controle sobre variáveis de cultivo, padronização da produção e escalabilidade industrial. Essa abordagem também possibilita a modulação do perfil metabólico por meio da composição do meio de cultivo, favorecendo a produção direcionada de determinados compostos bioativos. A escolha entre basidioma e micélio deve considerar o tipo de composto desejado, a consistência do produto e a aplicação cosmética pretendida.

A extração aquosa quente é amplamente utilizada para a recuperação de polissacarídeos, especialmente β-glucanas e outros compostos hidrofílicos. Esse método geralmente envolve temperaturas elevadas (80–121 °C) e tempos prolongados, promovendo a solubilização de macromoléculas presentes na parede celular fúngica. Já a extração hidroalcoólica (água/etanol) permite a obtenção de uma gama mais ampla de compostos, incluindo fenólicos, triterpenos e outros metabólitos de polaridade intermediária. A utilização de etanol é particularmente relevante na indústria cosmética, devido à sua baixa toxicidade e compatibilidade com formulações tópicas. A combinação sequencial de extrações aquosa e alcoólica tem sido empregada para obter extratos mais completos, contendo diferentes classes de bioativos.

Nos últimos anos, técnicas assistidas por tecnologias físicas têm sido exploradas para aumentar a eficiência de extração e reduzir o consumo de solventes e tempo de processo. Exemplos são a extração assistida por ultrassom (UAE) que promove ruptura celular e melhora a difusão de solventes, aumentando o rendimento de compostos bioativos, a extração assistida por micro-ondas (MAE), que permite aquecimento rápido e uniforme, favorecendo a liberação de metabólitos intracelulares e a extração com fluido supercrítico (CO_2): altamente seletiva para compostos menos polares, como triterpenos



e esteróis, com a vantagem de não deixar resíduos de solventes. Essas tecnologias são particularmente relevantes para aplicações cosméticas, pois permitem a obtenção de extratos mais puros, estáveis e ambientalmente sustentáveis.

FORMULAÇÕES COSMÉTICAS CONTENDO EXTRATOS DE COGUMELOS

A incorporação de extratos de cogumelos em formulações cosméticas representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de produtos multifuncionais, alinhados às tendências de eficácia, naturalidade e sustentabilidade. No entanto, a transição de um extrato bioativo para um ingrediente cosmético funcional requer a consideração de diversos aspectos farmacotécnicos, incluindo estabilidade, compatibilidade com a base formulativa, biodisponibilidade e segurança dermatológica.

Os extratos fúngicos podem ser incorporados em diferentes tipos de formulações, desde sistemas simples, como loções e géis, até sistemas mais complexos, como nanoemulsões e sistemas de liberação controlada. A escolha do tipo de formulação depende das características físico-químicas dos bioativos, da finalidade do produto e da região de aplicação (Figura 3).

Os bioativos derivados de cogumelos têm sido incorporados em uma ampla variedade de produtos cosméticos, incluindo: cremes e emulsões (O/A e A/O): amplamente utilizados para hidratação, nutrição e ação *anti-aging*, permitindo a incorporação de compostos hidrofílicos e lipofílicos, séruns: sistemas leves e altamente concentrados, ideais para entrega de ativos como antioxidantes, polissacarídeos e extratos purificados, géis: adequados para ativos hidrofílicos, com boa sensorialidade e rápida absorção,

SUMÁRIO

máscaras faciais: permitem contato prolongado com a pele, potencializando a ação de bioativos e produtos capilares: xampus, condicionadores e tônicos podem incorporar extratos fúngicos com ação antioxidante, hidratante e reguladora do couro cabeludo. A versatilidade de aplicação dos extratos de cogumelos está diretamente relacionada à diversidade de suas propriedades funcionais, permitindo seu uso em produtos destinados tanto ao cuidado da pele quanto dos cabelos.

Figura 3 - Escolha da formulação, estratégias de encapsulamento, compatibilidade e biodisponibilidade



A eficácia de um ativo cosmético depende não apenas de sua presença na formulação, mas também de sua capacidade de alcançar as camadas alvo da pele. Muitos bioativos de cogumelos apresentam alto peso molecular, como β-glucanas, o que pode limitar sua penetração cutânea. Nesse contexto, diferentes estratégias têm sido utilizadas para melhorar a biodisponibilidade, tais como redução do tamanho de partículas, uso de veículos apropriados (géis, séruns), modificação química ou enzimática de compostos e sistemas de entrega avançados. Essas abordagens permitem



otimizar a interação dos bioativos com a pele e potencializar seus efeitos cosméticos. Tecnologias modernas têm sido amplamente exploradas para melhorar a estabilidade e eficácia dos bioativos fúngicos em cosméticos. Dentre elas destacamos lipossomas: vesículas fosfolipídicas que encapsulam compostos hidrofílicos e lipofílicos, aumentando a penetração cutânea, nanoemulsões que são sistemas dispersos com tamanho reduzido de partículas, que melhoram a estabilidade e biodisponibilidade, nanopartículas poliméricas que protegem compostos sensíveis e permitem liberação controlada e sistemas híbridos e responsivos, que liberam ativos em resposta a estímulos como pH ou temperatura. Esses sistemas são particularmente relevantes para compostos instáveis ou de baixa permeabilidade, como enzimas e polissacarídeos.

CONCLUSÃO

O crescente interesse pelos cogumelos na indústria cosmética reflete a convergência entre biotecnologia, ciência da pele e a demanda por produtos eficazes, seguros e sustentáveis. Esses organismos são fontes ricas de biomoléculas com alto potencial cosmecêutico, como polissacarídeos, triterpenos, compostos fenólicos, ergotionina, nucleosídeos e enzimas, capazes de atuar de forma integrada em processos cutâneos. Seus mecanismos incluem ação antioxidante, modulação inflamatória, regulação da melanogênese, manutenção da hidratação e da barreira cutânea, além de estímulo à regeneração celular. Essa multifuncionalidade torna os extratos fúngicos estratégicos em cosméticos de alta performance, especialmente em formulações *anti-aging*, hidratantes, despigmentantes e regeneradoras. Espécies como *Ganoderma lucidum, Lentinula edodes, Pleurotus ostreatus* e *Tremella fuciformis* ilustram essa diversidade, destacando-se esta última como alternativa natural a hidratantes convencionais.



Avanços em cultivo, extração e formulação têm ampliado a aplicação desses bioativos. Sistemas como lipossomas e nanopartículas melhoram estabilidade e biodisponibilidade, enquanto enzimas fúngicas surgem como alternativas seletivas e compatíveis biologicamente. A sustentabilidade é um eixo central, com uso de substratos renováveis, resíduos agroindustriais e processos mais verdes, inserindo os cogumelos na bioeconomia circular.

REFERÊNCIAS

BHAMBRI, A. *et al.* Mushrooms as Potential Sources of Active Metabolites and Medicines. **Frontiers in Microbiology**, 13, 837266, 2022. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.837266

MA, X. *et al.* A review on the production, structure, bioactivities and applications of *Tremella* polysaccharides. **International Journal of Immunopathology and Pharmacology**, v. 35, p. 1–13, 2021. https://doi.org/10.1177/20587384211000541

PATERSKA, M.; CZERNY, B.; CIELECKA-PIONTEK, J. Macrofungal Extracts as a Source of Bioactive Compounds for Cosmetical Anti-Aging Therapy: A Comprehensive Review. **Nutrients** 16, 2810, 2024 https://doi.org/10.3390/nu16162810

RUKHSAR, S., USMAN, M., YOUSAF, N. *et al.* Mushrooms in modern cosmetics: unlocking anti-aging, antioxidant, and therapeutic potential. **Archives of Dermatological Research** 317, 542, 2025. https://doi.org/10.1007/s00403-025-04048-7

WU, Y. *et al.* Mushroom Cosmetics: The Present and Future. **Cosmetics** 3, 22, 2016. https://doi.org/10.3390/cosmetics3030022



6

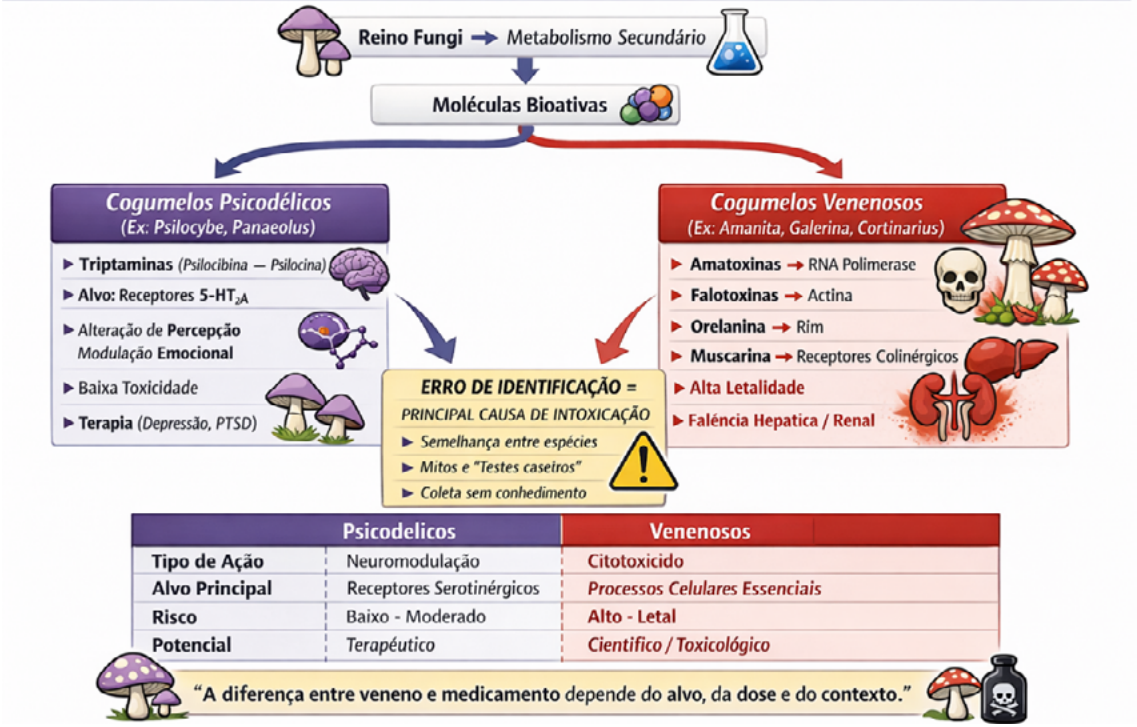
Luís Felipe Oliva dos Santos
Rafael Castoldi
Rosane Marina Peralta

COGUMELOS PSICODÉLICOS E COGUMELOS VENENOSOS

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-732-3.6

SUMÁRIO

Cogumelos psicodélicos e venenosos: *diversidade química, mecanismos de ação e implicações biológicas*



	Psicodelicos	Venenosos
Tipo de Ação	Neuromodulação	Citotoxicido
Alvo Principal	Receptores Serotinérgicos	*Processos Celulares Essenciais*
Risco	Baixo - Moderado	Alto - Letal
Potencial	*Terapéutico*	*Cientifico / Toxicológico*

"A diferença entre veneno e medicamento depende do alvo, da dose e do contexto."



SUMÁRIO

RESUMO:

Este capítulo apresenta uma visão integrada sobre cogumelos psicodélicos e cogumelos venenosos, destacando como a diversidade química do reino Fungi pode resultar em compostos bioativos com efeitos profundamente distintos no organismo humano. Inicialmente, são discutidos os cogumelos produtores de psilocibina, com ênfase na conversão em psilocina e na ação predominante sobre receptores serotoninérgicos, responsáveis por alterações transitórias da percepção, do pensamento e do estado de consciência. Abordam-se também aspectos de segurança, prevalência e o crescente interesse terapêutico, ressaltando que os principais riscos estão associados à identificação incorreta de espécies silvestres e ao uso fora de contextos controlados. Na sequência, o capítulo descreve o panorama regulatório brasileiro para substâncias psicotrópicas e pesquisa científica, evidenciando o equilíbrio entre controle sanitário e avanço biomédico. Em relação aos cogumelos venenosos, são destacadas espécies de maior relevância para a saúde pública, os fatores que favorecem intoxicações e a inexistência de métodos caseiros confiáveis para identificação. São ainda discutidas as principais classes de toxinas fúngicas, seus alvos celulares e manifestações clínicas, bem como o potencial de algumas moléculas como ferramentas científicas e bases para estratégias terapêuticas emergentes. Por fim, uma síntese comparativa consolida diferenças essenciais entre grupos psicodélicos e tóxicos, com enfoque mecanístico e educacional.

PALAVRAS-CHAVE: neurofarmacologia, psilocibina, saúde pública, toxinas fúngicas.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

Ao longo da história humana, poucos organismos despertaram sentimentos tão contraditórios quanto os cogumelos. Em diferentes culturas, foram reverenciados como elementos de experiências espirituais e rituais, utilizados como alimento e recurso medicinal, mas também temidos como agentes de intoxicações graves e mortes silenciosas. Essa ambivalência decorre, em grande parte, da extraordinária diversidade química do reino Fungi, capaz de gerar metabólitos secundários com elevada atividade biológica e efeitos profundos sobre o organismo humano.

Dentro desse contexto, os cogumelos psicodélicos e os cogumelos venenosos ocupam posições centrais tanto no imaginário popular quanto na ciência contemporânea. Os psicodélicos, notadamente os produtores de psilocibina, podem induzir alterações temporárias da percepção, do pensamento e do estado de consciência, com efeitos modulados por dose, ambiente e estado psicológico. Já os cogumelos venenosos produzem toxinas que interferem em processos fisiológicos essenciais, como síntese proteica, neurotransmissão e integridade celular, podendo desencadear desde distúrbios gastrointestinais até falência orgânica e morte. Embora seus desfechos sejam radicalmente distintos, ambos exemplificam como moléculas fúngicas podem atuar com alta especificidade sobre alvos biológicos fundamentais.

O termo “psicodélico” tem origem no grego *psyche* (mente ou alma) e *delos* (manifestar ou revelar) e foi proposto em 1956 pelo psiquiatra Humphry Osmond durante estudos com a dietilamida do ácido lisérgico (LSD). Desde então, passou a designar substâncias capazes de alterar o estado de consciência, produzindo distorções sensoriais, alterações cognitivas, intensas respostas emocionais e mudanças temporárias na percepção da realidade. Nos cogumelos, esses efeitos são atribuídos principalmente a alcaloides indolamínicos



derivados do triptofano. Por sua vez, a toxicidade de cogumelos venenosos está relacionada a um conjunto diverso de compostos que atuam por mecanismos distintos e, em muitos casos, apresentam alta estabilidade e potência mesmo em pequenas doses. O risco associado a esses cogumelos é amplificado por fatores de saúde pública, especialmente a identificação incorreta de espécies silvestres e a disseminação de métodos empíricos não confiáveis para distinguir cogumelos comestíveis de tóxicos.

É importante destacar que, no reino dos fungos, tanto moléculas psicoativas quanto toxinas letais são produtos do metabolismo secundário, com funções ecológicas relevantes, como defesa contra predadores, competição microbiana e adaptação ambiental. Assim, compreender esses compostos exige uma abordagem integrada que articule biologia, química, toxicologia, cultura e saúde pública. Neste capítulo, discutem-se os principais cogumelos psicodélicos e venenosos, seus compostos bioativos, mecanismos de ação, riscos, contexto histórico-regulatório e potenciais aplicações científicas e terapêuticas, culminando em uma síntese comparativa por classe molecular.

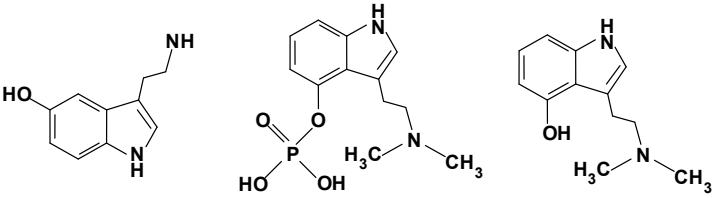
COGUMELOS PSICODÉLICOS (ALUCINÓGENOS)

A maioria dos cogumelos psicodélicos conhecidos contém alcaloides indolamínicos derivados do aminoácido triptofano, entre os quais se destacam a psilocibina e sua forma biologicamente ativa, a psilocina. A psilocibina é convertida em psilocina por desfosforilação hidrolítica catalisada por fosfatases, removendo o grupo fosfato e gerando a forma fenólica biologicamente ativa responsável pelos efeitos psicodélicos. Essas moléculas apresentam semelhança estrutural com a serotonina, um neurotransmissor central na regulação



do humor, da percepção, da cognição e do estado de consciência. A Figura 1 apresenta as estruturas químicas da psilocibina e da psilocina, evidenciando sua semelhança estrutural com a serotonina e ajudando a compreender seus efeitos sobre o sistema nervoso central.

