

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

MATHEUS PROBA SANTOS FLORINDO

**PROSPECÇÃO DE FUNGOS DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA
CANASTRA– MG PARA APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS**

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2026

MATHEUS PROBA SANTOS FLORINDO

**PROSPECÇÃO DE FUNGOS DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA
CANASTRA– MG PARA APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS**

Monografia, apresentada ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal de Viçosa como
requisito para obtenção do título de bacharel em
Ciências Biológicas.

Orientador: José Guilherme Prado Martin

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2026

MATHEUS PROBA SANTOS FLORINDO

**PROSPECÇÃO DE FUNGOS DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA
CANASTRA– MG PARA APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS**

Monografia, apresentada ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal de Viçosa como
requisito para obtenção do título de bacharel em
Ciências Biológicas.

APROVADO: 25/06/2026

Documento assinado digitalmente
 **MATHEUS PROBA SANTOS FLORINDO**
Data: 09/07/2026 13:14:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Matheus Proba Santos Florindo
(UFV)

Documento assinado digitalmente
 **JOSE GUILHERME PRADO MARTIN**
Data: 09/07/2026 13:23:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. José Guilherme Prado Martin
(Orientador)
(UFV)

Dedico o presente trabalho aos meus pais, irmão, familiares e amigos
A Deus, que nunca me faltou nas horas difíceis...

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais Vilma e Arlindo, ao meu irmão Arthur e demais familiares e amigos.

A Universidade Federal de Viçosa.

Ao Laboratório de Microbiologia de Produtos Fermentados (FERMICRO) pela oportunidade de estágio.

Ao meu orientador, professor José Guilherme Prado Martin e aos meu coorientadores Dr. Paulo Pedroso e Dra. Ludmylla Tamara Crepalde, pelos ensinamentos.

À Profa. Marliane de Cássia Soares da Silva, pelo auxílio na coleta e cultivo dos fungos da Serra da Canastra.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo auxílio financeiro (APQ-03275-22).

"A ciência, meu rapaz, é feita de erros, mas de erros benéficos, já que conduzem pouco a pouco à verdade" (Júlio Verne)

RESUMO

Os fungos desempenham papel fundamental na decomposição da matéria orgânica e apresentam elevado potencial para aplicações biotecnológicas, especialmente na utilização de resíduos lignocelulósicos e na produção de biomateriais sustentáveis. Este trabalho teve como objetivo prospectar, caracterizar e avaliar o potencial biotecnológico de fungos isolados do Parque Nacional da Serra da Canastra (MG). Foram obtidos 17 isolados, submetidos à caracterização macromorfológica, avaliação da atividade celulolítica e ensaios de produção de biomassa em meios formulados com resíduos agroindustriais à base de celulose bacteriana e resíduo de maçã. A caracterização macromorfológica evidenciou predominância de colônias brancas e textura algodonosa, com poucas diferenças entre os meios de cultivo. A atividade celulolítica permitiu agrupar os isolados em três perfis fisiológicos distintos, evidenciando ampla variabilidade quanto à capacidade de degradação da celulose. Os ensaios de crescimento demonstraram que a produção de biomassa variou de acordo com o isolado e o substrato utilizado, sendo o meio contendo resíduo de maçã o que proporcionou os maiores incrementos de biomassa para parte dos fungos avaliados. Em conjunto, os resultados demonstram que a avaliação integrada da produção de biomassa e da atividade celulolítica constitui uma estratégia eficiente para seleção de fungos com potencial para utilização de resíduos agroindustriais e futura aplicação na produção de biomateriais à base de micélio, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e para a valorização da biodiversidade fúngica da Serra da Canastra.

PALAVRAS-CHAVE: Biomateriais; Micélio; Atividade enzimática; Resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

Fungi play a fundamental role in organic matter decomposition and nutrient cycling and exhibit considerable potential for biotechnological applications, particularly in the utilization of lignocellulosic residues and the production of sustainable biomaterials. This study aimed to prospect, characterize, and evaluate the biotechnological potential of fungal isolates obtained from Serra da Canastra National Park, Minas Gerais, Brazil. Seventeen fungal isolates were obtained and subjected to macromorphological characterization, cellulolytic activity assessment, and mycelial biomass production assays using culture media formulated with agro-industrial residues based on bacterial cellulose and apple pomace. Macromorphological characterization revealed a predominance of white, cottony colonies, with only minor differences between culture media. Cellulolytic activity enabled the classification of the isolates into three distinct physiological profiles, demonstrating substantial variability in cellulose degradation capacity. Biomass production assays showed that mycelial growth varied according to both the fungal isolate and the substrate employed, with the apple pomace-based medium promoting the greatest biomass production for several isolates. Overall, the results demonstrate that the combined evaluation of mycelial biomass production and cellulolytic activity is an effective strategy for selecting fungal isolates with potential for the bioconversion of agro-industrial residues and future applications in the production of mycelium-based biomaterials, contributing to the development of sustainable technologies and to the valorization of the fungal biodiversity of Serra da Canastra.

KEYWORDS: Biomaterials; Micellium; Enzymatic activity; Agricultural wastes

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Parque Nacional da Serra da Canastra.....	11
2.2. Fungos lignocelulolíticos de referência.....	12
2.3. Cultivo de fungos em meios clássicos e alternativos	13
3. HIPÓTESE	15
4. OBJETIVOS.....	15
4.1. Objetivo Geral	15
4.2. Objetivos Específicos	15
5. MATERIAS E MÉTODOS	16
5.1. Coleta de Campo	16
5.2. Caracterização Macromorfológica	17
5.3. Atividade Celulolítica.....	18
5.4. Crescimento Micelial em Resíduos Agroindustriais para Produção de Biomateriais 19	
5.5. Ganho Percentual em Relação ao Controle	20
5.6. Análise Dos Dados	20
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
6.1. Prospeção e Isolamento dos Fungos	21
6.2. Caracterização Macromorfológica	22
6.3. Atividade Celulolítica.....	26
6.4. Crescimento Micelial em Resíduos Agroindustriais para Produção de Biomateriais 31	
6.5. Ganho percentual em relação ao controle.....	36
7. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

Os fungos desempenham papel fundamental nos ecossistemas terrestres, atuando na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes. Por meio da produção de enzimas extracelulares, esses organismos degradam compostos complexos presentes em resíduos vegetais, contribuindo para a manutenção dos ciclos biogeoquímicos e para o equilíbrio ambiental (Suliman et al., 2026). Além de sua importância ecológica, os fungos vêm despertando crescente interesse biotecnológico devido à diversidade de metabólitos produzidos e à capacidade de crescimento sobre diferentes substratos, possibilitando aplicações sustentáveis em diversos setores industriais.

Entre essas aplicações destaca-se a utilização do micélio fúngico como matéria-prima para a obtenção de biomateriais. O crescimento tridimensional das hifas permite a formação de estruturas coesas capazes de originar materiais leves, biodegradáveis e renováveis, com potencial para substituir produtos derivados do petróleo e do couro animal. Esses biomateriais têm sido estudados para aplicações em embalagens ecológicas (Rajendran, 2022), na indústria têxtil como alternativa ao couro convencional (Knier et al., 2024) e em outros produtos sustentáveis, alinhados aos princípios da economia circular (Verma et al., 2023; Garg et al., 2025).