Figura 1 - Estruturas da serotonina, psilocibina e psilocina



Serotonina **Psilocibina** **Psilocina**

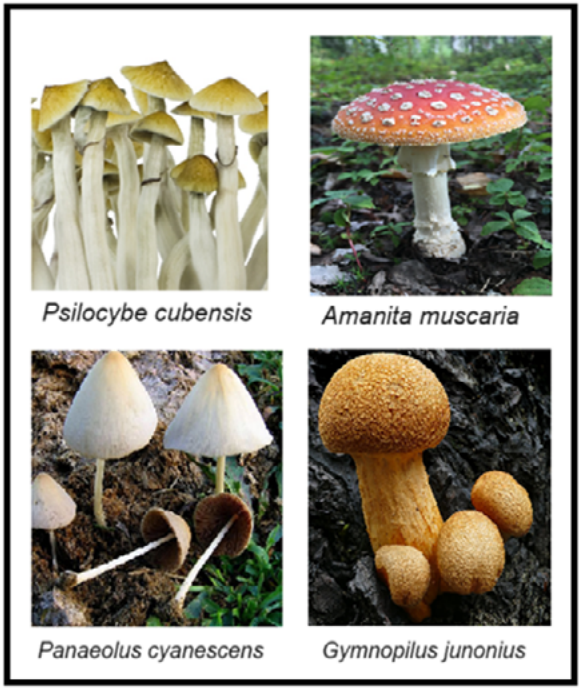
PRINCIPAIS ESPÉCIES DE COGUMELOS PSICODÉLICOS

Entre as espécies mais conhecidas destacam-se (Figura 2):

- *Psilocybe cubensis* – Amplamente distribuído em regiões tropicais e subtropicais, incluindo o Brasil; uma das espécies mais estudadas.
- *Panaeolus cyanescens* – Espécie tropical que cresce em esterco, com efeitos comparáveis aos do *Psilocybe cubensis*.
- *Gymnopilus junonius* – Cogumelo alaranjado que cresce sobre madeira em decomposição; efeitos variáveis conforme dose e sensibilidade individual.
- *Amanita muscaria* – Espécie emblemática associada a rituais tradicionais, mas com perfil farmacológico e toxicológico distinto e maior risco de intoxicação.

SUMÁRIO

Figura 2 - Principais cogumelos alucinógenos



MECANISMO MOLECULAR (PSILOCIBINA/PSILOCINA)

Após a ingestão, a psilocibina é rapidamente convertida em psilocina no organismo. Essa substância atua predominantemente como agonista dos receptores serotoninérgicos do tipo 5-HT_2A, promovendo uma reorganização temporária da comunicação entre diferentes regiões do cérebro. Como consequência, ocorrem alterações na percepção visual, no senso de tempo e espaço, no processamento emocional e na construção da identidade subjetiva.



Os efeitos psicodélicos variam de acordo com a dose, a espécie consumida, o ambiente e o estado psicológico do indivíduo. Em contextos favoráveis, podem ocorrer experiências introspectivas, emocionais ou místicas. No entanto, em indivíduos despreparados ou ambientes inadequados, o consumo pode desencadear ansiedade intensa, confusão mental e pânico, fenômenos popularmente conhecidos como *bad trips*. Historicamente, cogumelos contendo psilocibina foram utilizados por diversas culturas indígenas em rituais religiosos, cerimônias espirituais e práticas de cura. A partir da segunda metade do século XX, passaram a ser amplamente difundidos no contexto recreativo, impulsionando tanto seu uso quanto o interesse científico por seus efeitos neurobiológicos.

SEGURANÇA, PREVALÊNCIA E USO TERAPÊUTICO

Entre as substâncias psicodélicas conhecidas, a psilocibina apresenta um perfil de toxicidade relativamente baixo quando comparada a outros psicoativos. Casos de morte por toxicidade direta são extremamente raros. O maior risco associado ao uso de cogumelos psicodélicos está relacionado à confusão com espécies venenosas morfologicamente semelhantes, especialmente durante a coleta de exemplares silvestres.

Levantamentos epidemiológicos indicam que o uso de cogumelos psicodélicos é relativamente comum em diferentes regiões do mundo. Nos últimos anos, a psilocibina tem despertado crescente interesse na área da saúde mental. Estudos clínicos controlados vêm investigando seu uso terapêutico no tratamento de transtornos de ansiedade, depressão resistente, transtorno obsessivo-compulsivo, estresse pós-traumático e dependência química. Diferentemente de fármacos convencionais, seus efeitos terapêuticos parecem estar



associados à indução de experiências subjetivas profundas, capazes de promover mudanças cognitivas e emocionais duradouras. Ainda assim, esses usos exigem rigor metodológico, acompanhamento profissional e regulamentação adequada.

REGULAMENTAÇÃO NO BRASIL

No Brasil, o uso de substâncias psicodélicas é regulamentado principalmente pela Lei nº 11.343, de 23 de agosto de 2006, que estabelece o Sistema Nacional de Políticas Públicas sobre Drogas. Essa legislação proíbe o plantio, a colheita e a exploração de vegetais ou substratos destinados à produção de substâncias consideradas ilícitas, exceto quando expressamente autorizados para fins específicos, como pesquisas científicas, desenvolvimento tecnológico ou práticas religiosas tradicionalmente reconhecidas e protegidas por lei.

Do ponto de vista sanitário, a psilocibina e a psilocina estão incluídas na lista de substâncias psicotrópicas sujeitas a controle especial pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), conforme a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 186, de 24 de outubro de 2017. Essa classificação não implica proibição absoluta de uso, mas estabelece critérios rigorosos para sua manipulação, pesquisa e eventual aplicação terapêutica, garantindo a segurança dos participantes e o controle institucional das atividades envolvidas.

Atualmente, o Brasil acompanha a tendência internacional de reavaliação científica dessas substâncias, com estudos autorizados investigando o potencial terapêutico da psilocibina no desenvolvimento de medicamentos voltados para diferentes condições neurológicas e psiquiátricas. Essas pesquisas seguem protocolos éticos e regulatórios estritos, reforçando o papel da ciência como mediadora entre substâncias historicamente associadas ao uso recreativo e seu possível emprego no contexto médico controlado.



Nesse cenário, a regulamentação brasileira reflete um equilíbrio entre a necessidade de controle sanitário e social e o reconhecimento do valor científico dessas moléculas, permitindo que avanços na pesquisa biomédica ocorram de forma responsável, segura e alinhada aos princípios da saúde pública.

Box didático 1. Psilocibina & Muscimol: por que nem todo "cogumelo alucinógeno" age da mesma forma?
Embora sejam frequentemente agrupados sob o termo "cogumelos alucinógenos", os fungos que alteram o estado de consciência humana produzem moléculas quimicamente e farmacologicamente muito diferentes. Nos chamados psicodélicos clássicos, como Psilocybe cubensis e Panaeolus cyanescens, os principais compostos são a psilocibina e a psilocina, alcaloides indolamínicos derivados do triptofano. Essas moléculas são estruturalmente semelhantes à serotonina e atuam predominantemente sobre receptores serotoninérgicos, especialmente o subtipo 5-HT_2A. O resultado é uma reorganização temporária da atividade cerebral, levando a alterações na percepção, no pensamento e na experiência subjetiva. Já em espécies como Amanita muscaria, os efeitos psicoativos não estão relacionados à serotonina. Seus principais compostos, o ácido ibotênico e o muscimol, pertencem à classe dos isoxazóis e apresentam semelhança funcional com neurotransmissores do sistema nervoso central. O ácido ibotênico atua como análogo do glutamato (excitador), enquanto o muscimol é um potente agonista dos receptores GABA-A (inibitórios). Essa combinação explica os efeitos neurológicos mais imprevisíveis e o maior risco de intoxicação associados a essa espécie. Além disso, o muscimol é frequentemente classificado como um agente hipnótico ou sedativo, e não como um psicodélico clássico, uma vez que seus efeitos predominantes estão



SUMÁRIO

relacionados à depressão do sistema nervoso central, com indução de estados de sonolência, dissociação e alterações oníricas, em vez das típicas experiências perceptivas mediadas por serotonina. Portanto, apesar de produzirem experiências subjetivas alteradas, psilocibina e muscimol pertencem a classes químicas distintas, atuam em sistemas neuroquímicos diferentes e apresentam perfis de risco muito desiguais. Essa distinção é fundamental para compreender por que alguns cogumelos apresentam potencial terapêutico promissor, enquanto outros exigem cautela extrema devido à sua toxicidade.

COGUMELOS VENENOSOS

Os cogumelos venenosos constituem um grupo de grande relevância para a saúde pública. Embora a maioria das espécies de cogumelos seja inofensiva ou comestível, algumas produzem toxinas extremamente potentes, capazes de causar desde distúrbios gastrointestinais leves até falência múltipla de órgãos e morte.

Essas toxinas, conhecidas como micotoxinas, são metabólitos secundários produzidos como estratégias de defesa e competição ecológica. A identificação incorreta de espécies silvestres é uma das principais causas de intoxicação, especialmente entre coletores amadores que se baseiam em critérios visuais ou métodos empíricos não confiáveis.

Os sintomas de intoxicação podem ser classificados em efeitos citotóxicos, neurotóxicos, miotóxicos, metabólicos e gastrointestinais. Os casos mais graves estão associados a toxinas citotóxicas, que afetam diretamente órgãos vitais como fígado e rins.



As espécies de cogumelos mais letais para o ser humano pertencem predominantemente às ordens Agaricales, Boletales, Russulales (Basidiomycota) e Pezizales (Ascomycota), grupos caracterizados pela produção de corpos de frutificação carnosos e frequentemente conspícuos. Dentro desse conjunto, destacam-se espécies capazes de sintetizar toxinas extremamente potentes, responsáveis pela maioria dos casos fatais de envenenamento registrados mundialmente.

Entre os cogumelos mais perigosos estão aqueles produtores de amanitinas, como *Amanita phalloides*, popularmente conhecida como "chapéu-da-morte", além de *Amanita bisporigera*, *Galerina marginata* e *Lepiota brunneoincarnata*. Essas espécies compartilham não apenas alta toxicidade, mas também um fator crítico do ponto de vista de saúde pública: a facilidade de confusão com cogumelos comestíveis, especialmente por coletores inexperientes.

O gênero Amanita merece destaque especial, sendo responsável por aproximadamente 90% dos casos fatais de intoxicação por cogumelos. Isso se deve à combinação de três características particularmente perigosas: ampla distribuição geográfica, elevada potência tóxica e morfologia variável, que pode levar à identificação equivocada. Espécies desse gênero ocorrem em diferentes continentes, associadas a florestas temperadas e tropicais, frequentemente em simbiose com árvores por meio de relações micorrízicas.

Outros gêneros igualmente perigosos incluem *Galerina* e *Lepiota*, cujas espécies letais costumam apresentar pequeno porte e coloração discreta, aumentando ainda mais o risco de ingestão acidental. Já espécies do gênero *Russula* e *Paxillus*, embora nem sempre letais, estão associadas a quadros graves de intoxicação e representam risco significativo quando consumidas sem identificação adequada.

SUMÁRIO

Um aspecto importante dessas espécies é que sua letalidade não está associada a sabor desagradável ou aparência ameaçadora. Pelo contrário, muitos cogumelos altamente tóxicos apresentam sabor suave e odor pouco pronunciado, o que contribui para sua ingestão inadvertida. Além disso, métodos empíricos de identificação, como alterações de cor, presença de insetos ou testes caseiros, são totalmente ineficazes para distinguir espécies letais de cogumelos comestíveis.

Figura 3 - Principais cogumelos venenosos



Os cogumelos venenosos produzem uma diversidade notável de toxinas pertencentes a diferentes classes químicas, frequentemente direcionadas a processos celulares essenciais, como síntese proteica, transmissão nervosa, metabolismo energético e integridade estrutural das células. Essa especificidade molecular explica tanto a elevada toxicidade dessas substâncias quanto o crescente interesse científico pelos seus mecanismos de ação. De modo geral, as toxinas fúngicas atuam explorando vulnerabilidades fundamentais da fisiologia celular, interferindo em vias altamente conservadas entre organismos vivos.

Do ponto de vista químico e funcional, essas toxinas podem ser agrupadas em algumas classes moleculares principais, cada uma associada a alvos biológicos distintos e a quadros clínicos característicos de intoxicação. Uma das classes mais perigosas é a das amatoxinas, compostos peptídicos cíclicos encontrados principalmente em espécies dos gêneros *Amanita*, *Galerina* e *Lepiota*. Essas moléculas



apresentam alta estabilidade química e atuam por meio da inibição da RNA polimerase II, enzima essencial para a transcrição do DNA em RNA mensageiro. Ao bloquear esse processo, as amatoxinas interrompem a síntese proteica, levando à morte celular. Tecidos metabolicamente ativos, como o fígado e os rins, são particularmente vulneráveis, o que explica a alta letalidade associada a esse grupo de toxinas. Outra classe relevante é a das falotoxinas, também presentes em *Amanita phalloides*. Diferentemente das amatoxinas, essas moléculas atuam principalmente sobre o citoesqueleto celular, ligando-se de forma altamente específica à actina filamentosa (F-actina). Essa ligação estabiliza os filamentos de actina e compromete processos dinâmicos essenciais, como divisão celular, transporte intracelular e manutenção da forma celular. Embora tenham menor relevância na toxicidade oral devido à baixa absorção intestinal, as falotoxinas são fundamentais para compreender a complexidade química dos cogumelos letais.

No grupo das toxinas que afetam o sistema nervoso, destacam-se compostos como a giromitrina e a muscarina. A giromitrina, encontrada em espécies do gênero *Gyromitra*, é metabolizada no organismo em monometilhidrazina, uma substância que interfere no metabolismo da vitamina B6 e reduz a síntese do neurotransmissor inibitório GABA. Essa alteração provoca hiperexcitabilidade neuronal, podendo resultar em convulsões, confusão mental e outros sintomas neurológicos, além de efeitos hepatotóxicos. Já a muscarina, presente em gêneros como *Inocybe* e *Clitocybe*, atua como agonista dos receptores colinérgicos muscarínicos, desencadeando uma síndrome colinérgica caracterizada por salivação excessiva, sudorese, distúrbios gastrointestinais e alterações cardiovasculares.

As nefrotoxinas, como a orelanina, constituem outro grupo de grande relevância clínica. Produzida por espécies do gênero *Cortinarius*, a orelanina está associada a lesões renais graves e frequentemente irreversíveis. Seu mecanismo envolve processos de estresse oxidativo e dano progressivo às células dos túbulos renais,



com manifestações clínicas que podem surgir dias após a ingestão, dificultando o diagnóstico e o tratamento precoces.

Há ainda toxinas que interferem diretamente no metabolismo celular, como a coprina, encontrada em *Coprinopsis atramentaria*. Essa substância inibe a enzima aldeído desidrogenase, levando ao acúmulo de acetaldeído quando há consumo concomitante de álcool, resultando em uma reação adversa intensa semelhante à observada com o fármaco dissulfiram. Embora raramente letal, esse mecanismo ilustra como toxinas fúngicas podem atuar sobre vias metabólicas específicas, produzindo síndromes clínicas bem definidas.

Em conjunto, essas classes moleculares demonstram que a toxicidade dos cogumelos não é resultado de um único mecanismo, mas sim de uma ampla diversidade de estratégias químicas evolutivamente selecionadas. Ao atingir alvos celulares fundamentais, como a transcrição gênica, a transmissão nervosa, o citoesqueleto e o metabolismo energético, as toxinas fúngicas exercem efeitos rápidos e, muitas vezes, devastadores. Ao mesmo tempo, essa precisão molecular confere a essas substâncias um valor científico excepcional, tornando-as ferramentas importantes para a biologia celular, a toxicologia e o desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas.

As toxinas produzidas por cogumelos venenosos são tradicionalmente associadas a quadros graves de intoxicação humana. No entanto, a mesma precisão molecular que torna essas substâncias perigosas também confere a elas um valor científico excepcional. Ao interagirem de forma altamente específica com alvos celulares fundamentais, essas moléculas tornaram-se ferramentas importantes para a pesquisa biomédica e, mais recentemente, objetos de interesse no desenvolvimento de estratégias terapêuticas inovadoras.

Entre os exemplos mais emblemáticos estão as toxinas isoladas de espécies do gênero *Amanita*. Compostos como a faloidina, apesar de sua toxicidade, passaram a ser amplamente utilizados em biologia celular como marcadores altamente específicos de actina



filamentosa. Conjugadas a fluoróforos, essas moléculas permitem a visualização precisa do citoesqueleto em estudos de microscopia, contribuindo de maneira decisiva para o avanço do conhecimento sobre estrutura, dinâmica celular e processos como migração, divisão e organização intracelular. Nesse contexto, a toxina deixa de ser vista apenas como um agente nocivo e passa a atuar como uma ferramenta experimental insubstituível.

De forma semelhante, a alfa-amanitina, conhecida por sua elevada citotoxicidade, tornou-se um modelo clássico para o estudo da transcrição gênica em eucariotos. Sua capacidade de bloquear seletivamente a síntese de RNA mensageiro permitiu avanços significativos na compreensão da regulação da expressão gênica, da organização do núcleo celular e dos mecanismos de resposta ao estresse transcricional. Mais recentemente, essa mesma propriedade tem sido explorada em abordagens terapêuticas experimentais, especialmente no campo da oncologia.