O desenvolvimento desses biomateriais depende da capacidade dos fungos de colonizar e converter resíduos agroindustriais em biomassa micelial. Resíduos lignocelulósicos, frequentemente descartados pelos setores agrícola e agroindustrial, constituem substratos abundantes e de baixo custo, ricos em celulose, hemicelulose e lignina, podendo ser utilizados como fonte de carbono para o crescimento fúngico. A utilização desses resíduos agrega valor a materiais considerados rejeitos, reduz impactos ambientais e favorece o desenvolvimento de processos biotecnológicos mais sustentáveis (Verma et al., 2023; Garg et al., 2025).

A utilização eficiente desses substratos está relacionada, entre outros fatores, à produção de enzimas extracelulares capazes de degradar os componentes da parede celular vegetal. Entre essas enzimas destacam-se as celulasas, responsáveis pela hidrólise da celulose, o polissacarídeo mais abundante da biomassa vegetal (Datta, 2024). Dessa forma, a avaliação da atividade celulolítica constitui uma ferramenta importante para caracterizar fisiologicamente os isolados e compreender sua capacidade potencial de utilização de materiais lignocelulósicos. Entretanto, para aplicações voltadas à produção de biomateriais, a atividade enzimática deve ser interpretada em conjunto com a capacidade de crescimento micelial, uma vez que a

formação de biomassa constitui o principal requisito para obtenção de materiais à base de micélio.

O Parque Nacional da Serra da Canastra, localizado no estado de Minas Gerais, destaca-se pela elevada biodiversidade e pela ocorrência de espécies endêmicas da fauna e da flora (Romero et al., 1999). A grande disponibilidade de matéria orgânica vegetal e a diversidade de ambientes presentes na região favorecem o estabelecimento de comunidades de fungos decompositores ainda pouco exploradas sob o ponto de vista biotecnológico. Assim, a prospecção desses microrganismos representa uma estratégia promissora para identificação de isolados capazes de converter resíduos agroindustriais em biomassa micelial com potencial aplicação industrial.

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo isolar, caracterizar e identificar fungos coletados no Parque Nacional da Serra da Canastra, bem como avaliar seu potencial biotecnológico por meio da produção de biomassa micelial em diferentes resíduos agroindustriais e da determinação da atividade celulolítica como ferramenta complementar de caracterização fisiológica. Espera-se que os resultados contribuam para a identificação de fungos promissores para futuras aplicações na produção de biomateriais sustentáveis e no aproveitamento biotecnológico de resíduos lignocelulósicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Parque Nacional da Serra da Canastra

O Parque Nacional da Serra da Canastra foi criado em 3 de abril de 1972, por meio do Decreto nº 70.355, com o objetivo de proteger uma das mais importantes áreas de conservação do Cerrado brasileiro. Localizado no estado de Minas Gerais, o parque abrange os municípios de Capitólio, Vargem Bonita, São João Batista do Glória, Delfinópolis, Sacramento e São Roque de Minas, onde se encontra sua sede administrativa. A unidade de conservação ocupa uma área oficial de 197.971,96 hectares, abrangendo formações típicas do bioma Cerrado e áreas de transição entre o Cerrado e a Mata Atlântica (MESSIAS e FERREIRA, 2019).

A elevada biodiversidade da região é evidenciada pelo levantamento florístico realizado por Romero et al. (1999), que identificou 101 famílias botânicas, distribuídas em 768 espécies vegetais. Desse total, 45 espécies foram classificadas como endêmicas, permitindo a identificação de 17 áreas de endemismo, posteriormente propostas como prioritárias para a criação de zonas permanentes de preservação. Essa expressiva diversidade florística,

especialmente de espécies endêmicas, favorece a formação de diferentes nichos ecológicos, proporcionando condições propícias para a colonização por fungos decompositores de celulose. Além da riqueza vegetal, o entorno do parque abriga diversas espécies ameaçadas de extinção, como o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), o jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*) e o palmito-juçara (*Euterpe edulis*) (ICMBio, [s.d.]).

A criação do Parque Nacional da Serra da Canastra esteve diretamente relacionada à necessidade de proteger as nascentes e as bacias hidrográficas dos rios São Francisco e Araguari, este último integrante da bacia do Rio Grande. Sua implantação também foi impulsionada pela mobilização da sociedade diante da redução da disponibilidade hídrica do Rio São Francisco e pela necessidade de mitigar os impactos ambientais decorrentes do desmatamento associado à construção do reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas (IBAMA, 2023).

Além de sua importância para a conservação dos recursos hídricos, o parque possui elevado potencial turístico. A região abriga aproximadamente 95 cachoeiras, muitas das quais são abertas à visitação, tanto em áreas administradas pelo ICMBio quanto em propriedades particulares. Entretanto, a crescente ocupação humana impõe desafios à conservação ambiental, incluindo a expansão das atividades agropecuárias, a ocorrência de incêndios florestais, frequentemente associados à ação antrópica, e o turismo desordenado, fatores que contribuem para a degradação de áreas naturais protegidas (IBAMA, 2023).

Além de sua relevância ecológica, a Serra da Canastra destaca-se pela importância econômica e cultural de suas atividades agropecuárias, especialmente pela produção do tradicional Queijo Minas Artesanal da Canastra. Esse produto, reconhecido pela sua qualidade e identidade regional, conquistou projeção nacional e internacional, sendo oficialmente registrado como patrimônio cultural imaterial brasileiro pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN (MARTIN et al., 2026).

2.2. Fungos lignocelulolíticos de referência

Os fungos filamentosos e basidiomicetos decompositores de madeira desempenham papel fundamental na ciclagem da matéria orgânica em ecossistemas terrestres, sendo responsáveis pela degradação de componentes lignocelulósicos, como celulose, hemicelulose e lignina. Essa capacidade resulta da produção de um complexo enzimático extracelular constituído por celulasas, hemicelulasas e ligninases, tornando esses microrganismos

importantes ferramentas para aplicações biotecnológicas, incluindo a produção de biocombustíveis, biorremediação, aproveitamento de resíduos agroindustriais e obtenção de biomateriais sustentáveis (Leong et al., 2021; Ahmad et al., 2024).

Na etapa de prospecção de fungos para aplicações biotecnológicas, o uso de espécies referência possibilita uma comparação mais consistente com as espécies isoladas de ambientes naturais, uma vez que consistem em fungos amplamente estudados quanto à degradação de biomassa vegetal. Nesse contexto, os fungos *Ganoderma lucidum*, *Trametes versicolor*, *Pleurotus djamor*, *Pleurotus ostreatus* e *Pholiota adiposa* compartilham elevada capacidade de colonização de substratos lignocelulósicos e produção de enzimas hidrolíticas, justificando sua utilização como organismos de referência para estudos envolvendo degradação de celulose e aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Na Tabela 1 são apresentadas as principais características de cada uma dessas espécies.

Tabela 1 – Principais características de fungos e aplicações biotecnológicas

Espécie	Características relevantes	Principais aplicações	Referências
<i>Ganoderma lucidum</i>	Basidiomiceto decompositor de madeira, produtor de celulasas e ligninases. Conhecido como Reishi ou Lingzhi.	Produção de enzimas, bioconversão de biomassa e cogumelo medicinal.	Kozarski et al. (2019); Swallah et al. (2023); Ahmad et al. (2024).
<i>Trametes versicolor</i>	Fungo de podridão-branca com elevada capacidade de degradação de lignina e celulose.	Tratamento de resíduos lignocelulósicos, biorremediação e produção de enzimas.	Blagodatski et al. (2018); Tişma et al. (2021); Ahmad et al. (2024).
<i>Pleurotus djamor</i>	Cogumelo comestível de rápido crescimento e elevada atividade lignocelulolítica.	Produção de cogumelos, enzimas e aproveitamento de resíduos agrícolas.	Zou, Nielsen e Wei (2023); Inci, Kirbağ e Akyüz (2025).
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Basidiomiceto amplamente cultivado, eficiente degradador de resíduos lignocelulósicos.	Produção de cogumelos, enzimas e bioconversão de biomassa.	Mohd Hanafi et al. (2018); Leong et al. (2021); Zhang et al. (2021); Shrikhandia et al. (2022).
<i>Pholiota adiposa</i>	Cogumelo comestível e medicinal com capacidade de crescimento em resíduos agroindustriais.	Produção de biomassa, compostos bioativos e aproveitamento de resíduos lignocelulósicos.	Cao et al. (2023); Ma et al. (2023); Lou et al. (2025).

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

2.3. Cultivo de fungos em meios clássicos e alternativos

Os meios de cultura desempenham papel fundamental no isolamento, manutenção e caracterização de fungos filamentosos, uma vez que sua composição influencia diretamente o crescimento micelial, a morfologia das colônias e a expressão de diferentes características

fisiológicas. Entre os meios tradicionalmente empregados destacam-se o Dicloran Rosa Bengala Cloranfenicol (DRBC) e o Batata Dextrose Ágar (BDA), amplamente utilizados em estudos microbiológicos devido à sua eficiência na recuperação de fungos provenientes de diferentes matrizes.

O DRBC, à base de peptona, dextrose, fosfato monopotássico, sulfato de magnésio, rosa bengala, dicloran, cloranfenicol e ágar, foi desenvolvido para favorecer o isolamento de fungos, restringindo simultaneamente o crescimento bacteriano e a expansão excessiva de colônias fúngicas. O rosa bengala reduz a velocidade de crescimento das colônias, enquanto o dicloran limita o desenvolvimento de fungos de crescimento rápido, permitindo maior distinção entre diferentes morfotipos. Já o cloranfenicol inibe o crescimento bacteriano, aumentando a probabilidade de obtenção de culturas puras. Devido à fotossensibilidade do rosa bengala, o meio deve ser mantido protegido da luz (PITT; HOCKING, 2022).

Outro meio amplamente empregado é o BDA, composto por infusão de batata, dextrose, ágar e, frequentemente, cloranfenicol. Em razão da elevada disponibilidade de carboidratos simples provenientes da dextrose, o BDA apresenta baixa seletividade, favorecendo o crescimento de uma ampla diversidade de fungos. Essa característica explica sua ampla utilização no isolamento, manutenção e preservação de culturas fúngicas (DOI et al., 2021; SILVA et al., 2020).

Embora os meios convencionais sejam amplamente consolidados, cresce o interesse pelo desenvolvimento de meios alternativos produzidos a partir de resíduos agroindustriais. Além de reduzirem custos de cultivo, esses substratos contribuem para o aproveitamento de resíduos lignocelulósicos, inserindo o cultivo de fungos em estratégias de economia circular e valorização de biomassa residual. Entre eles, destaca-se a celulose bacteriana (CB), produzida durante a fermentação da kombucha, bebida à base de chá adoçado e fermentado por uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY) (MARTIN et al., 2022).

A CB apresenta estrutura química semelhante à celulose vegetal, sendo constituída por cadeias lineares de β -D-glicopirranose unidas por ligações β -(1 $\rightarrow$ 4). Entretanto, diferencia-se por sua elevada pureza, uma vez que não contém lignina nem hemicelulose, além de apresentar maior grau de cristalinidade, elevada capacidade de retenção de água e uma rede tridimensional altamente porosa (Costa et al., 2017). Essas características favorecem sua utilização como matriz para a produção de compósitos e biomateriais, podendo também fornecer um substrato promissor para o crescimento de fungos filamentosos e a produção de materiais baseados em micélio (Chawla et al., 2009; Costa et al., 2017; Selvaraj et al., 2023).

Outro resíduo agroindustrial com elevado potencial é o bagaço de maçã, gerado durante o processamento industrial da fruta. O Brasil produz aproximadamente 1,1 milhão de toneladas de maçã por ano, sendo Gala, Fuji e Eva as principais cultivares cultivadas, o que resulta na geração de milhares de toneladas de resíduos anualmente (Kretzschmar; Rufato, 2020; Manrich et al., 2024). Esse subproduto é rico em fibras, especialmente celulose, hemicelulose e pectina, além de compostos fenólicos e flavonoides (Fernandes et al., 2019; Usman et al., 2020; Bondonno et al., 2017).

A elevada fração lignocelulósica torna o bagaço de maçã um substrato promissor para o crescimento de fungos filamentosos e para a produção de enzimas hidrolíticas, especialmente celulasas, amplamente empregadas na obtenção de biocombustíveis de segunda geração (Magyar et al., 2016; Varzakas et al., 2016; Manrich et al., 2024). Além disso, esse resíduo vem sendo investigado na produção de bioplásticos, embalagens biodegradáveis e outros biomateriais sustentáveis (Loh et al., 2023). Dessa forma, seu emprego como componente de meios de cultivo representa uma alternativa promissora para estimular o crescimento micelial e, simultaneamente, agregar valor a resíduos agroindustriais, contribuindo para o desenvolvimento de processos mais sustentáveis.

3. HIPÓTESE

A prospecção de fungos coletados no Parque Nacional da Serra da Canastra - MG pode abrir possibilidades de aplicação biotecnológica desses microrganismos.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Prospectar, caracterizar e avaliar o potencial biotecnológico de fungos isolados do Parque Nacional da Serra da Canastra para aplicação na produção de biomateriais à base de micélio utilizando resíduos agroindustriais.

4.2. Objetivos Específicos

- Prospeção de fungos no Parque Nacional da Serra da Canastra -MG;

- Caracterizar morfologicamente os isolados;
- Avaliar o crescimento micelial dos isolados em diferentes resíduos agroindustriais visando à produção de biomaterial;
- Determinar a atividade celulolítica dos isolados como ferramenta complementar para caracterização fisiológica;
- Identificar fungos promissores para aplicações biotecnológicas na produção de biomateriais à base de micélio.