Estratégias conhecidas como *antibody–drug conjugates* (ADCs) ou sistemas de entrega direcionada vêm sendo investigadas com o objetivo de acoplar toxinas extremamente potentes, como a alfa-amanitina, a anticorpos ou vetores moleculares capazes de reconhecer seletivamente células tumorais. Nessas abordagens, a toxicidade da molécula não é eliminada, mas cuidadosamente direcionada, transformando um veneno letal em um agente citotóxico altamente seletivo. Embora ainda em fase experimental, esses estudos ilustram o potencial de reaproveitamento farmacológico de toxinas fúngicas quando inseridas em contextos terapêuticos controlados.

Outras toxinas, como aquelas produzidas por cogumelos nefrotóxicos ou neurotóxicos, também têm contribuído de forma indireta para o avanço da medicina. Modelos experimentais baseados nessas substâncias auxiliam na compreensão de mecanismos de lesão renal, neurotoxicidade, estresse oxidativo e falência orgânica progressiva. Esses modelos são particularmente relevantes para



o desenvolvimento de estratégias de diagnóstico precoce, biomarcadores de dano tecidual e protocolos de intervenção clínica.

O interesse científico por toxinas fúngicas também se estende à farmacologia comparada e à toxicologia mecanística. Ao explorar como pequenas variações estruturais em moléculas naturais resultam em efeitos biológicos drasticamente diferentes, pesquisadores obtêm informações valiosas sobre relação estrutura–atividade, seletividade molecular e limites entre efeito terapêutico e toxicidade. Esses conhecimentos são fundamentais para o desenho racional de novos fármacos e para a avaliação de riscos associados a substâncias bioativas. Nesse sentido, as toxinas fúngicas representam um conjunto singular de moléculas naturais em que risco biológico e valor científico coexistem de forma indissociável. A compreensão de suas propriedades não apenas esclarece os mecanismos envolvidos nas intoxicações por cogumelos venenosos, mas também fornece modelos experimentais e ferramentas moleculares de grande utilidade para a pesquisa biomédica contemporânea. Assim, o estudo dessas toxinas ultrapassa a dimensão estritamente toxicológica e insere os cogumelos venenosos no contexto mais amplo da inovação científica. Ao revelar como moléculas evoluídas para a defesa química podem ser reinterpretadas e redirecionadas pela ciência, essa abordagem estabelece uma ponte conceitual entre perigo natural, conhecimento fundamental e potencial aplicação terapêutica.

ENVENENAMENTO ACIDENTAL POR COGUMELOS

O envenenamento acidental por cogumelos venenosos ocorre, na grande maioria dos casos, por erro de identificação durante a coleta e o consumo de espécies silvestres. Esse risco é ampliado pela semelhança morfológica entre espécies comestíveis

SUMÁRIO

e espécies tóxicas, especialmente quando os corpos de frutificação estão jovens, parcialmente degradados ou com variações de coloração e textura induzidas pelo ambiente. Exemplos clássicos são: *Amanita phalloides* confundida com espécies comestíveis (inclusive do grupo dos "champignons" em alguns países), *Galerina marginata* confundida com espécies comestíveis que crescem em madeira. Adicionalmente, é importante destacar que intoxicações acidentais não se limitam aos grupos lamelados tradicionalmente associados a casos fatais (como *Amanita* e *Galerina*). Há relatos recentes de episódios envolvendo espécies pertencentes à ordem *Boletales*, como *Lanmaoa asiatica*, evidenciando que mesmo cogumelos com himênio poroso (frequentemente considerados "mais seguros" por coletores amadores) podem estar associados a envenenamentos por erro de identificação. No caso do *Lanmaoa asiatica*, a espécie pode ser confundida com a espécie comestível *Boletus edulis* (cogumelo Porcini) (Figura 4).

Figura 4 - *Lanmao asiatica* venenoso (A) e *Boletus edulis* comestível (B) podem ser confundidos



Esse tipo de ocorrência reforça que o principal determinante do risco não é a "aparência geral" do cogumelo, mas sim a identificação taxonômica correta, especialmente em ambientes onde há consumo doméstico e coleta recreativa sem suporte técnico. Nesse contexto, *Lanmaoa asiatica* se encaixa diretamente entre os fatores apresentados na Tabela 1 a seguir, sobretudo na confusão



morfológica entre espécies, na coleta por iniciantes ou turistas e na influência de informações empíricas e não científicas, que geram falsa percepção de segurança.

A prática de "testes caseiros" amplamente divulgados em redes sociais, como observar alterações de cor, presença de insetos ou escurecimento de metais durante o cozimento, não possui base científica e pode levar a decisões perigosas, já que muitas toxinas fúngicas são incolores, termoestáveis e ativas em doses muito baixas. A maior incidência de intoxicações tende a ocorrer em regiões com tradição de coleta sazonal e consumo doméstico de cogumelos silvestres, onde a exposição é frequente, bem como em cenários de turismo rural ou coleta recreativa por pessoas sem treinamento micológico. Além disso, parte dos casos graves é agravada pela demora em procurar atendimento, uma vez que algumas intoxicações apresentam sintomas iniciais inespecíficos, dificultando o reconhecimento precoce do risco. O risco aumenta muito quando o consumo é feito por coletores iniciantes, turismo rural/ecoturismo, pessoas que "aprendem" por redes sociais e comunidades urbanas sem tradição micológica.

MITOS COMUNS:
POR QUE NÃO EXISTE "TESTE CASEIRO" CONFIÁVEL PARA IDENTIFICAR COGUMELOS VENENOSOS

Uma das principais causas de intoxicação por cogumelos em todo o mundo é a crença de que existem métodos simples, populares ou "caseiros" capazes de distinguir espécies comestíveis de espécies venenosas. Esses métodos, amplamente difundidos em tradições orais, redes sociais e manuais não científicos, não possuem qualquer base científica e podem levar a consequências fatais (Figura 5).

Figura 5 - Mitos comuns para identificar cogumelos venenosos



Entre os mitos mais comuns está a ideia de que cogumelos venenosos apresentam cores chamativas, enquanto os comestíveis seriam sempre discretos. Na realidade, algumas das espécies mais letais, como *Amanita phalloides*, possuem aparência pouco chamativa e podem ser facilmente confundidas com cogumelos comestíveis. Da mesma forma, cogumelos de coloração intensa não são necessariamente tóxicos.

Outro equívoco frequente é acreditar que animais, como insetos, caracóis ou mamíferos, evitam cogumelos venenosos. Muitos animais possuem metabolismo diferente do humano e podem consumir espécies altamente tóxicas para nós sem apresentar efeitos adversos. A presença de marcas de mordida, portanto, não é um indicativo de segurança. Também são comuns mitos envolvendo objetos metálicos, como colheres de prata, ou testes culinários improvisados, como alterações de cor durante o cozimento. Nenhuma dessas práticas é capaz de detectar toxinas fúngicas, que são incolores, termoestáveis e ativas mesmo em pequenas concentrações.



Mais recentemente, um novo e preocupante equívoco tem se difundido: a confiança excessiva em aplicativos de identificação de cogumelos por imagem, como *iNaturalist, Picture Mushroom ou PlantNet.* Embora essas ferramentas possam ser úteis para fins educacionais ou de triagem preliminar, elas não foram desenvolvidas para garantir segurança alimentar. A identificação baseada exclusivamente em fotografia apresenta limitações importantes, como variações de iluminação, ângulo, estágio de desenvolvimento do fungo e ausência de características diagnósticas essenciais (como odor, impressão de esporos ou estruturas subterrâneas). Além disso, algoritmos de inteligência artificial podem apresentar erros de classificação, especialmente entre espécies morfologicamente semelhantes, justamente o caso mais crítico em micologia. O problema se agrava pelo fato de muitos usuários confiarem cegamente nas respostas fornecidas por essas ferramentas, interpretando resultados probabilísticos como confirmações definitivas. Essa falsa sensação de segurança pode levar ao consumo de espécies potencialmente letais. Do ponto de vista científico e toxicológico, nenhum aplicativo substitui a análise de um especialista qualificado.

A identificação segura de cogumelos exige conhecimento taxonômico, análise detalhada de características morfológicas (como esporos, lamelas, volva e anel) e, em muitos casos, confirmação por especialistas. Para o público geral, a recomendação mais segura permanece inequívoca: não consumir cogumelos silvestres sem identificação especializada confiável. Este mito persistente, agora ampliado pelo uso inadequado de tecnologias digitais, reforça a importância da educação científica e da divulgação responsável do conhecimento micológico. Compreender que não existem atalhos simples para distinguir cogumelos venenosos de comestíveis é um passo fundamental para reduzir acidentes e preservar vidas.

Os países onde ocorrem envenenamentos acidentais com maior incidência são as regiões com tradição de coleta e consumo de cogumelos silvestres como países europeus, China e Leste asiático. Há muitas intoxicações em populações que coletam cogumelos

sem suporte técnico adequado, incluindo áreas rurais e periurbanas, comunidades migrantes, famílias que mantêm hábitos tradicionais em novos países. O envenenamento aumenta especialmente no outono e primavera em regiões temperadas (épocas de frutificação) e após períodos de chuva, quando há abundância de cogumelos. Os envenenamentos geralmente envolvem consumo doméstico (refeição familiar), coletas recreativas, tentativa de consumir "cogumelos parecidos com champignon" e casos pediátricos por ingestão acidental em jardins/parques (menos frequente, mas relevante). A Figura 6 resume as principais causas de envenenamento e como preveni-las.

Figura 6 - Principais causas de envenenamento por cogumelos e como preveni-las



Do ponto de vista epidemiológico, os casos mais graves de envenenamento por cogumelos estão frequentemente associados à coleta de exemplares silvestres fora de contextos tradicionais de conhecimento micológico. Em regiões onde o consumo de cogumelos silvestres não faz parte da cultura alimentar, a falta de familiaridade com a diversidade fúngica local aumenta significativamente o risco de acidentes.



É fundamental enfatizar que muitos envenenamentos graves iniciam com sintomas gastrointestinais inespecíficos, como náuseas, vômitos, dor abdominal e diarreia, que podem ser erroneamente interpretados como intoxicações alimentares comuns. No entanto, em casos envolvendo espécies hepatotóxicas, como aquelas contendo amatoxinas, esses sintomas iniciais podem preceder um período de aparente melhora clínica, seguido por deterioração rápida e potencialmente fatal. Dessa forma, qualquer sintoma gastrointestinal após ingestão suspeita de cogumelos deve ser tratado como emergência médica, exigindo avaliação imediata em serviço de saúde, mesmo que os sintomas pareçam leves ou transitórios. Recomenda-se também que, sempre que possível, amostras do cogumelo consumido (ou restos da refeição) sejam levadas ao atendimento médico, pois podem auxiliar na identificação toxicológica. O atraso na busca por assistência é um dos principais fatores associados à maior gravidade e mortalidade nesses casos.

O reconhecimento das espécies mais perigosas não tem apenas valor taxonômico, mas constitui uma ferramenta fundamental para a prevenção de intoxicações e para a educação da população. Compreender quais grupos representam maior risco, aliado à pronta resposta diante de sintomas iniciais, é essencial para reduzir a morbimortalidade associada ao consumo inadvertido de cogumelos venenosos.

SÍNTESE COMPARATIVA POR CLASSE MOLECULAR

A diversidade de cogumelos psicodélicos e venenosos reflete-se diretamente na variedade de moléculas bioativas que esses organismos produzem e nos diferentes sistemas biológicos que elas afetam. Embora os efeitos clínicos e os riscos associados a essas



substâncias tenham já sido discutidos nas seções anteriores, uma visão integrada das classes moleculares, de seus principais alvos biológicos e do perfil geral de risco permite compreender de forma mais clara as diferenças fundamentais entre cogumelos com potencial psicodélico e espécies altamente tóxicas (Tabela 1).

Tabela 1 - Síntese comparativa das principais classes moleculares produzidas por cogumelos psicodélicos e venenosos

Grupo de cogumelos e exemplos	Classe molecular e principais moléculas	Principal alvo biológico e perfil geral de risco
Psicodélicos clássicos *Psilocybe cubensis*, *Panaeolus cyanescens*, *Gymnopilus junonius*	Triptaminas indólicas (4-substituídas) Psilocibina, psilocina, baeocistina, norbaeocistina	Receptores serotoninérgicos (especialmente 5-HT_2A) Baixo, quando comparado a toxinas letais; risco associado principalmente à confusão com espécies tóxicas
Psicoativos com maior toxicidade *Amanita muscaria*	Ácido ibotênico, muscimol Isoxazóis (análogos de neurotransmissores)	Sistemas glutamatérgico e GABAérgico Moderado; efeitos neurológicos imprevisíveis e maior risco de intoxicação
Venenosos letais (amatoxinas) *Amanita phalloides*, *Amanita bisporigera*, *Galerina marginata*, *Lepiota brunneoincarnata*	Peptídeos cíclicos α-amanitina, β-amanitina	RNA polimerase II (síntese proteica) Alto; elevada taxa de mortalidade e evolução clínica frequentemente tardia
Venenosos citotóxicos auxiliares *Amanita phalloides*	Peptídeos cíclicos Faloidina, falotoxinas Peptídeos cíclicos	Actina filamentosa (citoesqueleto) Alto em nível celular; menor relevância na toxicidade oral
Venenosos nefrotóxicos *Cortinarius* spp.	Compostos heteroaromáticos/ redox-ativos. Orelanina	Epitélio tubular renal. Alto; lesão renal grave e frequentemente irreversível



SUMÁRIO

Venenosos neurotóxicos *Gyromitra* spp.	Hidrazinas Giromitrina → monometilhidrazina)	Metabolismo da vitamina B6 / sistema GABAérgico. Variável; risco neurológico e hepático
Venenosos colinérgicos *Inocybe* spp., *Clitocybe* spp.	Amônio quaternário Muscarina	Receptores colinérgicos muscarínicos Variável; síndrome colinérgica periférica
Venenosos metabólicos *Coprinopsis atramentaria*	Ciclopropanos / composto nitrogenado Coprina	Aldeído desidrogenase Baixo a moderado

POR QUE OS COGUMELOS PRODUZEM TOXINAS TÃO POTENTES?

Ao contrário do que muitas vezes se imagina, os cogumelos não produzem toxinas para "atacar" seres humanos. Essas moléculas são, na realidade, o resultado de milhões de anos de evolução química, moldada por pressões ecológicas intensas. Como organismos fixos, incapazes de fugir de predadores ou de competir fisicamente por espaço e nutrientes, os fungos desenvolveram estratégias químicas altamente eficientes para sobreviver. As toxinas fúngicas são produtos do chamado metabolismo secundário, um conjunto de vias bioquímicas que não está diretamente ligado ao crescimento ou à reprodução, mas à adaptação ao ambiente. Por meio desse metabolismo, os cogumelos produzem moléculas capazes de repelir insetos, inibir o crescimento de microrganismos concorrentes e desencorajar a predação por vertebrados. A potência dessas substâncias reflete a necessidade de agir em pequenas quantidades, garantindo eficácia mesmo quando o fungo é parcialmente consumido. Além da defesa, algumas toxinas podem desempenhar papéis mais sutis,



como a mediação de interações ecológicas e a ocupação de nichos específicos. Certas moléculas interferem seletivamente em processos celulares fundamentais, como a síntese de proteínas, a transmissão nervosa ou a integridade do citoesqueleto, porque esses alvos são altamente conservados entre diferentes organismos. Ao atingir funções universais da vida celular, a toxina garante amplo espectro de ação. Do ponto de vista científico, essa sofisticação química transformou os cogumelos em verdadeiros "laboratórios naturais". Moléculas como a alfa-amanitina, a faloidina, a psilocibina e o muscimol são exemplos de como compostos evoluídos para fins ecológicos podem se tornar ferramentas valiosas para a biologia, a farmacologia e a medicina. O que na natureza funciona como defesa, na ciência pode ser convertido em conhecimento, diagnóstico ou terapia. Assim, compreender por que os cogumelos produzem toxinas tão potentes não apenas ajuda a prevenir intoxicações, mas também revela como a evolução química dos fungos contribuiu para avanços fundamentais no entendimento dos sistemas biológicos e no desenvolvimento de novas aplicações biomédicas.

CONCLUSÃO

Os cogumelos psicodélicos e venenosos exemplificam a complexidade química e biológica do reino Fungi e a ambiguidade de suas interações com o ser humano. Ambos produzem metabólitos secundários altamente ativos, capazes de interferir em sistemas neuroquímicos, metabólicos e celulares. Seus efeitos variam de experiências subjetivas transitórias a intoxicações graves, evidenciando que seu impacto não pode ser interpretado de forma simplista.

O conhecimento científico é o principal fator que diferencia risco de oportunidade. Cogumelos psicodélicos, quando estudados sob protocolos rigorosos e em contextos controlados, apresentam



perfil farmacológico distinto e potencial terapêutico para transtornos psiquiátricos. Em contraste, espécies produtoras de toxinas letais permanecem como desafio à saúde pública, especialmente devido à identificação incorreta e à alta potência de seus compostos.