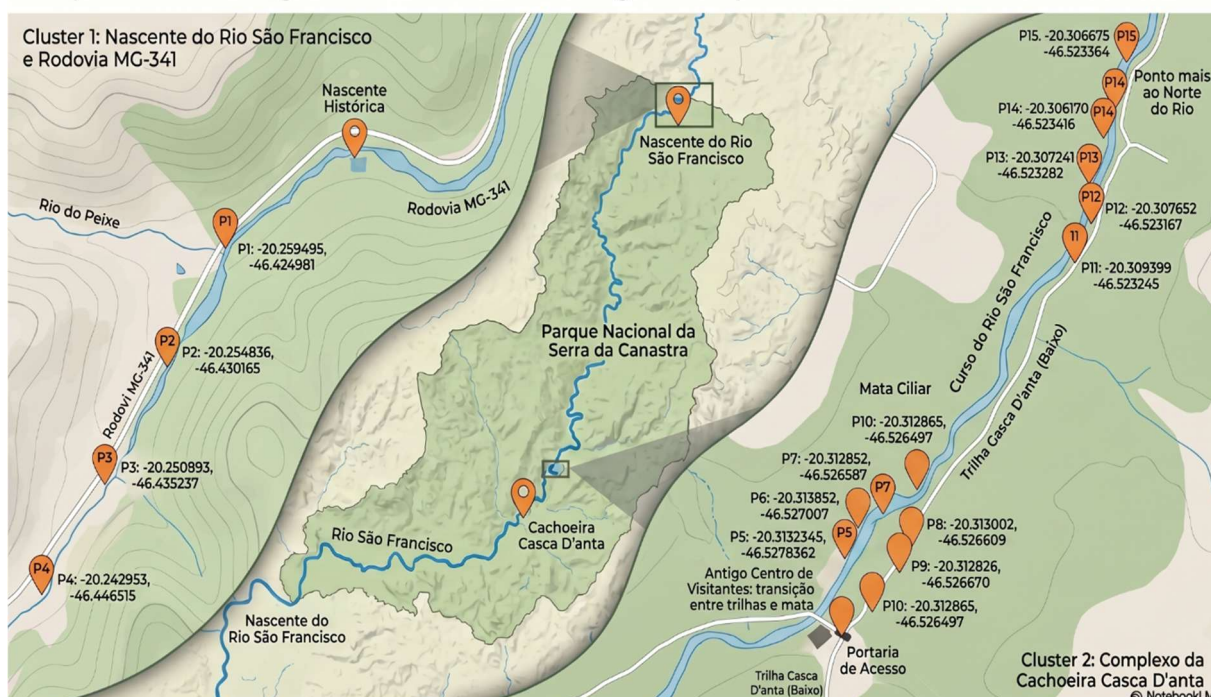
5. MATERIAS E MÉTODOS

5.1. Coleta de Campo

A coleta foi realizada no Parque Nacional da Serra da Canastra, no município de São João Batista do Glória, nos seguintes pontos apresentados na Figura 1. Os fungos menores foram coletados em tubos falcon e os maiores em sacolas de papel kraft. Posteriormente, as amostras embaladas em papel kraft foram também acondicionadas em sacolas de alimento para melhor preservação e, logo em seguida, alocados em caixas de papelão para transporte.

Figura 1. Mapa contendo as coordenadas dos pontos de coleta.

Mapeamento Geográfico de Coleta de Fungos: Parque Nacional da Serra da Canastra



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os fungos coletados foram manipulados em condições assépticas na zona estéril do bico de Bunsen, onde foi realizada a fragmentação dos espécimes manualmente, evitando-se o uso de instrumentos perfurocortantes, uma vez que estes poderiam favorecer a introdução de contaminantes externos ao entrarem em contato com a superfície não estéril dos fungos, comprometendo a obtenção dos isolados. Em seguida, fragmentos do tecido interno foram removidos com auxílio de pinças previamente esterilizadas e inoculados em placas de Petri contendo meio Dicloran Rosa de Bengala Cloranfenicol (DRBC).

As placas foram identificadas por meio de um sistema baseado na origem e na ordem de coleta dos espécimes. Os indivíduos coletados nas proximidades das portarias do parque receberam a designação "P", enquanto aqueles provenientes das trilhas foram identificados pela letra "T". Uma sequência de números e letras também foi adotada, correspondente à ordem de coleta e ao número de placas obtidas de cada local (por exemplo, P4_04_A_2).

Após algumas semanas de incubação, as placas foram avaliadas quanto ao desenvolvimento das colônias. Os isolados que apresentaram esporulação foram descartados, enquanto aqueles que exibiram apenas crescimento micelial foram transferidos para placas contendo meio Batata Dextrose Ágar suplementado com cloranfenicol (BDA + Clo). O meio foi esterilizado em autoclave a 120 °C por 15 minutos e posteriormente vertido em placas de Petri estéreis.

Com o intuito de obter culturas puras, foram realizadas sucessivas repicagens em meio BDA. Os isolados que apresentavam diferenças morfológicas, como variações no aspecto micelial, aspecto das margens e coloração do verso das colônias, foram separados em placas distintas e submetidos a novas repicagens. Durante esse processo, os isolados que desenvolveram esporos ou apresentaram sinais de contaminação foram descartados.

Ao final das repicagens sucessivas, os isolados considerados puros e morfolologicamente uniformes foram reorganizados em um sistema simplificado de identificação, composto apenas pela letra correspondente ao local de coleta ("P" ou "T") seguida do número do isolado (por exemplo, P4_4).

5.2. Caracterização Macromorfológica

Após o isolamento das culturas puras, os fungos foram inoculados assepticamente, com o auxílio de alça de repicagem estéril, no centro de placas de Petri contendo os meios BDA e DRBC, em duplicata. As culturas foram incubadas a 26 °C por oito dias e, posteriormente, submetidas à caracterização macromorfológica. Foram avaliados o raio da colônia (cm), o

formato da borda, a coloração do anverso, a textura do micélio, o aspecto do verso e demais características macroscópicas consideradas relevantes para a diferenciação dos isolados.

5.3. Atividade Celulolítica

Os fungos utilizados neste estudo pertencem à Coleção de Culturas de Microrganismos do Laboratório de Microbiologia de Produtos Fermentados (FERMICRO/UFV) e foram previamente isolados de amostras coletadas no Parque Nacional da Serra da Canastra. Para reativação e manutenção das culturas, os isolados foram cultivados em meio Batata Dextrose Ágar (BDA) e incubados a 26 °C por 120 horas. Como controles positivos para a atividade celulolítica, foram utilizados cinco fungos reconhecidamente produtores de celulasas, provenientes da Coleção de Culturas do Laboratório de Associações Micorrízicas (LAMIC/UFV): *Ganoderma lucidum* (GAL 01), *Trametes versicolor* (J3), *Pleurotus djamor* (PLO 13), *Pleurotus ostreatus* (PLO 02) e *Pholiota adiposa* (POA 01). Esses isolados foram empregados para fins de comparação com o potencial celulolítico dos fungos provenientes da Serra da Canastra.

A triagem qualitativa da produção de celulasas foi realizada em meio sólido composto por 1% (p/v) de carboximetilcelulose (CMC) e 2% (p/v) de ágar bacteriológico (Ágar CMC). Após esterilização em autoclave a 120 °C por 20 minutos, o meio foi vertido em placas de Petri. Os isolados foram inoculados pontualmente no centro das placas, em triplicata, e incubados a 30 °C durante 8 dias. Ao término da incubação, o diâmetro das colônias foi determinado com auxílio de paquímetro digital, sendo calculada a média das três repetições para cada isolado. Em seguida, a atividade celulolítica foi avaliada pela técnica de coloração com Vermelho Congo. Para isso, adicionaram-se 10 mL de solução de Vermelho Congo a 0,5% (p/v) sobre a superfície do meio durante 15 minutos. Posteriormente, a solução foi descartada e substituída por 10 mL de solução de cloreto de sódio (NaCl) 1 mol L⁻¹, permanecendo por mais 15 minutos. Por fim, as placas foram submetidas a uma lavagem rápida com solução de ácido acético (CH₃COOH) a 0,5% (v/v). A atividade enzimática foi confirmada pela formação de halos claros de hidrólise ao redor das colônias fúngicas. Os diâmetros dos halos também foram mensurados com paquímetro digital, sendo calculada a média das triplicatas para cada isolado (Mendes et al., 2025).

O potencial de produção de celulasas foi expresso por meio do Índice Enzimático (IE), calculado a partir da relação entre o diâmetro do halo de hidrólise e o diâmetro da colônia, conforme apresentado na Equação (1) (Mendes et al., 2025). O índice foi determinado para os

17 isolados da coleção Canastra e para os cinco fungos da coleção LAMIC, permitindo a comparação da capacidade relativa de secreção de celulasas entre os diferentes microrganismos.

$$\text{Índice enzimático}(I.E) = \frac{\text{Halo de hidrólise} + \text{Diâmetro micelial}}{\text{Diâmetro micelial}} (1)$$

5.4. Crescimento Micelial em Resíduos Agroindustriais para Produção de Biomateriais

Com o objetivo de avaliar o potencial dos isolados para a produção de biomateriais miceliais a partir de resíduos agroindustriais, foi conduzido um experimento utilizando dois substratos lignocelulósicos: celulose bacteriana proveniente do SCOBY de kombucha (CB) e resíduo de maçã oriundo do processamento de sidra (MC). Como tratamento controle (CT), empregou-se caldo Batata-Dextrose. O ensaio foi desenvolvido visando à obtenção de biomateriais à base de micélio formados sobre um suporte de tecido de algodão cru, utilizado para conferir sustentação ao crescimento fúngico. O delineamento experimental foi baseado na metodologia proposta por Peng et al. (2023), com adaptações para avaliar a capacidade dos isolados da Coleção Canastra em colonizar diferentes resíduos agroindustriais e produzir biomassa com potencial aplicação na obtenção de materiais sustentáveis.

Antes da utilização, os resíduos foram lavados em água corrente e submetidos à fervura por 10 minutos, utilizando-se a proporção de 1:2 (massa de resíduo:volume de água). Após a drenagem do extrato de cozimento, os resíduos foram suplementados com carbonato de cálcio (CaCO_3) e sulfato de cálcio (CaSO_4), nas proporções de 0,35% e 1,3% (m/m), respectivamente, em relação à massa inicial do resíduo. Em seguida, os substratos foram esterilizados em autoclave a 120 °C por 15 minutos. Para a montagem dos ensaios, 25 mL de cada meio de cultura foram distribuídos em placas de Petri. Sobre a superfície do meio foi disposto um disco de algodão cru previamente esterilizado, recortado de forma a cobrir toda a área interna da placa e permanecer em contato direto com o substrato. A inoculação foi realizada por meio da transferência de um fragmento micelial de aproximadamente 1 × 1 cm, retirado assepticamente da borda de colônias em crescimento ativo e posicionado no centro de cada placa. Após o período de incubação, os biomateriais produzidos foram cuidadosamente removidos das placas e submetidos à determinação da massa úmida. Em seguida, foram secos em estufa de circulação de ar a 40 °C até massa constante (aproximadamente 48 horas), sendo posteriormente determinada a massa seca.

5.5. Ganho Percentual em Relação ao Controle

A fim de facilitar a comparação do desempenho dos meios formulados com resíduos agroindustriais em relação ao meio controle comercial (CT), foi calculado o ganho percentual de biomaterial seco para cada isolado fúngico. O ganho percentual foi determinado utilizando como referência o peso seco médio obtido no meio CT, conforme a Equação 2.

$$Ganho(\%) = \left(\frac{Peso_{seco(meio)} - Peso_{seco(CT)}}{Peso_{seco(CT)}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Valores positivos indicam aumento da biomassa em relação ao controle, enquanto valores negativos indicam redução.

5.6. Análise Dos Dados

As características macromorfológicas dos isolados foram descritas por frequências absolutas e relativas. As associações entre os meios de cultivo (BDA e DRBC) e as variáveis categóricas foram avaliadas pelo Teste Exato de Fisher, enquanto o crescimento radial foi comparado pelo teste de Wilcoxon, após verificação da normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. Os dados de halo de degradação da celulose e índice enzimático foram resumidos por meio de médias e desvios-padrão. Em seguida, os isolados foram agrupados por análise hierárquica de agrupamento (Hierarchical Cluster Analysis – HCA), utilizando distância Euclidiana calculada sobre dados padronizados (z-score) e método de ligação Ward.D2. As diferenças entre os grupos obtidos foram avaliadas pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn com correção de Holm ($\alpha = 0,05$). Para o experimento de produção de biomassa micelial, os pressupostos de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (teste de Levene) foram avaliados previamente. As comparações entre os isolados em cada meio de cultivo foram realizadas por análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey ($\alpha = 0,05$), quando aplicável. As comparações entre meios foram realizadas individualmente para cada isolado, considerando apenas os tratamentos efetivamente avaliados. Todas as análises estatísticas e representações gráficas foram realizadas no software R (R Core Team), adotando-se nível de significância de 5%.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Prospecção e Isolamento dos Fungos

A prospecção realizada no Parque Nacional da Serra da Canastra-MG permitiu o isolamento de 17 fungos filamentosos, codificados como T1_1, T2_1, T3_1, T3_2, T5_1, T6_1, T9_1, T9_2, T9_3, T9_4, T9_5, P2_1, P2_2, P4_1, P4_2, P4_3 e P4_4. Os códigos atribuídos aos isolados foram utilizados para sua identificação ao longo das etapas experimentais deste trabalho. A obtenção desses isolados demonstra o potencial do Parque Nacional da Serra da Canastra como fonte de diversidade microbiana com possível aplicação biotecnológica. Ambientes naturais preservados constituem importantes reservatórios de microrganismos ainda pouco explorados, os quais podem apresentar características metabólicas de interesse para diferentes aplicações industriais, ambientais e biotecnológicas.

Todos os isolados obtidos foram incorporados à coleção de culturas do Laboratório de Microbiologia de Fermentados (FERMICRO/UFV), passando a integrar a Coleção Canastra. A preservação desses microrganismos amplia o acervo biológico do laboratório e possibilita sua utilização em estudos futuros envolvendo caracterização taxonômica, produção de enzimas, obtenção de biomateriais e outras aplicações biotecnológicas.

6.2. Caracterização Macromorfológica

As características macromorfológicas dos 17 isolados cultivados nos meios BDA e DRBC encontram-se apresentadas de forma descritiva no Quadro 1 e estatística na Tabela 1. De maneira geral, observou-se elevada similaridade entre os isolados, com predominância de colônias de coloração branca (100%) e textura algodonosa (88,2%), independentemente do meio de cultivo utilizado.

Quadro 1. Características macromorfológicas dos isolados fúngicos cultivados em BDA e DRBC após oito dias de incubação.

Isolados	Meio de cultivo	Raio (cm)	Borda	Coloração	Textura	Verso	Observações
T1.1	BDA	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Amarelado	Crescimento central e bordas; raios claros
	DRBC	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Uniforme	Falha circunferencial no ponto de inoculação
T2.1	BDA	4*	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Crescimento rasteiro central e aéreo na borda
	DRBC	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Falha na inoculação; crescimento aéreo na borda
T3.1	BDA	3,3	Irregular	Branca	Algodonoso	Micélio espaçado	Crescimento aéreo com micélios espaçados
	DRBC	3,2	Irregular	Branca	Cotonoso	Liso/Branco	Crescimento uniforme, denso e levemente aéreo
T3.2	BDA	3	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Crescimento aéreo/denso no centro
	DRBC	1,5	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Crescimento central afunilado; micélio espaçado
T5.1	BDA	3,6	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Altamente aéreo e denso; verso amarelado
	DRBC	1,5	Irregular	Branca	Algodonoso	Raios circunf.	Crescimento rasteiro ao redor da inoculação
T6.1	BDA	1,5	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Crescimento denso e rasteiro com espaçamento
	DRBC	0,8	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Desenvolvimento reduzido; similar ao BDA
T9.1	BDA	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Rasteiro com leve falha ao redor do centro
	DRBC	3,3	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Aéreo (centro/bordas); micélio falho/espaçado
T9.2	BDA	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Aéreo afunilando na borda; uniforme
	DRBC	4*	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Aéreo central afunilando na borda; espaçado
T9.3	BDA	1,8	Irregular	Branca	Algodonoso	Mancha escura	Denso e rasteiro com mancha marrom no verso
	DRBC	0,6	Irregular	Branca	Não obs.	Liso/Branco	Crescimento restrito ao ponto de inoculação
T9.4	BDA	3,3	Irregular	Branca	Algodonoso	Mancha clara	Denso/rasteiro; sulco ao redor da inoculação
	DRBC	2,8	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Aéreo afunilando na borda; uniforme