A análise das toxinas fúngicas mostra que moléculas evoluídas como defesa química podem assumir funções científicas relevantes. Compostos com efeitos citotóxicos, neurotóxicos ou nefrotóxicos tornaram-se ferramentas importantes na biologia celular, toxicologia e farmacologia, contribuindo para o avanço do conhecimento e o desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas. Esse contraste reforça que a distinção entre veneno e medicamento depende da dose, do alvo molecular, da via de administração e do contexto de uso. Assim, a compreensão desses cogumelos requer uma abordagem integrada, envolvendo aspectos culturais, ecológicos, químicos e biomédicos. Mais do que fontes de risco, representam sistemas biológicos complexos com potencial científico significativo, contribuindo para a educação, a prevenção e a inovação.

REFERÊNCIAS

BROUWER, A. *et al.* A qualitative analysis of the psychedelic mushroom come-up and come-down. **npj Mental Health Research**, v. 4, n. 6, 2025. https://doi.org/10.1038/s44184-024-00095-6.

HE, M.-Q. *et al.* Potential benefits and harms: a review of poisonous mushrooms in the world. **Fungal Biology Reviews**, v. 42, p. 56–68, 2022. https://doi.org/10.1016/j.fbr.2022.06.002.

KOWALCZYK, M. *et al.,* Practical aspects of genetic identification of hallucinogenic and other poisonous mushrooms for clinical and forensic purposes. **Croatian Medical Journal**, v. 56, n. 1, p. 32–40, 2015. https://doi.org/10.3325/cmj.2015.56.32.



SUMÁRIO

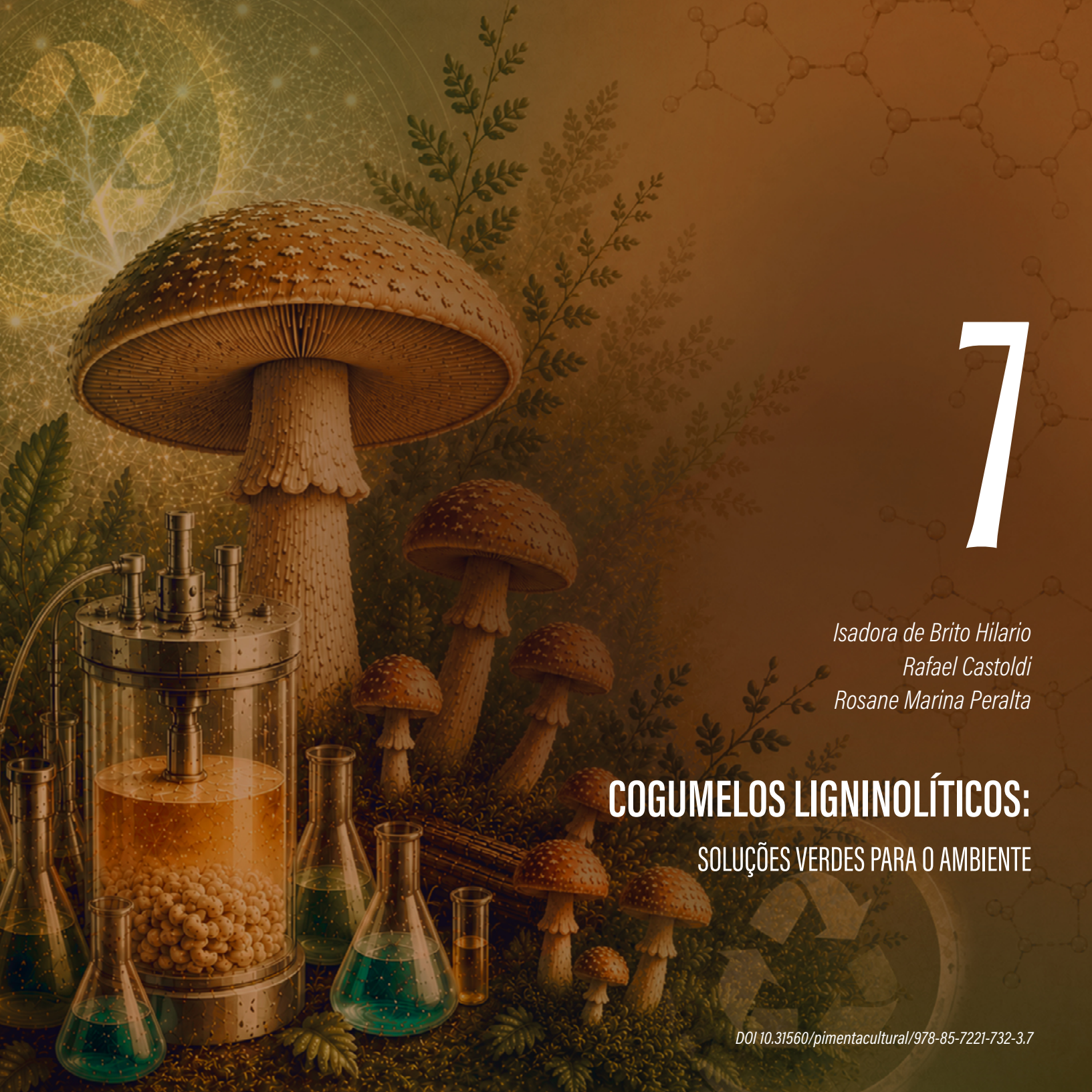
PEPE, M. *et al.* A journey with psychedelic mushrooms: from historical relevance to biology, cultivation, medicinal uses, biotechnology, and beyond. **Biotechnology Advances**, v. 69, p. 108247, 2023. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2023.108247.

SAHU, K. *et al.* A comprehensive review on poisonous mushrooms: the revolutionary potential of mycotoxins in medicine and beyond. **Toxicon**, v. 266, p. 108538, 2025. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2025.108538.

SUDHAKARAN, G. *et al.* Biochemical insights into diverse *Psilocybe* mushrooms and their metabolites as sources of neuroactive agents: a review. **Current Microbiology**, v. 82, p. 386, 2025. https://doi.org/10.1007/s00284-025-04379-8.

TUĞCAN, M. O. & AKPINAR, A. A. Mushroom poisoning: an updated review. **Turkish Journal of Emergency Medicine**, v. 25, n. 1, p. 10–16, 2025. https://doi.org/10.4103/tjem.tjem_129_24.

WIJESEKARA, T. & XU, B. Insights into therapeutic potential and practical applications of natural toxins from poisonous mushrooms. **Human and Experimental Toxicology**, v. 44, p. 1–17, 2025. https://doi.org/10.1177/0960327125132313.



7

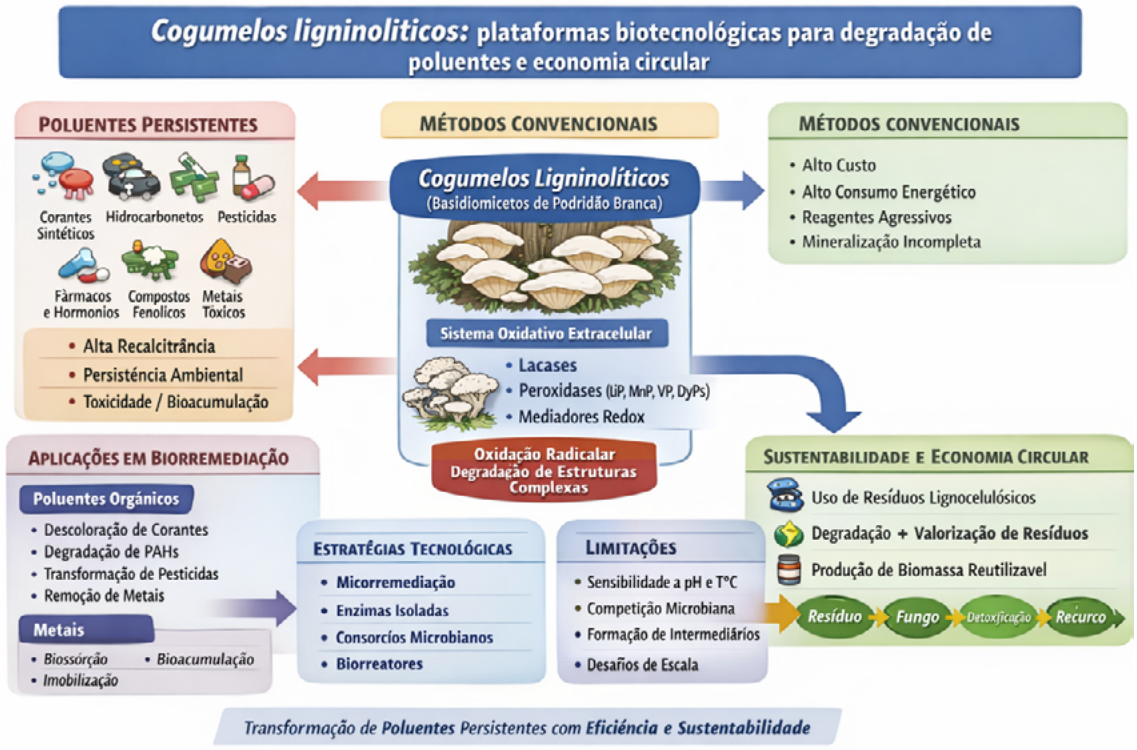
Isadora de Brito Hilario
Rafael Castoldi
Rosane Marina Peralta

COGUMELOS LIGNINOLÍTICOS:

SOLUÇÕES VERDES PARA O AMBIENTE

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-732-3.7

SUMÁRIO


Cogumelos ligninoliticos: plataformas biotecnológicas para degradação de poluentes e economia circular
POLUENTES PERSISTENTES
Corantes Sintéticos
Hidrocarbonetos
Pesticidas
Fàrmacos e Hormonios
Compostos Fenolicos
Metais Tóxicos
• Alta Recalcitrância
• Persisténcia Ambiental
• Toxicidade / Bioacumulação
MÉTODOS CONVENCIONAIS
Cogumelos Ligninolíticos
(Basidiomicetos de Podridão Branca)
Sistema Oxidativo Extracelular
• Lacases
• Peroxidases (LiP, MnP, VP, DyPs)
• Mediadores Redox
Oxidação Radicalar
Degradação de Estruturas Complexas
MÉTODOS CONVENCIONAIS
• Alto Custo
• Alto Consumo Energético
• Reagentes Agressivos
• Mineralização Incompleta
APLICAÇÕES EM BIORREMEDIAÇÃO
Poluentes Orgánicos
• Descoloração de Corantes
• Degradação de PAHs
• Transformação de Pesticidas
• Remoção de Metais
Metais
• Biossórção
• Bioacumulação
• Imobilização
ESTRATÉGIAS TECNOLÓGICAS
• Micorremediação
• Enzimas Isoladas
• Consorcíos Microbianos
• Biorreatores
LIMITAÇÕES
• Sensibilidade a pH e T°C
• Competição Microbiana
• Formação de Intermediários
• Desafios de Escala
SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA CIRCULAR
Uso de Resíduos Lignocelulósicos
Degradação + Valorização de Resíduos
Produção de Biomassa Reutilizavel
Resíduo
Fungo
Detoxificação
Recurso
Transformação de Poluentes Persistentes com Eficiéncia e Sustentabilidade



SUMÁRIO

RESUMO:

Este capítulo aborda o potencial dos cogumelos ligninolíticos como agentes biotecnológicos para a mitigação de poluentes ambientais persistentes. A crescente liberação de compostos recalcitrantes, como corantes sintéticos, hidrocarbonetos, pesticidas, fármacos, fenóis e metais tóxicos, tem desafiado tecnologias convencionais de tratamento, frequentemente limitadas por elevado custo, consumo energético e eficiência incompleta de mineralização. Nesse contexto, a biorremediação baseada em fungos emerge como uma alternativa sustentável, fundamentada na ação de sistemas oxidativos extracelulares altamente versáteis. Fungos ligninolíticos, especialmente basidiomicetos de podridão branca, destacam-se pela produção de enzimas como lacases e peroxidases (LiP, MnP, VP e DyPs), associadas a mediadores redox capazes de promover transformações não específicas em estruturas aromáticas complexas. O capítulo discute a diversidade funcional desses fungos, seus mecanismos bioquímicos de degradação e suas principais aplicações na remediação de poluentes orgânicos e na remoção de metais por processos como biossorção e bioacumulação. São também abordadas estratégias tecnológicas, incluindo micorremediação, uso de enzimas isoladas, consórcios microbianos e sistemas em biorreatores, bem como limitações operacionais e desafios de escalabilidade. Por fim, são apresentadas perspectivas relacionadas à integração desses sistemas em abordagens sustentáveis, destacando o papel dos fungos ligninolíticos no desenvolvimento de soluções ambientais alinhadas à economia circular.

PALAVRAS-CHAVE: biorremediação, economia circular, enzimas ligninolíticas, micorremediação, poluentes orgânicos persistentes.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades industriais, agrícolas e urbanas tem resultado no aumento contínuo da liberação de poluentes no ambiente, incluindo compostos orgânicos recalcitrantes, como corantes sintéticos, hidrocarbonetos, pesticidas e fármacos, além de metais potencialmente tóxicos. Muitos desses contaminantes apresentam elevada estabilidade química, persistência ambiental e potencial de bioacumulação, o que compromete a qualidade dos ecossistemas e representa riscos à saúde humana.

Embora métodos físico-químicos sejam amplamente utilizados para tratamento de efluentes e remediação de solos contaminados, tais abordagens frequentemente envolvem alto consumo energético, uso de reagentes agressivos e custos operacionais elevados, além de nem sempre promoverem a completa mineralização dos poluentes. Nesse cenário, estratégias baseadas em processos biológicos têm ganhado destaque por sua capacidade de promover transformação e detoxificação de contaminantes sob condições mais brandas e ambientalmente compatíveis.

Entre os agentes biológicos com maior relevância para aplicações ambientais, destacam-se os fungos ligninolíticos, particularmente basidiomicetos associados à decomposição de biomassa lignocelulósica. Esses organismos possuem um sistema oxidativo extracelular altamente eficiente, capaz de atuar sobre uma ampla gama de compostos aromáticos complexos. Tal característica decorre da baixa especificidade catalítica de enzimas como lacases e peroxidases, que operam por mecanismos oxidativos e radicalares, permitindo a transformação de moléculas estruturalmente semelhantes à lignina, incluindo diversos poluentes persistentes.

Além de seu papel ecológico essencial na ciclagem do carbono e na decomposição de matéria orgânica, os fungos ligninolíticos



têm sido explorados como plataformas biotecnológicas em processos de biorremediação. Sua atuação pode ocorrer por diferentes estratégias, incluindo aplicação direta do micélio em ambientes contaminados (micorremediação), uso de biomassa fúngica como biossorvente e aplicação de enzimas isoladas em sistemas controlados. Essas abordagens permitem atuar tanto na degradação de poluentes orgânicos quanto na remoção ou imobilização de metais, ampliando o escopo de aplicação desses organismos.

Diante desse contexto, este capítulo tem como objetivo apresentar uma visão integrada sobre os cogumelos ligninolíticos, abordando seus fundamentos ecológicos e bioquímicos, os mecanismos envolvidos na transformação de contaminantes e suas principais aplicações em biorremediação. Serão discutidos os grupos funcionais de fungos ligninolíticos, seu sistema enzimático, estratégias tecnológicas de aplicação, limitações operacionais e perspectivas futuras, com ênfase no desenvolvimento de soluções sustentáveis alinhadas à economia circular.

QUAIS SÃO OS COGUMELOS LIGNINOLÍTICOS?

Os cogumelos ligninolíticos correspondem majoritariamente a fungos filamentosos basidiomicetos e, em menor proporção, ascomicetos capazes de colonizar e degradar materiais lignocelulósicos, como madeira, serrapilheira e resíduos vegetais. O termo “ligninolítico” refere-se à habilidade de modificar ou degradar lignina, um polímero aromático altamente recalcitrante que confere rigidez às paredes celulares vegetais e atua como barreira físico-química à degradação microbiana.



SUMÁRIO

Ecologicamente, esses fungos desempenham papel central na decomposição da biomassa vegetal, contribuindo para a ciclagem do carbono e a formação de matéria orgânica no solo. Do ponto de vista biotecnológico, destacam-se pela produção de um sistema oxidativo extracelular versátil, composto principalmente por lacases e peroxidases, capaz de atuar sobre uma ampla gama de compostos aromáticos, incluindo poluentes ambientais estruturalmente semelhantes à lignina.

Uma característica fundamental desses organismos é a degradação extracelular, mediada pela secreção de enzimas e metabólitos oxidativos no ambiente. Esse mecanismo permite a transformação de macromoléculas insolúveis antes de sua assimilação, além de favorecer a adaptação a ambientes com baixa disponibilidade de nutrientes, nos quais a lignina e outros polímeros estruturais representam importantes fontes de carbono e energia.