T9.5	BDA	3,5	Irregular	Branca	Algodonoso	Mancha clara	Denso/rasteiro; sulco ao redor da inoculação
	DRBC	2,8	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Aéreo afunilando na borda; uniforme
P2.1	BDA	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Levemente aéreo, uniforme e pouco denso
	DRBC	3,4	Irregular	Branca	Algodonoso	Raios circunf.	Aéreo com circunferências irregulares
P2.2	BDA	1,2	Irregular	Branca	Cotonoso	Liso/Branco	Crescimento rasteiro e denso
	DRBC	0,8	Irregular	Branca	Cotonoso	Liso	Rasteiro; micélios com certo espaçamento
P4.1	BDA	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Mancha clara	Denso e uniforme por toda a placa
	DRBC	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Falho central (rasteiro) e aéreo na borda
P4.2	BDA	3,5	Regular	Branca	Algodonoso	Rosa no centro	Denso na inoculação; rasteiro; bordas septadas
	DRBC	2	Irregular	Branca	Algodonoso	Uniforme	Crescimento rasteiro, denso e uniforme
P4.3	BDA	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Crescimento denso e uniforme por toda a placa
	DRBC	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Rasteiro; levemente aéreo nas bordas
P4.4	BDA	4*	Regular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Rasteiro e uniforme por toda a placa
	DRBC	3,3	Irregular	Branca	Algodonoso	Liso/Branco	Crescimento rasteiro; micélios espaçados

Nota: BDA: Batata Dextrose Ágar + Cloranfenicol; DRBC: Dicloran Rosa de Bengala Cloranfenicol. * O microrganismo ocupou toda a placa de Petri.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Em relação ao formato das bordas, observou-se predominância de colônias com margens irregulares (61,8%), enquanto bordas regulares corresponderam a 38,2% das observações. Embora o meio DRBC tenha apresentado maior frequência de bordas irregulares (76,5%) quando comparado ao BDA (47,1%), essa diferença não foi estatisticamente significativa (Teste Exato de Fisher; $p = 0,157$).

As características do verso das colônias diferiram entre os meios de cultivo (Teste Exato de Fisher; $p = 0,022$). O padrão liso/branco foi predominante (61,8%), enquanto manchas claras, pigmentações, raios circunferenciais e outras características ocorreram com menor frequência, evidenciando que a composição do meio pode influenciar a expressão de características morfológicas específicas. O crescimento radial médio foi de $3,34 \pm 0,94$ cm em BDA e $2,71 \pm 1,25$ cm em DRBC. Apesar da tendência de maior crescimento em BDA, não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os meios (Teste de Wilcoxon; $p = 0,094$).

Tabela 2 - Frequência das características macromorfológicas dos isolados fúngicos cultivados nos meios BDA e DRBC após oito dias de incubação.

Característica	Categoria	BDA (%)	DRBC (%)	p-valor
Coloração	Branca	100,0	100,0	—
Borda	Regular	52,9	23,5	0,157 ¹
	Irregular	47,1	76,5	
Textura	Algodonosa	94,1	82,4	0,601 ¹
	Cotonosa	5,9	11,8	
	Não observada	0,0	5,9	
Raio (cm)	Média $\pm$ DP	$3,34 \pm 0,94$	$2,71 \pm 1,25$	0,094 ²

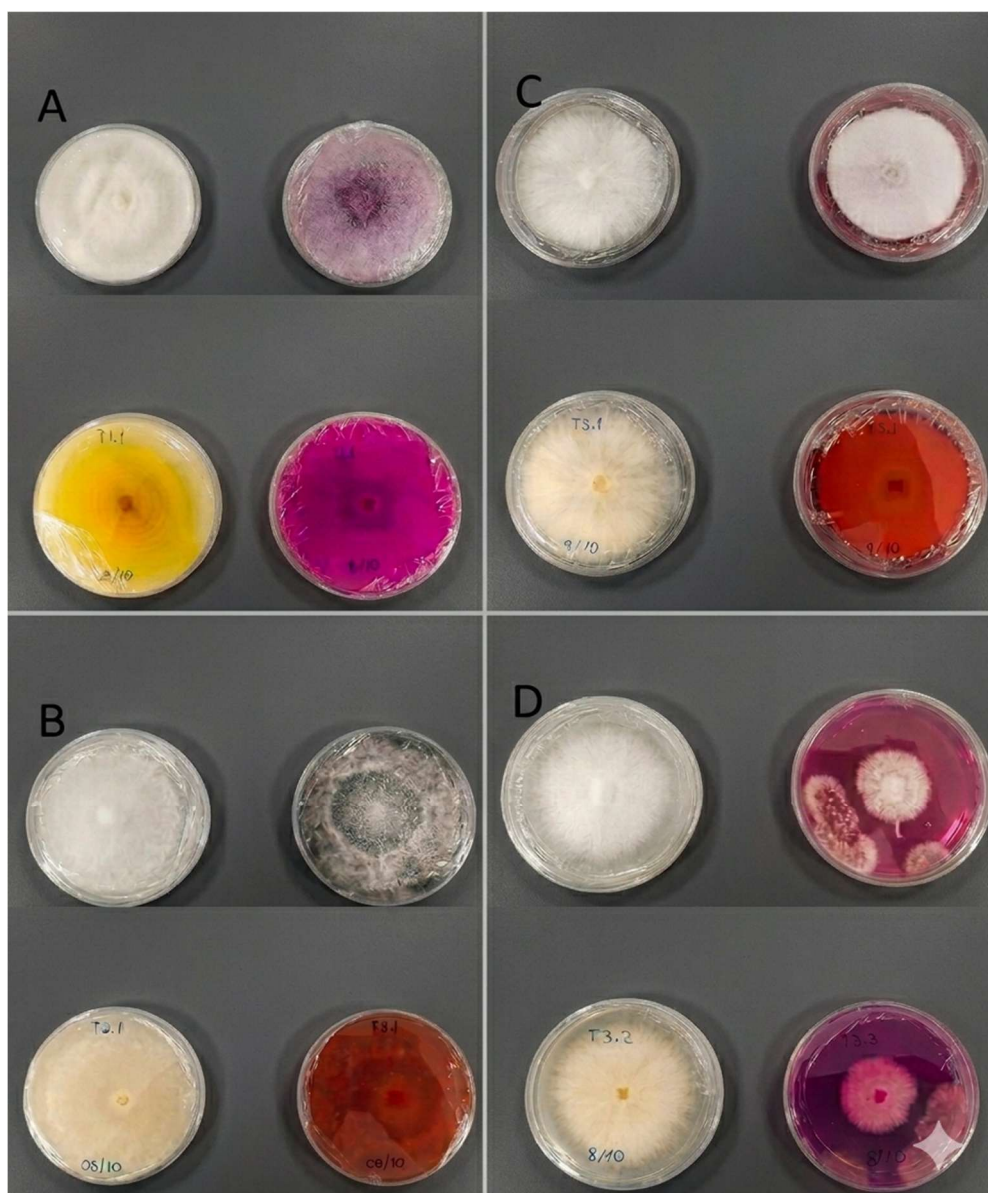
Nota: ¹Teste Exato de Fisher; ²Teste de Wilcoxon.