A lignina é um dos componentes mais resistentes da biomassa vegetal e representa um dos principais desafios à decomposição da matéria orgânica. A evolução de fungos capazes de degradar esse polímero teve impacto significativo no ciclo global do carbono, ao permitir a reciclagem eficiente da biomassa lenhosa em ecossistemas terrestres. Essa capacidade está associada ao desenvolvimento de sistemas enzimáticos oxidativos pouco específicos, baseados em reações radicalares. Diferentemente das enzimas hidrolíticas, que atuam sobre ligações específicas, a degradação da lignina envolve espécies reativas capazes de romper ligações carbono–carbono e carbono–oxigênio altamente estáveis. Por isso, os sistemas ligninolíticos são considerados um dos exemplos mais avançados de catálise biológica aplicada à desconstrução de materiais recalcitrantes.

Do ponto de vista funcional, os fungos decompositores de madeira são classificados em três grupos principais, podridão branca, podridão parda e podridão mole, definidos por suas estratégias de degradação da matriz lignocelulósica e com implicações diretas



para aplicações biotecnológicas. Os fungos de podridão branca são os principais degradadores de lignina na natureza. Possuem a capacidade de mineralizar lignina simultaneamente à degradação de celulose e hemicelulose, resultando em substratos com coloração mais clara e estrutura fibrosa. Essa estratégia está associada a um sistema enzimático robusto, incluindo lacases, manganês peroxidase (MnP), lignina peroxidase (LiP) e peroxidase versátil (VP), o que explica sua elevada eficiência na transformação de compostos aromáticos persistentes. Do ponto de vista aplicado, destacam-se pela alta capacidade oxidativa, baixa especificidade por substrato e potencial de detoxificação, atuando em matrizes complexas como solos, lodos e resíduos lignocelulósicos contaminados.

Os fungos de podridão parda, por sua vez, degradam preferencialmente celulose e hemicelulose, enquanto a lignina é apenas parcialmente modificada e permanece como resíduo estrutural. Essa degradação resulta em madeira com coloração marrom e estrutura fragilizada. Esses fungos utilizam predominantemente mecanismos oxidativos não enzimáticos, como reações do tipo Fenton, que promovem rápida despolimerização dos polissacarídeos. Embora menos eficientes na mineralização da lignina, podem ser úteis em processos de pré-tratamento da biomassa, facilitando etapas subsequentes de degradação.

Os fungos de podridão mole incluem principalmente ascomicetos e fungos anamórficos que atuam em condições ambientais menos favoráveis aos basidiomicetos, como elevada umidade, baixo teor de oxigênio ou madeira tratada. Caracterizam-se pela degradação preferencial de polissacarídeos e por modificações estruturais limitadas na lignina, frequentemente formando cavidades na parede celular vegetal. Apesar de menor eficiência ligninolítica, desempenham papel ecológico relevante e podem contribuir para processos de biotransformação em ambientes específicos.



Diversos gêneros de fungos ligninolíticos têm sido amplamente estudados devido ao seu potencial em biorremediação. Entre os mais relevantes destacam-se:

1. *Pleurotus* (ex.: *P. ostreatus*, *P. eryngii*): fungos comestíveis de podridão branca, caracterizados por fácil cultivo, robustez e capacidade de crescimento em resíduos agroindustriais, favorecendo aplicações integradas de remediação e valorização de biomassa.

2. *Trametes* (ex.: *T. versicolor*): modelo clássico para estudos de lacase, com elevada produção enzimática e eficiência na transformação de corantes e compostos aromáticos complexos.

3. *Phanerochaete* (ex.: *P. chrysosporium*): organismo de referência na degradação da lignina, associado à produção de lignina peroxidase e manganês peroxidase, amplamente utilizado em estudos mecanísticos.

4. *Ganoderma* (ex.: *G. lucidum*): fungo de interesse medicinal e ambiental, com sistema ligninolítico expressivo e lacases de alto potencial redox.

Outros gêneros relevantes incluem *Bjerkandera*, *Pycnoporus*, *Lentinus*, *Schizophyllum*, *Irpex* e *Coriolopsis*, que apresentam variações em perfil enzimático, tolerância a contaminantes e desempenho em diferentes matrizes ambientais. A seleção da espécie mais adequada para aplicações em biorremediação depende de fatores como tipo de contaminante, condições físico-químicas do ambiente, disponibilidade de substrato, interação com microbiota nativa e viabilidade de aplicação em escala real.



SUMÁRIO

ECOLOGIA E PAPEL AMBIENTAL DOS LIGNINOLÍTICOS

Os cogumelos ligninolíticos desempenham papel central na dinâmica dos ecossistemas terrestres ao atuar como principais agentes na decomposição de biomassa lignocelulósica recalcitrante. Ao promoverem a abertura da matriz lignocelulósica, esses fungos viabilizam o fluxo de carbono e energia para outros níveis tróficos, além de contribuírem para a formação e estabilização da matéria orgânica no solo.

Mais do que simples decompositores, esses organismos funcionam como engenheiros ecológicos, criando microambientes que favorecem a colonização por bactérias, outros fungos e invertebrados, influenciando a sucessão microbiana e a biodiversidade. O crescimento micelial também modifica propriedades físicas do solo, como porosidade, retenção de água e estabilidade estrutural.

Outro aspecto relevante é a interação entre fungos ligninolíticos, plantas e microbiota do solo, mediada pela liberação de compostos resultantes da decomposição. Essas interações contribuem para a ciclagem de nutrientes e para a manutenção da produtividade e resiliência dos ecossistemas.

A elevada plasticidade metabólica desses fungos permite sua atuação em condições ambientais variáveis, incluindo ambientes impactados. Essa característica estabelece uma conexão direta entre sua função ecológica e seu potencial biotecnológico, especialmente em processos de biorremediação.



CONEXÃO DO SISTEMA LIGNINOLÍTICO COM A BIORREMEDIAÇÃO

O sistema ligninolítico representa um dos exemplos mais relevantes de biocatálise ambiental devido à sua ampla capacidade de atuar sobre substratos aromáticos complexos. Em termos práticos, isso significa que os cogumelos ligninolíticos podem ser empregados para promover remoção de cor e detoxificação de corantes em efluentes têxteis, degradação de pesticidas aromáticos e fenóis industriais, transformação de hidrocarbonetos policíclicos e compostos derivados do petróleo, redução de toxicidade de contaminantes emergentes, como alguns fármacos e hormônios, processos de pré-tratamento de resíduos lignocelulósicos contaminados, facilitando biodegradação posterior.

Assim, o sistema ligninolítico não deve ser interpretado apenas como um mecanismo ecológico de decomposição, mas como uma plataforma biotecnológica robusta, capaz de contribuir para soluções ambientais de menor impacto, maior sustentabilidade e compatibilidade com estratégias de economia circular.

Os cogumelos ligninolíticos são considerados agentes biológicos particularmente estratégicos para aplicações em biorremediação devido à combinação singular de propriedades ecológicas, fisiológicas e bioquímicas que os diferenciam de outros microrganismos degradadores. Enquanto muitas bactérias e fungos não ligninolíticos apresentam capacidade restrita de metabolizar compostos específicos ou requerem condições ambientais altamente controladas, os fungos ligninolíticos, especialmente os de podridão branca, possuem um sistema oxidativo extracelular robusto e pouco seletivo, capaz de atuar sobre uma ampla gama de contaminantes orgânicos persistentes e em diferentes matrizes ambientais. Assim, o potencial desses organismos vai além da simples remoção de poluentes, envolvendo



processos de transformação estrutural, detoxificação e aumento de biodegradabilidade, o que reforça seu papel como plataformas promissoras para tecnologias ambientais sustentáveis.

Uma das principais vantagens dos fungos ligninolíticos é a baixa especificidade por substrato de seu sistema enzimático. Ao contrário de enzimas hidrolíticas, que exigem reconhecimento preciso de ligações químicas específicas, lacases e peroxidases ligninolíticas operam majoritariamente por reações oxidativas e radicalares, permitindo que moléculas estruturalmente distintas sejam transformadas por mecanismos semelhantes. Esse caráter pouco específico é extremamente relevante em ambientes contaminados, onde frequentemente há uma mistura complexa de compostos, incluindo corantes, surfactantes, fenóis, hidrocarbonetos aromáticos e subprodutos industriais. Em tais condições, a abordagem fungo-enzimática tende a ser mais robusta do que estratégias de biodegradação baseadas em rotas metabólicas altamente específicas.

Além disso, fungos ligninolíticos são capazes de degradar ou modificar contaminantes que apresentam estruturas químicas semelhantes à lignina, tais como compostos aromáticos altamente substituídos, moléculas conjugadas e polímeros sintéticos associados a resíduos industriais. Muitos poluentes persistentes, como corantes azo e antraquinônicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), pesticidas aromáticos e fenóis clorados, compartilham características estruturais que tornam sua degradação difícil por processos biológicos convencionais. Nesse cenário, a maquinaria oxidativa desses fungos atua como um sistema de "oxidação de largo espectro", favorecendo a desconstrução molecular e permitindo que intermediários gerados sejam posteriormente mineralizados por outros microrganismos em processos integrados.

Outro diferencial importante é o fato de que a ação ligninolítica ocorre predominantemente no meio extracelular, o que amplia significativamente a aplicabilidade desses organismos. Como diversos



contaminantes ambientais apresentam baixa solubilidade em água e se encontram adsorvidos em partículas sólidas do solo ou associados a matéria orgânica, sua internalização celular pode ser limitada. Os fungos ligninolíticos contornam essa barreira ao secretarem enzimas e mediadores oxidativos que atuam diretamente na matriz contaminada, promovendo a transformação do poluente antes da absorção. Esse mecanismo extracelular também permite que a biotransformação ocorra em microambientes onde o fungo não precisa necessariamente internalizar grandes quantidades de compostos potencialmente tóxicos, reduzindo o impacto direto sobre o metabolismo celular.

Do ponto de vista fisiológico, os fungos ligninolíticos apresentam alta capacidade de colonização e penetração em substratos sólidos, devido à sua morfologia filamentosa e ao crescimento micelial. Essa característica é particularmente vantajosa em processos de biorremediação em solos e resíduos sólidos, nos quais a distribuição heterogênea do contaminante, a baixa disponibilidade de água e limitações de difusão podem comprometer o desempenho de microrganismos unicelulares. O micélio atua como uma rede de exploração do ambiente, aumentando o contato com o substrato e facilitando a produção localizada de enzimas, oxidantes e metabólitos, promovendo degradação mais eficiente em escalas microestruturais.

Outro fator determinante para a relevância dos fungos ligninolíticos em biorremediação é sua capacidade de promover não apenas remoção quantitativa, mas também redução de toxicidade. Em muitos processos de tratamento ambiental, especialmente aqueles voltados para corantes ou contaminantes emergentes, a simples diminuição de concentração não garante segurança ambiental. Alguns contaminantes podem ser convertidos em intermediários mais tóxicos ou mais persistentes. O sistema ligninolítico, por envolver múltiplas vias oxidativas e favorecer a introdução de grupos funcionais que aumentam polaridade, frequentemente conduz à formação de produtos com maior biodegradabilidade e menor impacto



ecotoxicológico, ainda que a mineralização completa nem sempre seja alcançada em uma única etapa. Essa propriedade reforça a importância de avaliar a eficiência da micorremediação não apenas por remoção do poluente, mas por análises integradas de transformação estrutural e detoxificação.

Adicionalmente, fungos ligninolíticos apresentam forte potencial de integração com princípios de sustentabilidade e economia circular. Muitos desses organismos podem ser cultivados utilizando resíduos agroindustriais lignocelulósicos como substrato, incluindo palhas, serragem, cascas, bagaços e outros coprodutos. Essa característica permite desenvolver processos de baixo custo e menor pegada ambiental, nos quais a produção de biomassa fúngica e enzimas pode ocorrer simultaneamente à valorização de resíduos. Em determinados cenários, a própria biomassa residual após processos de cultivo ou biorremediação pode ser reaproveitada como biossorvente ou como matéria-prima para outros bioprodutos, ampliando o potencial de inovação em cadeias produtivas sustentáveis.

Apesar desses benefícios, é importante destacar que a aplicação prática em escala real requer cuidados adicionais, pois fatores ambientais (como pH, temperatura, disponibilidade de oxigênio e presença de inibidores químicos) podem limitar a atividade enzimática e o crescimento fúngico. Ainda assim, a combinação entre versatilidade oxidativa, ação extracelular, capacidade de colonização de substratos sólidos e potencial de detoxificação posiciona os cogumelos ligninolíticos como uma das abordagens mais promissoras para estratégias avançadas de biorremediação, especialmente em sistemas complexos onde contaminantes persistentes desafiam métodos convencionais.



APLICAÇÕES EM BIORREMEDIAÇÃO

Os cogumelos ligninolíticos apresentam elevado potencial na biorremediação de poluentes orgânicos devido à sua capacidade de promover transformações oxidativas extracelulares em compostos aromáticos recalcitrantes. Essa atuação resulta, em geral, em modificação estrutural, redução de toxicidade e aumento da biodegradabilidade, podendo ser explorada tanto por micorremediação quanto pelo uso de enzimas isoladas.

Entre os principais alvos destacam-se:

1. Corantes sintéticos (efluentes têxteis): degradados por lacases e peroxidases, com descoloração e redução de toxicidade, embora limitações operacionais incluam alta salinidade e presença de aditivos industriais.

2. Hidrocarbonetos aromáticos (PAHs): parcialmente oxidados por mecanismos extracelulares, com aumento de polaridade e posterior degradação por consórcios microbianos; a morfologia micelial favorece a atuação em solos heterogêneos.

3. Pesticidas e herbicidas: transformados por reações oxidativas, com redução de persistência e toxicidade, embora o desempenho dependa fortemente das condições do solo.

4. Contaminantes emergentes (fármacos e hormônios): alvo de tratamentos terciários, especialmente com lacases mediadas, exigindo avaliação de subprodutos formados.

5. Compostos fenólicos: prontamente oxidados, podendo gerar polímeros menos tóxicos ou intermediários mais facilmente removíveis.



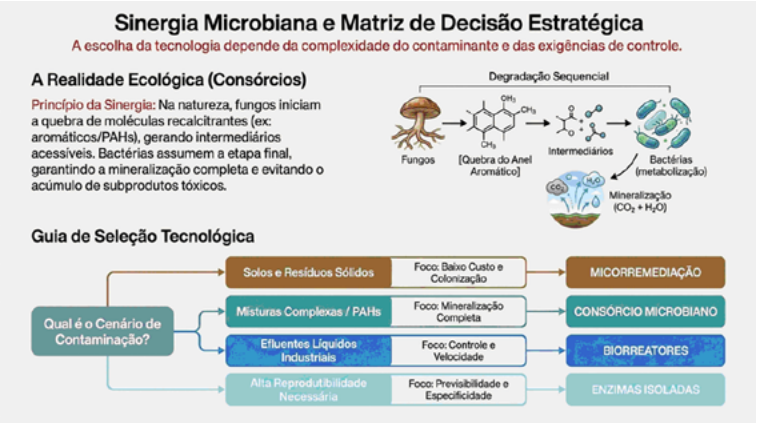
De forma geral, essas aplicações se baseiam em três atributos centrais: (i) oxidação de amplo espectro, (ii) atuação sobre estruturas aromáticas recalcitrantes e (iii) geração de produtos mais acessíveis a processos biológicos subsequentes.

No caso de metais, a atuação fúngica não envolve degradação, mas processos de remoção e imobilização, como biossorção, bioacumulação, complexação e precipitação, resultando principalmente na redução da biodisponibilidade e toxicidade. A biomassa fúngica, rica em grupos funcionais, pode ser utilizada como biossorvente de baixo custo, embora o contaminante permaneça no sistema e exija destinação adequada.

ESTRATÉGIAS TECNOLÓGICAS E LIMITAÇÕES OPERACIONAIS

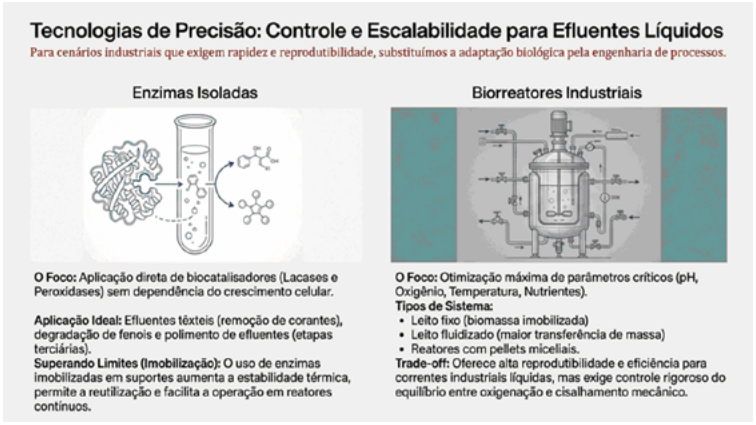
As estratégias de aplicação de fungos ligninolíticos incluem micorremediação in situ, uso de enzimas isoladas, consórcios microbianos e sistemas em biorreatores, podendo ser combinadas conforme a complexidade do contaminante e o nível de controle requerido. De modo geral, fungos atuam na etapa inicial de transformação de compostos recalcitrantes, enquanto bactérias podem complementar a mineralização, evidenciando a importância de abordagens integradas (Figura 1).

Figura 1 - Sinergia microbiana e matriz de decisão estratégica para biorremediação



A aplicação de enzimas isoladas oferece maior previsibilidade e controle, sendo especialmente relevante para efluentes líquidos. No entanto, limitações como instabilidade operacional e sensibilidade a inibidores tornam necessária a adoção de estratégias como imobilização enzimática, que aumenta estabilidade, permite reutilização e favorece aplicação em sistemas contínuos (Figura 2).

Figura 2 - Tecnologias de precisão para o tratamento de efluentes líquidos industriais





Biorreatores representam a alternativa mais controlada e escalável, permitindo ajuste preciso de parâmetros como pH, oxigenação e tempo de retenção. Sistemas como leito fixo, leito fluidizado e biomassa imobilizada são amplamente utilizados, embora desafios como transferência de massa e estabilidade micelial devam ser considerados. A escolha da estratégia depende da matriz contaminada: micorremediação é mais adequada para solos e resíduos sólidos; biorreatores e enzimas isoladas são preferíveis para efluentes líquidos; consórcios microbianos são indicados para misturas complexas de poluentes. Apesar do potencial, a aplicação em escala real é limitada por fatores como competição microbiana, toxicidade do contaminante, limitações de oxigenação, sensibilidade a pH e temperatura, e tempo de tratamento. Além disso, a formação de intermediários potencialmente tóxicos exige avaliação ecotoxicológica e, frequentemente, integração com outras etapas de tratamento. Esses desafios não inviabilizam o uso de fungos ligninolíticos, mas indicam a necessidade de desenho tecnológico adequado, seleção criteriosa de cepas e integração de processos para garantir eficiência e segurança ambiental (Figura 3).

Figura 3 - Do resíduo ao recurso: eficiência operacional dos fungos ligninolíticos em processos de valorização e remediação ambiental



SUMÁRIO

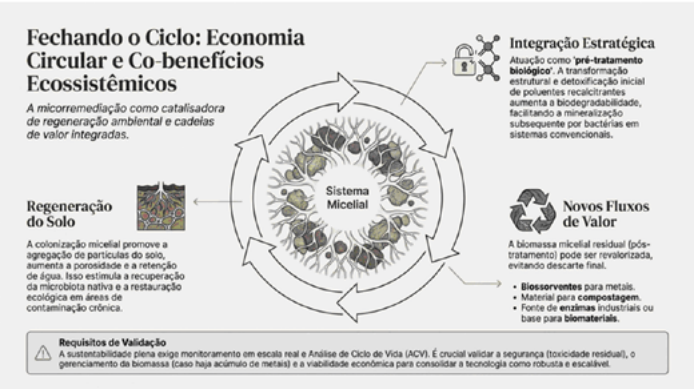
SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA CIRCULAR

A aplicação de fungos ligninolíticos está alinhada aos princípios da sustentabilidade, principalmente pela capacidade de utilizar resíduos lignocelulósicos como substrato e atuar sob condições operacionais brandas. Essa característica permite integrar remediação ambiental com valorização de biomassa, reduzindo custos e impactos ambientais.

Além da transformação de poluentes, esses sistemas podem gerar co-benefícios, como melhoria das propriedades do solo e recuperação da microbiota, especialmente em áreas degradadas. A biomassa micelial residual também pode ser reaproveitada, desde que adequadamente tratada, como biossorvente ou insumo em processos biotecnológicos.

Nesse contexto, a micorremediação pode ser interpretada como uma estratégia de conversão de resíduos em serviço ambiental, integrando tratamento de poluentes, recuperação ecológica e geração de valor (Figura 4).

Figura 4 - Fechamento do ciclo da micorremediação no contexto da economia circular e dos co-benefícios ecossistêmicos





CONCLUSÃO

Os cogumelos ligninolíticos destacam-se como plataformas biotecnológicas versáteis para a transformação de poluentes persistentes, resultado direto de sua adaptação evolutiva à degradação de biomassa lignocelulósica recalcitrante. Sua capacidade de promover oxidações de amplo espectro permite atuar sobre diferentes classes de contaminantes, contribuindo para redução de toxicidade e aumento da biodegradabilidade.

Apesar do elevado potencial, a aplicação em escala real ainda é limitada por fatores operacionais, como variabilidade ambiental, instabilidade enzimática, limitações de transferência de massa e competição microbiana. Além disso, a formação de intermediários e a necessidade de avaliação ecotoxicológica reforçam que a eficiência do processo deve ser analisada para além da simples remoção do contaminante. Nesse contexto, o avanço da área depende da integração entre biologia, engenharia e desenvolvimento tecnológico, incluindo otimização de sistemas enzimáticos, uso de estratégias híbridas e desenho de processos mais controlados e escaláveis. A incorporação de abordagens baseadas em economia circular amplia ainda mais o potencial desses fungos, ao integrar remediação ambiental e valorização de resíduos. O principal desafio atual não é demonstrar a capacidade ligninolítica desses organismos, mas convertê-la em soluções tecnicamente robustas, economicamente viáveis e ambientalmente seguras, capazes de atender às demandas contemporâneas por tecnologias sustentáveis de tratamento e recuperação ambiental.



SUMÁRIO

REFERÊNCIAS

DHIMAN, S. *et al.* Fungal bioprocessing for circular bioeconomy: Exploring lignocellulosic waste valorization. **Mycology**, v. 15, n. 4, p. 538–563, 2024. https://doi.org/10.1080/21501203.2024.2316824.

DINAKARKUMAR, Y. *et al.* Fungal bioremediation: An overview of the mechanisms, applications and future perspectives. **Environmental Chemistry and Ecotoxicology,** v. 6, p. 293–302, 2024. https://doi.org/10.1016/j.enceco.2024.07.002.

KIJPORNYONGPAN, T. *et al*. Systems biology-guided understanding of white-rot fungi for biotechnological applications: A review. **iScience,** v. 25, n. 7, art. 104640, 2022. https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104640.

NEGI, B.B., DAS, C. Mycoremediation of wastewater, challenges, and current status: A review. **Bioresource Technology Reports,** v. 22, art. 101409, 2023. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101409.

ROY, A. *et al.* Mycoremediation for sustainable remediation of environmental pollutants. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 64, art. 103526, 2025. DOI: 10.1016/j.bcab.2025.103526.

SINGH, S. *et al.* A comprehensive review on white-rot fungi for their pivotal role in degradation of pollutants. **Discover Water,** 2026. https://doi.org/10.1007/s43832-026-00343-0.

TORRES-FARRADÁ, G. *et al.* White Rot Fungi as Tools for the Bioremediation of Xenobiotics: A Review. **Journal of Fungi**, v. 10, art. 167, 2024. https://doi.org/10.3390/jof10030167.

WIKANDARI, R., HASNIAH, N., TAHERZADEH, M. The role of filamentous fungi in advancing the development of a sustainable circular bioeconomy. **Bioresource Technology**, v. 345, art. 126531, 2022. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126531.



8

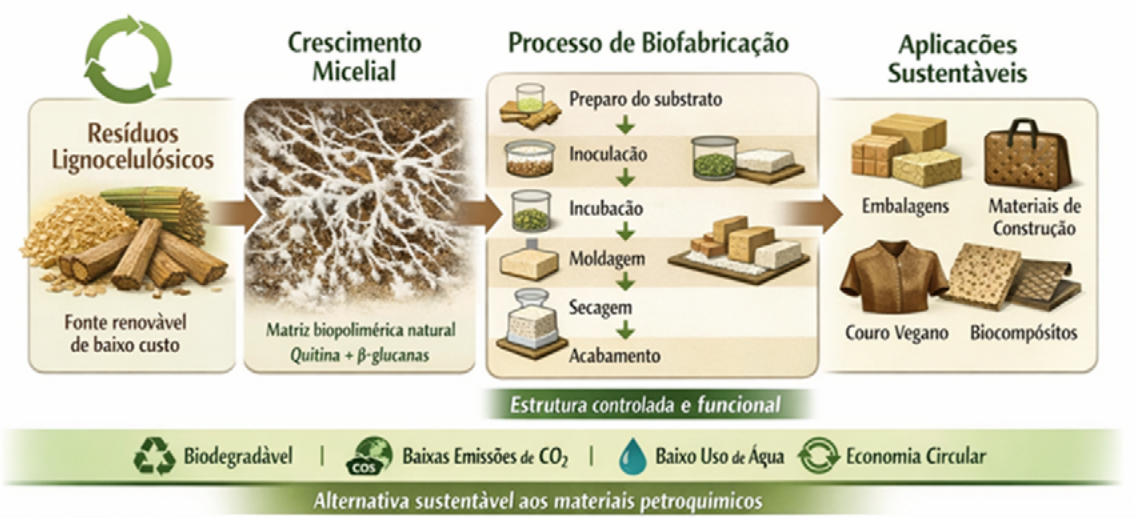
Danielly Maria Paixão Novi
Rúbia Carvalho Gomes Corrêa
Rosane Marina Peralta

A REVOLUÇÃO DO MICÉLIO:

CONSTRUINDO UM FUTURO SUSTENTÁVEL

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-732-3.8

SUMÁRIO


Resíduos Lignocelulósicos
Fonte renovável de baixo custo
Crescimento Micelial
Matriz biopolimérica natural
Quitina + β-glucanas
Processo de Biofabricação
Preparo do substrato
Inoculação
Incubação
Moldagem
Secagem
Acabamento
Aplicações Sustentáveis
Embalagens
Materiais de Construção
Couro Vegano
Biocompósitos
Estrutura controlada e funcional
Biodegradável
Baixas Emissões de CO2
Baixo Uso de Água
Economia Circular
Alternativa sustentável aos materiais petroquímicos



SUMÁRIO

RESUMO:

A demanda por materiais sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de biomateriais obtidos por rotas biotecnológicas e alinhados aos princípios da economia circular. Neste capítulo, são discutidos os fundamentos biológicos e tecnológicos do micélio como plataforma para a produção de materiais renováveis, destacando sua organização estrutural e seu papel como ligante natural em compósitos produzidos a partir de resíduos lignocelulósicos. São apresentadas as principais espécies fúngicas utilizadas na fabricação de biomateriais, bem como as diferenças entre o cultivo destinado à alimentação e aquele voltado à obtenção de materiais com propriedades específicas. O texto também aborda as etapas industriais de transformação do micélio, com ênfase em variáveis críticas como preparo do substrato, inoculação, incubação, moldagem, secagem e acabamento. Por fim, são analisadas aplicações em construção civil, arquitetura, embalagens biodegradáveis, papel, biocompósitos e couro vegano, discutindo vantagens, limitações e desafios relacionados à escalabilidade e à adoção comercial. O capítulo evidencia o potencial dos biomateriais miceliais como alternativa promissora para reduzir a dependência de materiais petroquímicos e ampliar o uso de soluções sustentáveis em diferentes setores produtivos.

PALAVRAS-CHAVE: biomateriais miceliais, bioeconomia, compósitos biodegradáveis, construção civil, couro vegano, economia circular, embalagens sustentáveis, resíduos lignocelulósicos



INTRODUÇÃO

O modelo linear de produção e consumo, baseado na extração, uso e descarte de recursos naturais, tem contribuído para o agravamento de problemas ambientais globais, incluindo poluição, degradação de ecossistemas e mudanças climáticas. Nesse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de materiais sustentáveis, provenientes de fontes renováveis e capazes de serem reintegrados aos ciclos naturais com menor impacto ambiental.

A bioeconomia emerge como uma estratégia central para essa transição, ao promover o uso de recursos biológicos, biomassa e processos biotecnológicos na geração de produtos e serviços de menor impacto. Nesse cenário, os fungos e, em particular, as biomassas miceliais, destacam-se como uma plataforma promissora para a produção de biomateriais, devido à sua capacidade de crescer sobre resíduos lignocelulósicos e formar estruturas coesas com propriedades funcionais relevantes.

Este capítulo tem como objetivo apresentar o potencial da biomassa micelial na produção de materiais sustentáveis, abordando seus fundamentos biológicos e tecnológicos, os processos de cultivo e transformação em biomateriais, bem como aplicações em diferentes setores industriais. São também discutidas comparações com materiais convencionais, além de desafios e perspectivas relacionados à escalabilidade e à consolidação tecnológica desses sistemas. Ao explorar o uso do micélio como material biofabricado, este trabalho evidencia o papel da biotecnologia no desenvolvimento de soluções alinhadas à economia circular, nas quais resíduos são valorizados e convertidos em produtos de maior valor agregado, contribuindo para a construção de sistemas produtivos mais sustentáveis e regenerativos.



BIOECONOMIA E NECESSIDADE DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS

Os materiais tradicionalmente utilizados na indústria, como plásticos, couro, madeira processada e polímeros sintéticos, apresentam elevado impacto ambiental ao longo de seu ciclo de vida. Suas principais limitações, sintetizadas na Tabela 1, evidenciam a necessidade de alternativas ambientalmente seguras, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis. Nesse contexto, biomateriais produzidos a partir de cogumelos e micélio emergem como opções promissoras para substituição em diferentes setores industriais.

A bioeconomia tem se consolidado como um eixo estratégico para essa transição, ao promover o uso eficiente de recursos naturais, a valorização de resíduos e o desenvolvimento de sistemas produtivos circulares. Sua expansão em setores como embalagens, construção civil e moda reflete a crescente busca por materiais de menor impacto ambiental, especialmente diante da dependência de recursos fósseis e da geração de resíduos persistentes.

Tabela 1 - Principais materiais utilizados na atualidade na indústria e suas limitações

Materiais	Limitações
Plásticos derivados de petróleo	Não biodegradáveis, acumulando-se em solos, rios e oceanos por centenas de anos; associados à poluição por microplásticos, que impactam a fauna, flora e saúde humana; dependência de combustíveis fósseis, que são recursos finitos e grandes emissores de gases de efeito estufa.
Couro animal	Produção intensiva, envolvendo pecuária, que contribui para o desmatamento e emissão de metano; processos de curtimento que utilizam substâncias tóxicas, como cromo e outros metais pesados, poluindo solos e águas; preocupações éticas e crescente rejeição por parte dos consumidores.



Madeira e derivados	A exploração ilegal e predatória de florestas naturais acelera a perda de biodiversidade e a emissão de carbono; mesmo processos certificados ainda apresentam pegadas significativas, especialmente em transportes e processamento industrial; limitações na renovação dos estoques de madeira devido ao tempo necessário para crescimento das árvores.
Polímeros sintéticos	Produção altamente dependente de energia não renovável; dificuldade de reciclagem, levando ao acúmulo de resíduos em aterros sanitários; emissão de poluentes durante a fabricação e descarte.

Nesse cenário, a biomassa micelial destaca-se como matéria-prima versátil para biomateriais sustentáveis. O micélio, estrutura vegetativa dos fungos formada por uma rede de hifas, atua simultaneamente como agente de bioconversão e como matriz estrutural. Sua capacidade de crescer sobre resíduos lignocelulósicos e formar compósitos coesos permite a obtenção de materiais leves, moldáveis e biodegradáveis, com aplicações em embalagens, construção, biocompósitos e design.

O desempenho desses materiais está diretamente relacionado às características estruturais do micélio. A rede tridimensional de hifas, composta por polímeros como quitina e β-glucanas, confere resistência, flexibilidade e capacidade de absorção de impacto. Essas propriedades, resumidas na Tabela 2, podem ser ajustadas por meio de condições de cultivo e processamento, permitindo o desenvolvimento de materiais com diferentes funcionalidades.

Tabela 2 - Propriedades tecnológicas essenciais do micélio

Propriedades	Importância para biomateriais
Resistência mecânica	Substituição de espumas, madeira ou couro.
Flexibilidade	Uso em tecidos, moda e estofados.
Baixa densidade	Produção de embalagens e isolantes térmicos.
Biodegradabilidade	Retorno ao ciclo natural sem poluir o ambiente.



Porosidade controlada	Fabricação de isolantes acústicos ou painéis leves.
Adesão natural entre hifas	Dispensa uso de colas ou ligantes químicos durante a produção.

A seleção da espécie fúngica é um fator crítico para o desempenho do biomaterial. Espécies com crescimento rápido, capacidade de formar micélio denso e tolerância a variações operacionais são mais adequadas para aplicações industriais. Além disso, a compatibilidade com substratos lignocelulósicos de baixo custo e a robustez frente a contaminações contribuem para a viabilidade do processo em escala. A Tabela 3 apresenta as principais espécies exploradas e suas características tecnológicas associadas.

Tabela 3 - Espécies de cogumelos com maior potencial para biomateriais: características de crescimento micelial e aplicações tecnológicas associadas

Espécies	Características
Ganoderma spp.	Fungos poliporóides conhecidos pelo corpo frutífero lenhoso e durável; produzem micélio denso, resistente e ideal para materiais estruturais, como blocos e placa; amplamente estudados na produção de tijolos e componentes de construção.
Pleurotos spp.	Fácil de cultivar, com crescimento rápido; micélio flexível e poroso, adequado para embalagens biodegradáveis e isolantes acústicos; espécies seguras e já amplamente utilizadas na produção de alimentos
Trametes sp.	Conhecidos por suas enzimas ligninolíticas, que degradam madeira e outros substratos; produzem micélio adequado para materiais híbridos, combinando rigidez e elasticidade.
Fomes fomentarius	Espécie tradicionalmente utilizada em culturas indígenas como material para transporte de fogo e confecção de objetos; produz micélio com textura semelhante a feltro, útil em moda e design.
Fomitopsis betulina	Utilizada para produção de materiais leves e resistentes; micélio com boas propriedades estruturais, adequado para moldes tridimensionais.