A caracterização macromorfológica constitui uma das primeiras etapas na prospecção de fungos, permitindo descrever aspectos relacionados ao crescimento micelial e identificar características fenotípicas que auxiliam na diferenciação inicial dos isolados. Embora tais características não sejam suficientes para identificação taxonômica definitiva, elas fornecem informações importantes sobre o comportamento dos microrganismos em diferentes condições de cultivo. Entre os isolados avaliados observou-se predominância de colônias brancas e de textura algodonosa em ambos os meios de cultura, indicando relativa estabilidade dessas características independentemente da composição do meio. A coloração branca do micélio é frequentemente observada durante a fase vegetativa de diversos fungos filamentosos, enquanto

a textura algodoadosa está associada ao desenvolvimento de hifas aéreas abundantes e ao intenso crescimento micelial.

A Figura 2 apresenta exemplos representativos das características macromorfológicas observadas nos isolados cultivados nos dois meios de cultura.

Figura 2. Aspecto macromorfológico representativo de isolados fúngicos cultivados em BDA e DRBC após oito dias de incubação.



Nota: Cada painel apresenta o anverso (linha superior) e o verso (linha inferior) das colônias cultivadas em BDA (esquerda) e DRBC (direita). Os painéis correspondem aos isolados: (A) T1.1; (B) T2.1; (C) T3.1; e (D) T3.2.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O formato das bordas também apresentou comportamento semelhante entre os meios. Apesar da maior frequência de bordas irregulares no meio DRBC, essa diferença não foi estatisticamente significativa ($p = 0,157$), sugerindo que essa característica depende predominantemente da variabilidade intrínseca dos isolados, e não da composição do meio de cultura. Em relação ao crescimento radial, observou-se tendência de maior expansão das colônias em BDA ($3,34 \pm 0,94$ cm) quando comparado ao DRBC ($2,71 \pm 1,25$ cm), embora essa diferença não tenha atingido significância estatística ($p = 0,094$). Esse comportamento é coerente com as características dos meios utilizados. O BDA é reconhecido como um meio rico em nutrientes e amplamente empregado para o crescimento de fungos filamentosos, favorecendo elevada velocidade de expansão micelial. Por outro lado, o meio DRBC contém dicloran e rosa de bengala, compostos desenvolvidos justamente para restringir o crescimento excessivo das colônias e facilitar o isolamento de fungos presentes em amostras ambientais. Dessa forma, a tendência observada neste estudo era esperada e demonstra que ambos os meios permitiram o desenvolvimento dos isolados, embora o DRBC tenha exercido discreto efeito limitante sobre a expansão radial (Khan et al., 2020; Kowalski e Cramer, 2020).

O único parâmetro morfológico que apresentou diferença significativa entre os meios foi o aspecto do verso das colônias ($p = 0,022$). Enquanto o padrão liso/branco predominou em ambos os meios, pigmentações, manchas e formações de raios ocorreram com frequências distintas. Essas alterações sugerem que a composição nutricional e os agentes seletivos presentes em cada meio podem influenciar a expressão de metabólitos secundários e pigmentos fúngicos, modificando características fenotípicas sem necessariamente alterar o crescimento micelial, conforme documentado na literatura (Khan et al., 2020; Zhou et al., 2023)

Em conjunto, os resultados demonstram que a maior parte das características macromorfológicas avaliadas permaneceu relativamente estável entre os meios de cultivo, indicando que os isolados apresentam comportamento fenotípico consistente. Por outro lado, as diferenças observadas no aspecto do verso evidenciam que determinadas características morfológicas são dependentes das condições de cultivo, reforçando a importância da utilização de mais de um meio de cultura durante a caracterização inicial de fungos prospectados em ambientes naturais.

6.3. Atividade Celulolítica

A atividade celulolítica dos 22 isolados foi avaliada por meio da formação do halo de hidrólise em meio contendo carboximetilcelulose (CMC) e pelo cálculo do índice enzimático

(IE). Ambas as variáveis foram utilizadas conjuntamente na análise hierárquica de agrupamento (HCA), permitindo identificar perfis semelhantes de degradação da celulose entre os isolados. A análise hierárquica de agrupamento separou os isolados em três grupos distintos (Figura 3A).

O Grupo I reuniu 11 isolados com halos de hidrólise elevados, apresentando halo médio de 65,4 mm, variando de 41,7 a 71,1 mm, e índice enzimático médio de 1,94. O Grupo II foi composto por três isolados com halos reduzidos, variando entre 5,9 e 10,9 mm, e índice enzimático médio de 1,78. O Grupo III agrupou oito isolados que não apresentaram formação de halo ou exibiram halos residuais, com média de apenas 0,4 mm e índice enzimático próximo de 1,0 (Tabela 2). A distribuição dos halos médios para cada isolado, organizada segundo os grupos obtidos pela HCA, encontra-se apresentada na Figura 3B.

Tabela 3. Caracterização dos grupos de atividade celulolítica obtidos por análise hierárquica de agrupamento dos isolados fúngicos.

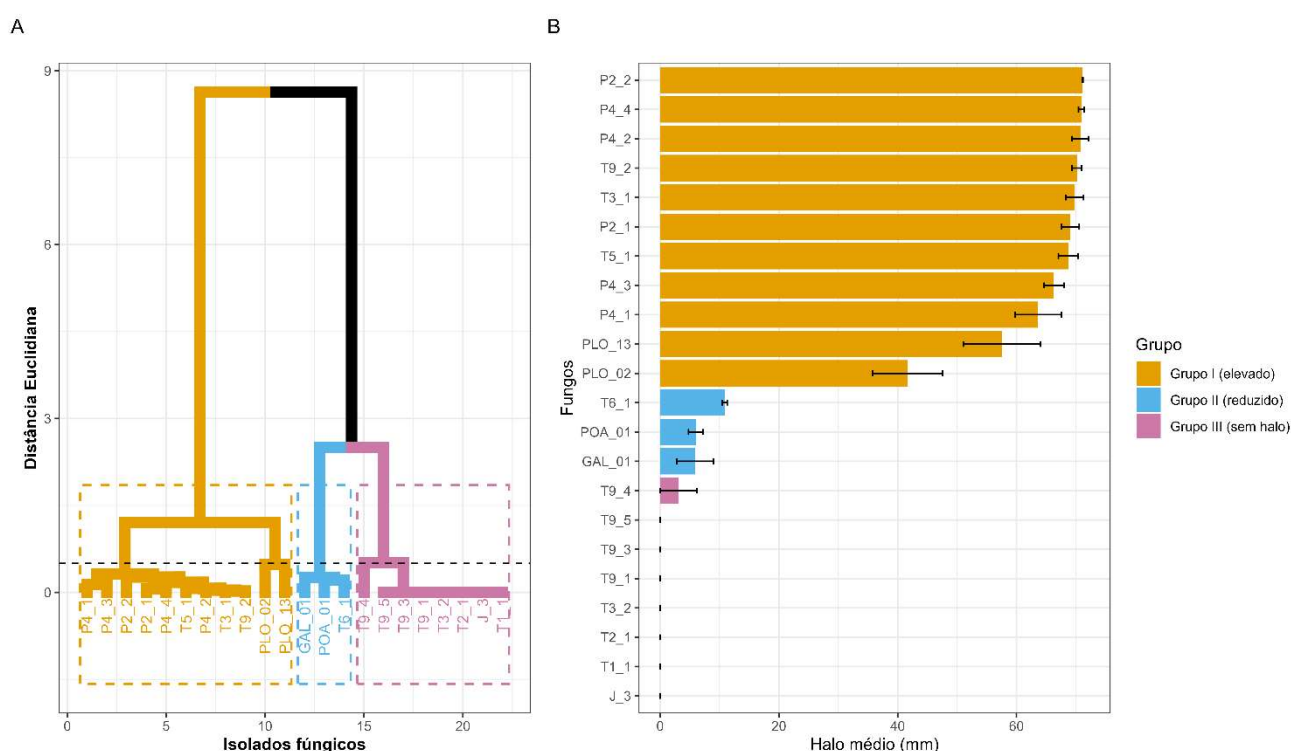
Grupo	Nº de isolados	Halo médio (mm)	Intervalo do halo (mm)	IE médio
Grupo I	11	65,4	41,7–71,1	1,94
Grupo II	3	7,6	5,9–10,9	1,78
Grupo III	8	0,4	0,0–3,1	1,00