SUMÁRIO

DIFERENÇA ENTRE CULTIVO DOS COGUMELOS PARA ALIMENTAÇÃO E CULTIVO PARA OBTENÇÃO DE BIOMATERIAIS

Embora utilizem os mesmos organismos, o cultivo de cogumelos para alimentação e para biomateriais difere em objetivos e condições operacionais. Enquanto a produção alimentícia busca maximizar a formação do corpo de frutificação (basidioma), com foco em qualidade sensorial e produtividade, a produção de biomateriais prioriza o crescimento vegetativo contínuo, visando densidade, coesão e uniformidade do micélio.

No cultivo para alimentação, o controle de fatores como luz, temperatura, umidade e troca gasosa é direcionado à indução e sincronização da frutificação. Em contraste, na produção de biomateriais, esses parâmetros são ajustados para favorecer a rápida colonização do substrato e a formação de uma matriz micelial homogênea. Nesse contexto, variáveis como compactação, umidade e uniformidade de crescimento tornam-se críticas, pois influenciam diretamente as propriedades mecânicas e a reprodutibilidade do material. Assim, mesmo quando se utilizam espécies comestíveis, o cultivo para biomateriais envolve estratégias específicas orientadas ao desempenho estrutural do compósito final. A Tabela 4 sintetiza essas diferenças operacionais.

Tabela 4 - Comparação entre o cultivo de cogumelos para alimentação e o cultivo direcionado à obtenção de biomateriais miceliais

Aspecto	Cultivo para alimentação	Cultivo para biomateriais
Produto final	Corpo de frutificação (cogumelos)	Biomassa micelial densa e moldada
Objetivo do cultivo	Maximizar qualidade sensorial e produtividade do basidioma	Maximizar densidade, coesão e uniformidade do micélio



Ciclo produtivo típico	Semanas a meses	Dias a poucas semanas
Condições ambientais	Variáveis controladas para induzir frutificação (luz, umidade, CO_2/O_2)	Condições otimizadas para crescimento vegetativo contínuo
Substrato e nutrientes	Formulações ajustadas para suporte à frutificação	Alta disponibilidade de carbono e estrutura adequada para rápida colonização
Parâmetros críticos de controle	Indução e sincronização da frutificação; aparência e sanidade do produto	Uniformidade do crescimento, compactação e estabilidade estrutural do compósito
Requisitos de segurança e controle	Padrões rigorosos para consumo humano e controle microbiológico	Controle microbiológico para estabilidade do processo e desempenho do material
Processamento final	Colheita, limpeza, embalagem e distribuição	Secagem, estabilização, prensagem, acabamento e funcionalização

COMPARAÇÃO COM MATERIAIS TRADICIONAIS

Os biomateriais à base de micélio apresentam baixo impacto ambiental ao longo do ciclo de vida, em comparação a materiais convencionais dependentes de recursos fósseis e processos intensivos em energia. Produzidos a partir do crescimento fúngico sobre resíduos orgânicos, esses materiais demandam menor consumo energético e apresentam reduzidas emissões de gases de efeito estufa. Além disso, destacam-se pela biodegradação rápida, sem geração de resíduos persistentes ou microplásticos, contrastando com plásticos, couros e outros materiais industriais de longa permanência ambiental. A Tabela 5 resume essas diferenças em termos de origem, degradação, emissões, consumo de água e circularidade.



Tabela 5 - Comparação do micélio fúngico com materiais tradicionais em termos de impacto ambiental

Indicador ambiental	Plástico (derivado do petróleo)	Couro animal	Madeira industrializada	Micélio fúngico
Fonte de matéria-prima	Não renovável (origem fóssil)	Pecuária (cadeia intensiva em recursos)	Florestas plantadas ou nativas (pressão sobre uso do solo)	Resíduos agrícolas e orgânicos (base renovável)
Tempo de degradação no ambiente	Muito longo (centenas de anos)	Longo (décadas, dependendo do processamento)	Médio a longo (anos a décadas, conforme tipo e aditivos)	Curto (semanas a poucos meses, em condições adequadas)
Emissões de gases de efeito estufa (tendência geral)	Muito altas	Altas (pecuária + processamento)	Moderadas (extração, transporte e processamento)	Baixas (processo biotecnológico e substratos residuais)
Consumo de água (tendência geral)	Moderado	Muito alto (criação + curtimento)	Alto (processamento industrial)	Baixo
Circularidade e fim de vida	Reciclagem limitada; acúmulo de resíduos persistentes	Baixa circularidade; descarte complexo	Circularidade moderada (reuso/ reciclagem, dependendo do produto)	Alta circularidade (compostável e biodegradável)

PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DE BIOMATERIAIS À BASE DE MICÉLIO

A produção industrial de biomateriais miceliais integra cultivo biotecnológico e engenharia de materiais, com foco em



padronização e desempenho. O processo envolve preparo do substrato, inoculação, incubação, moldagem, estabilização e acabamento, etapas que determinam propriedades como densidade, porosidade e resistência mecânica.

Essas operações podem ser organizadas em cinco macrofases: (i) preparação e inoculação, (ii) crescimento e consolidação, (iii) moldagem, (iv) estabilização e (v) acabamento. A eficiência do processo depende de variáveis como qualidade do substrato, controle microbiológico, condições de incubação e parâmetros de secagem e prensagem (Figura 2).

O preparo do substrato envolve ajuste de granulometria e umidade, além de pasteurização ou esterilização para controle de contaminações. Em seguida, a inoculação e incubação sob condições controladas permitem a formação de uma rede micelial tridimensional responsável pela coesão do material. A moldagem define geometria e densidade, enquanto a secagem interrompe o metabolismo fúngico e estabiliza o biomaterial.

Etapas de acabamento, como prensagem e tratamentos térmicos ou superficiais, são utilizadas para melhorar propriedades mecânicas e resistência à umidade. Por fim, a produção em escala requer controle rigoroso de processo, incluindo monitoramento microbiológico e avaliação das propriedades finais, garantindo reprodutibilidade e qualidade do material.

SUMÁRIO

Figura 2 - Processamento industrial de biomateriais à base de micélio



USO DE BIOMATERIAIS À BASE DE MICÉLIO EM CONSTRUÇÃO E ARQUITETURA

A construção civil é um dos setores de maior consumo de recursos naturais e energia, além de contribuir significativamente para emissões de gases de efeito estufa e geração de resíduos. Nesse contexto, biomateriais à base de micélio surgem como alternativa de menor impacto ambiental, devido ao uso de substratos renováveis e à baixa demanda energética de produção.

O micélio apresenta propriedades que o tornam adequado para aplicações como isolante térmico e acústico, substituindo materiais sintéticos como poliuretano, EPS e lã de vidro (Tabela 6).



Sua baixa densidade, alta porosidade e biodegradabilidade contribuem para leveza estrutural, eficiência de isolamento e menor impacto ambiental.

Tabela 6 - Propriedades relevantes do micélio como isolante

Propriedade	Benefício na construção civil
Baixa densidade	Material leve, reduzindo carga estrutural.
Alta porosidade	Eficiência no isolamento térmico e acústico.
Biodegradabilidade	Produto compostável após o uso, sem gerar resíduos tóxicos.
Maior resistência ao fogo em comparação a polímeros espumados	Maior segurança em edificações sem necessidade de aditivos químicos.
Renovabilidade	Produção contínua a partir de resíduos agrícolas.
Ausência de substâncias tóxicas	Seguro para ambientes internos e ocupantes.

Esses materiais podem ser produzidos em moldes planos ou modulares para aplicação em paredes e tetos. Estudos indicam desempenho térmico e acústico comparável a materiais convencionais, com a vantagem adicional de integrar resíduos agrícolas em ciclos produtivos regenerativos. Além do uso como isolante, o micélio pode ser empregado na produção de elementos construtivos, como tijolos, painéis e placas. Esses componentes apresentam baixa densidade e boa capacidade isolante, sendo mais indicados para aplicações não estruturais, como divisórias internas. Para usos mais exigentes, podem ser combinados com outros materiais naturais, formando sistemas híbridos. Comparativamente, os biomateriais miceliais apresentam vantagens ambientais relevantes, como menor consumo energético, baixa emissão de CO_2 e alta circularidade (Tabela 7). No entanto, ainda enfrentam limitações relacionadas à resistência mecânica e durabilidade, que dependem de estratégias de processamento e tratamento.



Tabela 7 - Comparação dos materiais de construção à base de micélio com os materiais tradicionais utilizados em construções

Critério	Cimento	Gesso	Madeira processada	Micélio
Matéria-prima	Calcário e argila (não renováveis)	Minério de gipsita (não renovável)	Florestas (por vezes desmatamento)	Resíduos agrícolas renováveis
Energia para produção	Muito alta	Alta	Moderada	Muito baixa
Emissões de CO_2	Muito altas (5–8% globais)	Moderadas	Moderadas	Muito baixas
Reciclabilidade	Limitada	Limitada	Média	Total (compostável e biodegradável)
Peso específico	Elevado	Médio	Médio	Muito baixo
Isolamento térmico	Baixo	Médio	Médio	Alto
Durabilidade	Muito alta	Alta	Alta	Média (melhorada por tratamentos)
Custo	Baixo a médio	Médio	Médio a alto	Variável, mas em queda com escala

Aplicações arquitetônicas experimentais demonstram a viabilidade do micélio como material construtivo e evidenciam seu potencial para novas abordagens em design e construção sustentável (Tabela 8; Figura 3).

Tabela 8 - Projetos pioneiros de arquitetura com micélio: aplicações experimentais e características estruturais

Estruturas/ Construções	Características
Hy-Fi Pavilion – The Living (2014, Nova York, EUA)	Pavilhão experimental construído integralmente com tijolos de micélio desenvolvidos pela empresa Ecovative Design. Destaca-se por sua leveza e biodegradabilidade, sendo completamente compostado após o evento. Projeto financiado pelo MoMA PS1 como parte de uma exposição sobre arquitetura sustentável.



MycoTree – Karlsruhe Institute of Technology (2017, Seul, Coreia do Sul)	Estrutura em forma de árvore feita com blocos de micélio combinados com bambu. Demonstrou a possibilidade de criar formas arquitetônicas complexas usando apenas materiais naturais.
The Growing Pavilion – Krown Design (2019, Holanda)	Pavilhão construído com placas e blocos de micélio, incluindo isolamento interno e revestimento externo. Inteiramente biodegradável, exemplificando o conceito de arquitetura circular (Figura 3).
BioMyco Pavilion – TU Delft (2022, Holanda)	Estrutura modular de micélio projetada para ser desmontada e reutilizada. Destacou o potencial do micélio em construções temporárias, como feiras e eventos.

Figura 3 - The Growing Pavilion – Krown Design (2019, Holanda)





USO DE BIOMATERIAIS À BASE DE MICÉLIO EM EMBALAGENS

O uso intensivo de plásticos, associado à baixa taxa de reciclagem, tem gerado acúmulo de resíduos persistentes e formação de microplásticos, com impactos ambientais significativos. Os biomateriais à base de micélio emergem como alternativa para substituir plásticos moldados, espumas e isopor (EPS), especialmente em embalagens. O micélio apresenta propriedades adequadas para esse uso, incluindo leveza, capacidade de absorção de impacto e isolamento térmico. Destaca-se ainda pela biodegradabilidade rápida, ausência de derivados fósseis e baixa pegada ambiental, permitindo integração em sistemas de compostagem e economia circular. Aplicações incluem embalagens para alimentos, proteção de eletrônicos e sistemas logísticos, substituindo diretamente materiais sintéticos. Além disso, empresas já utilizam soluções baseadas em micélio em escala comercial, evidenciando viabilidade tecnológica. A principal vantagem desses materiais é sua rápida degradação, sem geração de resíduos tóxicos ou microplásticos, permitindo o retorno seguro ao ambiente ou reaproveitamento como substrato para novos ciclos produtivos.

USO DE MICÉLIO NA PRODUÇÃO DE PAPEL E BIOCOMPÓSITOS

A produção convencional de papel e compósitos depende intensivamente de madeira e insumos químicos, resultando em impactos ambientais significativos, incluindo desmatamento, alto consumo de água e emissão de poluentes. Nesse cenário, o uso de micélio associado a fibras vegetais surge como alternativa sustentável.



O micélio atua como agente ligante natural, reduzindo ou eliminando a necessidade de resinas sintéticas. Sua estrutura fibrosa, rica em quitina e β-glucanas, confere coesão, flexibilidade e resistência ao material, permitindo a formação de papéis ecológicos e biocompósitos com menor impacto ambiental. O processo envolve preparação das fibras vegetais, cultivo do micélio, mistura, moldagem e secagem, resultando em materiais aplicáveis em embalagens, painéis, mobiliário e componentes estruturais leves. Essa abordagem contribui para a substituição de matéria-prima florestal, redução da pegada de carbono e valorização de resíduos agrícolas, promovendo maior circularidade nos sistemas produtivos.

COURO VEGANO À BASE DE MICÉLIO

A indústria do couro apresenta impactos ambientais e éticos relevantes, associados à pecuária e ao uso de substâncias químicas no curtimento. Nesse contexto, o couro vegano à base de micélio surge como alternativa promissora, obtida a partir do crescimento controlado de uma matriz micelial densa e contínua.

A produção envolve cultivo direcionado, seguido de secagem e tratamentos de acabamento que definem propriedades como textura, flexibilidade e resistência. Diferentemente de outros biomateriais, o couro micelial requer crescimento homogêneo e maior controle estrutural para formar superfícies contínuas. Esse material apresenta baixa densidade, boa adaptabilidade estética e potencial biodegradável, podendo ser aplicado em moda, acessórios e revestimentos. No entanto, desafios técnicos persistem, especialmente relacionados à resistência à água, abrasão e padronização em escala industrial. Apesar dessas limitações, o couro micelial representa uma abordagem inovadora de biofabricação, integrando biomassa renovável em cadeias produtivas de maior valor agregado.

SUMÁRIO

Sua consolidação dependerá do equilíbrio entre desempenho técnico, custo e aceitação de mercado.

O couro vegano obtido a partir de micélio é um dos exemplos mais emblemáticos de como fungos podem impulsionar novas cadeias produtivas sustentáveis, conectando biotecnologia, economia circular e inovação em materiais. Ao transformar biomassa renovável e resíduos agroindustriais em produtos aplicáveis à moda e ao design, os fungos deixam de ser vistos apenas como organismos decompositores e passam a ocupar papel central na construção de novos mercados baseados em regeneração, baixa emissão de carbono e redução de impactos ambientais. A Figura 4 apresenta uma comparação direta entre couro animal, couro sintético (PU/PVC) e couro vegano à base de micélio, destacando diferenças em origem da matéria-prima, processo produtivo, desempenho técnico, durabilidade, biodegradabilidade e pegada ambiental. Essa análise evidencia os *trade-offs* entre tradição e desempenho consolidado, limitações ambientais dos polímeros fósseis e o alto potencial inovador do micélio como alternativa emergente, ainda em fase de padronização e otimização para aplicações na indústria da moda.

Figura 4 - Comparação entre couro animal, couro sintético (PU/PVC) e couro vegano à base de micélio para aplicações na indústria da moda





CONCLUSÃO

Os biomateriais à base de micélio emergem como materiais biofabricados promissores, capazes de converter resíduos lignocelulósicos em estruturas leves, porosas e biodegradáveis. O micélio atua como agente de bioconversão e elemento estrutural, formando redes hifais que conferem coesão ao compósito, evidenciando o caráter interdisciplinar entre biotecnologia, engenharia de materiais e avaliação ambiental. Sob a ótica da sustentabilidade, esses materiais podem reduzir a dependência de recursos fósseis e a geração de resíduos persistentes. Contudo, seus benefícios dependem de fatores como eficiência energética, escalabilidade e durabilidade, tornando a análise de ciclo de vida essencial para validar ganhos reais.

Do ponto de vista tecnológico, o desempenho é altamente sensível às condições de produção, incluindo espécie fúngica, substrato e parâmetros de processamento. Assim, a consolidação industrial requer controle rigoroso, padronização e monitoramento de qualidade, afastando a ideia de materiais simples e de baixo custo. Embora aplicações em construção, embalagens, biocompósitos e couro micelial estejam em expansão, persistem desafios relacionados à durabilidade, resistência ambiental, requisitos regulatórios e viabilidade econômica. Além disso, a aceitação do consumidor e custo final influenciam diretamente a adoção em larga escala. As perspectivas apontam avanços impulsionados por biotecnologia e engenharia de materiais, incluindo seleção de espécies, otimização de substratos, cultivo automatizado e tratamentos sustentáveis para melhoria de desempenho. A consolidação desses materiais dependerá do equilíbrio entre inovação biológica, funcionalidade e viabilidade industrial, inserindo-os na transição para sistemas produtivos baseados em economia circular e princípios regenerativos.



REFERÊNCIAS

ALANEME, K.K. *et al.* Mycelium based composites: A review of their bio-fabrication procedures, material properties and potential for green building and construction applications. **Alexandria Engineering Journal**, v. 83, p. 234-250, 2023. https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.012.

AMOBONYE, A. *et al.* Fungal mycelium as leather alternative: A sustainable biogenic material for the fashion industry. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 38, e00724, 2023. https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00724.

ANTINORI, M.E *et al,* Advanced mycelium materials as potential self-growing biomedical scaffolds. **Scientific Reports**, v. 11, art. 12630, 2021. https://doi.org/10.1038/s41598-021-91572-x.

CHEN, W., WANG, X. Preparation of mycelium paper sheets and study on their adsorption properties. **Nordic Pulp & Paper Research Journal,** v. 40, n. 4, p. 713-725, 2025. https://doi.org/10.1515/npprj-2025-0042.

KHAN, R. Mycelium-based bioproducts: A novel material for a sustainable economy – A comprehensive review. **The Microbe**, v. 8, art. 100439, 2025. https://doi.org/ 10.1016/j.microb.2025.100439.

KNIEP, J. *et al.* Mycelium-based biomimetic composite structures as a sustainable leather alternative. **Materials Today Communications,** v. 39, art. 109100, 2024. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109100.

MADUSANKA, C. *et al.* A review of recent advances in fungal mycelium-based composites. **Discover Materials,** v. 4, art. 13, 2024. https://doi.org/10.1007/s43939-024-00084-8.

WHABI, V., YU, B., XU, J. From Nature to Design: Tailoring Pure Mycelial Materials for the Needs of Tomorrow. **Journal of Fungi,** v. 10, art. 183, 2024. https://doi.org/10.3390/jof10030183.



SUMÁRIO

SOBRE OS AUTORES E AS AUTORAS

Adelar Bracht

Doctor rerum naturalia pela Ludwig-Maximillians Universität de Munique. Professor Titular Sênior do Departamento de Bioquímica-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/7040007133045509

Amanda Rúbia de Figueiredo Trindade

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos-UEM.

CV: lattes.cnpq.br/9012543618303395

Camila Gabriel Kato

Doutora em Ciência de Alimentos pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos-UEM. Professora Adjunta da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição (Facfan) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

CV: http://lattes.cnpq.br/1308226028019008

Cristina Giatti Marques de Souza

Doutora em Ciências Biológicas pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas-UEM. Professora Associada do Departamento de Bioquímica-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/8102628645656210

Danielly Maria Paixão Novi

Mestre em Bioquímica pelo Programa de Pós-Graduação em Bioquímica-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/0315527542143112



SUMÁRIO

Isadora de Brito Hilario

Doutoranda em Bioquímica no Programa de Pós-Graduação em Bioquímica-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/9602929857227765

José Rivaldo dos Santos Filho

Doutor em Ciências Farmacêuticas pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas-UEM.

CV: https://lattes.cnpq.br/2585469597097815

Luís Felipe Oliva dos Santos

Doutorando em Biotecnologia Ambiental no Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Ambiental-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/9101596566047791

Rafael Castoldi

Doutor em Ciências Biológicas pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas-UEM. Professor Associado do Departamento de Bioquímica-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/9507593006874238

Rosane Marina Peralta

Doutora em Bioquímica pelo Programa de Pós-Graduação em Bioquímica-USP-Ribeirão Preto. Professora Titular Sênior do Departamento de Bioquímica-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/7046351448775946

Rúbia Carvalho Gomes Corrêa

Doutora em Ciência de Alimentos pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos-UEM. Professora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da Universidade Cesumar - UNICESUMAR.

CV: http://lattes.cnpq.br/1965888707697496



SUMÁRIO

Samanta Shiraishi Kagueyama

Mestranda em Ciência de Alimentos pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/6163642338327680

Thaís Marques Uber

Doutora em Bioquímica pelo Programa de Pós-Graduação em Bioquímica-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/9860081686240291

Vinícius Mateus Salvatori Cheute

Doutor em Bioquímica pelo Programa de Pós-Graduação em Bioquímica-UEM.

CV: http://lattes.cnpq.br/9933543841955587



SUMÁRIO

ÍNDICE REMISSIVO

A

ácido fólico 33, 39
ácido kójico 116, 118
ácidos ganodéricos 89, 93, 95, 116
Agaricus bisporus 20, 21, 23, 24, 35, 36, 37, 39, 40, 43, 63, 75
Agaricus blazei 20, 21, 37, 86, 89, 92, 94
alcaloides indolamínicos 133, 134, 139
alimentos funcionais 12, 32, 33, 34, 38, 40, 51, 78, 82, 87, 103, 105
alimentos plant-based 55, 76, 81
aminoácidos essenciais 33, 55, 58, 59, 60, 61, 75, 79, 80
anti-inflamatórios 25, 26, 33, 34, 86, 89, 94, 123
antioxidantes 12, 24, 25, 26, 27, 28, 33, 40, 42, 47, 79, 86, 88, 89, 91, 94, 96, 98, 101, 103, 109, 110, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 126
antitumorais 26, 33, 39, 79, 89, 91, 99
Ascomycota 17, 18, 141
atividade antimicrobiana 24, 123
atividade antioxidante 40, 64, 81, 116
atividade antitumoral 25
atividade enzimática 47, 121, 170
atividade imunomoduladora 26, 64, 79
atividade microbiana 48
atividades antioxidantes 28, 110

B

barreira cutânea 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 128
basidioma 17, 18, 19, 62, 67, 69, 87, 98, 100, 101, 115, 124, 125, 185
Basidiomycota 17, 18, 141
basídios 17, 18
basidiósporos 17, 19
bioatividade 27, 92, 97, 101
bioativos fúngicos 102, 109, 112, 113, 120, 123, 128
biocatálise 167
biocatálise ambiental 167
biocompósitos 180, 183, 194, 196
biodegradação 167, 168, 186
bioeconomia 14, 17, 86, 103, 105, 129, 180, 181, 182
biofabricado 181
biomassa micelial 13, 44, 55, 57, 61, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 74, 75, 79, 80, 82, 100, 101, 102, 124, 125, 175, 181, 183
biomassa vegetal 163
biomateriais 14, 17, 18, 28, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 193, 194, 196
biomateriais miceliais 180, 185, 187, 190
biorreatores 55, 68, 70, 71, 73, 82, 160, 172, 174
biorremediação 13, 24, 28, 160, 162, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 173
biotecnologia fúngica 14, 88, 99, 105

C

cadeia produtiva 32, 49, 56
cadeias produtivas sustentáveis 50, 63, 170, 195
cariogamia 18, 19
catálise biológica 163
celulases 20
celulose 20, 72, 164
ciclagem de nutrientes 17, 28, 87, 166
ciclo de vida 12, 17, 19, 76, 182, 186, 196
ciclo dicariótico 28
cogumelos comestíveis 12, 32, 33, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 49, 50, 51, 55, 59, 60, 61, 75, 89, 115, 134, 141, 142, 149
cogumelos cultivados 32, 40, 43, 45, 47, 48, 63
Cogumelos funcionais 84
cogumelos ligninolíticos 13, 160, 162, 166, 167, 170, 171, 176
cogumelos psicodélicos 13, 132, 133, 134, 137, 152, 153, 155
cogumelos selvagens 38, 43, 44, 45, 46, 47



SUMÁRIO

cogumelos venenosos 130, 132, 133, 134, 140, 142, 144, 146, 149, 150, 152
compósitos biodegradáveis 180
compostos antioxidantes 12, 24
compostos bioativos 11, 13, 17, 18, 28, 32, 33, 40, 47, 64, 80, 82, 87, 88, 89, 90, 92, 99, 101, 102, 109, 111, 112, 115, 116, 119, 120, 125, 132, 134
compostos fenólicos 32, 33, 86, 89, 90, 91, 92, 94, 97, 99, 109, 110, 112, 116, 118, 123, 128
condições ambientais 19, 44, 48, 51, 65, 67, 75, 79, 101, 125, 164, 166, 167
congelamento a vácuo 47
construção civil 14, 180, 182, 189, 190
cordicepina 79, 86, 88, 99, 105, 119
Cordyceps militaris 79, 81, 86, 91, 93, 99, 104, 105, 117, 119
corpo de frutificação 17, 33, 62, 66, 100, 124, 185
couro vegano 180, 194, 195
cultivo celular 57
cultivo controlado 44, 50, 51, 87, 124
cultivo em estado sólido 72, 100
cultivo submerso 73, 80
cultivo tradicional 55, 62, 64, 65, 66, 68, 74

D

decompositores secundários 20, 21
degradação da lignina 163, 165
degradação extracelular 163
desfosforilação hidrolítica 134
despigmentantes 116, 121, 128
detoxificação 161, 164, 167, 168, 170
digestibilidade das proteínas 59, 75

E

economia circular 12, 14, 28, 49, 55, 59, 61, 63, 68, 78, 80, 86, 88, 98, 105, 111, 160, 162, 167, 170, 175, 176, 180, 181, 193, 195, 196
ecossistemas terrestres 28, 163, 166
efeitos terapêuticos 88, 92, 137
embalagens biodegradáveis 180, 184
embalagens sustentáveis 180
enzimas hidrolíticas 22, 163, 168
enzimas ligninolíticas 20, 24, 160, 184
ergocalciferol 33, 39
ergotioneína 32, 40, 42
erinacinas 25, 86, 88, 98
espécies emergentes 55, 86, 99, 119
espécies silvestres 35, 51, 132, 134, 140, 146
esporos 18, 19, 150
estado de consciência 132, 133, 135, 139
esteróis 87, 89, 93, 110, 112, 126
estresse oxidativo 32, 34, 40, 42, 87, 90, 94, 95, 103, 109, 111, 112, 113, 114, 116, 118, 119, 120, 122, 123, 143, 145
experiência 139
extratos concentrados 34, 89, 102
extratos fúngicos 91, 110, 112, 119, 126, 127, 128

F

fermentação em estado sólido 55, 67, 72, 73, 74, 79, 81
fermentação submersa 13, 44, 55, 61, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 76, 79, 80, 81, 100, 125
fermentadores industriais 66
fibras alimentares 32, 33, 39, 80, 97
fibras solúveis 80, 94, 117
formulações cosmecêuticas 112, 115
formulações plant-based 13
fotoproteção 113, 117
frutificação 17, 18, 33, 44, 62, 64, 65, 66, 67, 100, 124, 141, 147, 151, 185, 186
fungos decompositores 163
fungos de podridão branca 20, 164
fungos de podridão parda 20, 164
fungos ligninolíticos 160, 161, 162, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 174, 175
fungos sapróbios 20



SUMÁRIO

G

Ganoderma lucidum 23, 25, 35, 79, 86, 89, 93, 95, 103, 104, 105, 106, 109, 114, 116, 117, 128

Grifola frondosa 25, 41, 44, 64, 86, 90, 91, 93, 97, 104

H

hemicelulases 20

hericenonas 25, 88, 93, 98, 104, 117

Hericium erinaceus 25, 41, 44, 86, 91, 93, 98, 104, 105, 106, 117, 118

hidrocarbonetos policíclicos 167

hifas 17, 18, 19, 22, 67, 69, 183, 184

I

incubação 180, 188

inoculação 44, 65, 180, 188

integridade celular 133

intoxicação 32, 46, 135, 139, 140, 141, 142, 144, 148, 153

intoxicações 13, 35, 132, 133, 146, 147, 148, 150, 152, 155

L

lacases 14, 20, 26, 27, 109, 114, 122, 160, 161, 163, 164, 165, 168, 171

lamelas 17, 18, 150

Lentinula edodes 23, 26, 35, 36, 37, 40, 43, 64, 75, 79, 86, 90, 93, 95, 101, 104, 105, 109, 116, 118, 128

ligante natural 180, 194

lignina 20, 161, 162, 163, 164, 165, 168

lignina peroxidase 164, 165

M

manganês peroxidase 164, 165

massa micelial 17, 72

materiais convencionais 181, 186, 190

materiais petroquímicos 180

materiais sintéticos 14, 189, 193

materiais sustentáveis 180, 181

matéria orgânica 17, 18, 20, 28, 62, 87, 161, 163, 166, 169

matéria orgânica lignocelulósica 17

metabolismo lipídico 33, 111

metabólitos secundários 89, 133, 140, 155

metais pesados 46, 182

micélio dicariótico 19

micélio fúngico 187

micoparasitas 22

micorrizas 22

micorrizas ectotróficas 22

micronutrientes 32, 38, 41, 96

moldagem 180, 188, 194

N

neurofarmacologia 132

neuroprotetores 25, 32, 34, 41, 86, 89

nutracêuticos 13, 18, 34, 47, 75, 88, 90, 91, 92, 93, 95

nutrição 17, 20, 23, 34, 82, 87, 91, 105, 126

nutrição clínica 82

nutrientes 17, 18, 20, 21, 22, 28, 39, 40, 42, 47, 56, 62, 63, 67, 68, 70, 73, 87, 123, 154, 163, 166, 186

P

padronização da qualidade 45

panorama regulatório brasileiro 132

pesticidas 27, 46, 160, 161, 167, 168

píleo 17, 18

Pleurotus citrinopileatus 26, 40

Pleurotus ostreatus 20, 21, 23, 26, 37, 40, 43, 63, 79, 86, 90, 93, 97, 103, 104, 109, 116, 118, 128

podridão branca 20, 160, 163, 164, 165, 167

podridão mole 163, 164

podridão parda 20, 163, 164

podridão radicular 22, 23

polímeros estruturais 163

polissacarídeos 13, 40, 43, 47, 64, 80, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 103, 109, 110, 112, 113, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 125, 126, 128, 164

polissacarídeos imunomoduladores 43, 47

poluentes orgânicos persistentes 14, 160

potencial terapêutico 13, 86, 88, 90, 105, 138, 140, 156



SUMÁRIO

produtos funcionais 47, 75, 100
proteínas alternativas 13, 53, 56, 57, 58, 60, 67, 74, 77, 78
proteínas de insetos 56, 61
proteínas fúngicas 39, 66, 68, 75
proteínas miceliais 55
proteínas microbianas 57
proteínas vegetais 56, 75, 76, 82
proteoglucanas 86, 87, 89, 92, 93, 94, 117
Psilocybe azurescens 27
Psilocybe cubensis 27, 135, 139, 153
Psilocybe semilanceata 27
PSK 27, 93, 96, 103, 104, 117, 118
PSP 27, 93, 96, 117, 118

Q

qualidade proteica 58, 59

R

radiação ultravioleta 33, 120
radiação UV 39, 114, 116
radicais livres 113, 121
receptores serotoninérgicos 132, 136, 139
regeneração cutânea 109, 121
regeneração da pele 116
resíduos agrícolas 26, 27, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 63, 64, 73, 76, 78, 190, 194
resíduos agroindustriais 26, 55, 61, 62, 63, 68, 72, 80, 88, 93, 98, 105, 111, 129, 165, 170, 195
resíduos de frutas tropicais 82
resíduos lignocelulósicos 26, 28, 63, 68, 73, 90, 164, 167, 175, 180, 181, 183, 196

S

schizophyllan 27, 91
Schizophyllum commune 27, 79, 81, 91, 94, 99, 117, 119
secagem 47, 67, 180, 188, 194
secagem com ar quente 47
segurança alimentar 32, 35, 43, 45, 46, 51, 55, 56, 76, 82, 150
sistema Fenton 20
sistema nervoso central 135, 139, 140
sistemas alimentares 13, 52, 55, 61, 82
sistemas de fermentação 61, 76
sistemas fechados e controlados 67
sistemas ligninolíticos 163
substratos lignocelulósicos 79, 80, 87, 98, 184
substratos sustentáveis 45
sustentabilidade ambiental 28, 51

T

terpenoides 32, 40
toxinas 22, 132, 133, 134, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 153, 154, 155, 156
toxinas fúngicas 132, 142, 144, 145, 146, 148, 149, 154, 156
Trametes versicolor 20, 21, 27, 86, 90, 93, 96, 104, 106, 117, 118
Tremella fuciformis 27, 36, 109, 116, 117, 122, 128
Tricholoma matsutake 27, 45, 50
triterpenos 13, 86, 87, 89, 91, 92, 93, 95, 100, 101, 102, 103, 105, 109, 110, 112, 114, 117, 120, 121, 122, 125, 128

U

uniformização da pele 113
uso terapêutico 94, 137

V

valor agregado 45, 48, 50, 68, 80, 81, 90, 98, 105, 111, 181, 194
valor biológico 55, 58, 59, 87
valor biológico proteico 55
valor nutricional 18, 32, 34, 36, 47, 55, 62, 63, 79, 97


www.PIMENTACULTURAL.www
OS COGUMELOS NOSSOS DE CADA DIA
pimenta cultural