O teste de Kruskal-Wallis confirmou diferenças significativas entre os grupos definidos pela análise hierárquica ($\chi^2 = 41,18$; gl = 2; $p < 0,001$). As comparações múltiplas pelo teste de Dunn com correção de Holm indicaram que o Grupo I apresentou halos significativamente superiores aos observados no Grupo II ($p = 0,005$) e no Grupo III ($p < 0,001$). Não foram observadas diferenças significativas entre os Grupos II e III ($p = 0,239$). A utilização simultânea do halo de hidrólise e do índice enzimático na análise hierárquica permitiu identificar perfis distintos de degradação da celulose entre os isolados avaliados. Essa abordagem apresenta uma vantagem em relação à classificação baseada exclusivamente no tamanho do halo, uma vez que considera simultaneamente duas características relacionadas ao potencial celulolítico, permitindo uma separação mais consistente dos isolados.

Os isolados pertencentes ao Grupo I apresentaram os maiores halos de hidrólise e índices enzimáticos próximos de 2,0, indicando elevada capacidade de degradação da carboximetilcelulose. Esse comportamento sugere maior potencial para aplicações biotecnológicas envolvendo conversão de resíduos lignocelulósicos e produção de biomateriais à base de micélio. Entre os isolados classificados nesse grupo destaca-se a cepa PLO_02, pertencente à espécie *Pleurotus ostreatus*, depositada na Coleção LAMIC. Essa espécie já foi

utilizada por Peng et al. (2023) na produção de biomateriais compósitos de micélio destinados à substituição de embalagens de poliestireno expandido (EPS), reforçando o potencial biotecnológico observado neste trabalho.

Figura 3. Caracterização da atividade celulolítica dos isolados fúngicos. (A) Dendrograma obtido por análise hierárquica de agrupamento utilizando distância Euclidiana e método de Ward (Ward.D2), considerando o halo médio de hidrólise e o índice enzimático após padronização das variáveis. (B) Halo médio de degradação da celulose (mm) $\pm$ erro-padrão dos isolados, organizados segundo os grupos obtidos pela análise hierárquica.

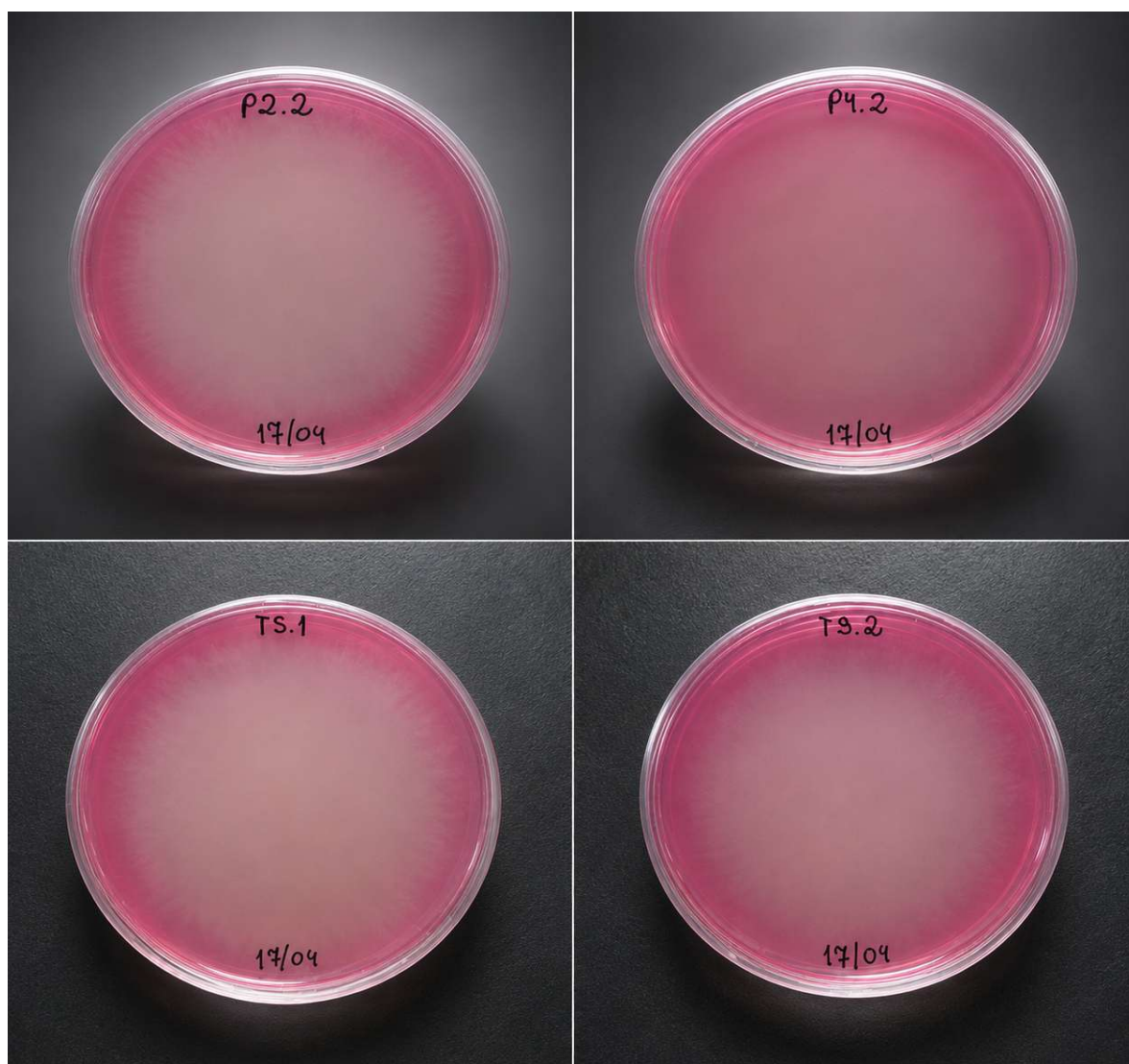


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Por outro lado, os isolados agrupados no Grupo III não apresentaram formação de halo ou exibiram apenas halos residuais. Entretanto, a ausência de atividade celulolítica nesse ensaio não implica necessariamente incapacidade de degradação da celulose em outras condições de cultivo. O meio contendo carboximetilcelulose (CMC) apresenta disponibilidade limitada de nutrientes e utiliza uma única fonte de carbono, podendo restringir a expressão de enzimas celulolíticas em determinados fungos (Mendes et al., 2025). Dessa forma, esses isolados podem apresentar comportamento distinto quando cultivados em resíduos agroindustriais ou outros substratos mais complexos.

Esses resultados demonstram que a capacidade celulolítica pode variar significativamente entre espécies e até mesmo entre isolados do mesmo gênero, reforçando que a identificação taxonômica isoladamente não é suficiente para predizer o potencial enzimático. Além disso, diferenças na expressão gênica e nas condições de cultivo podem influenciar diretamente a produção de celulases.

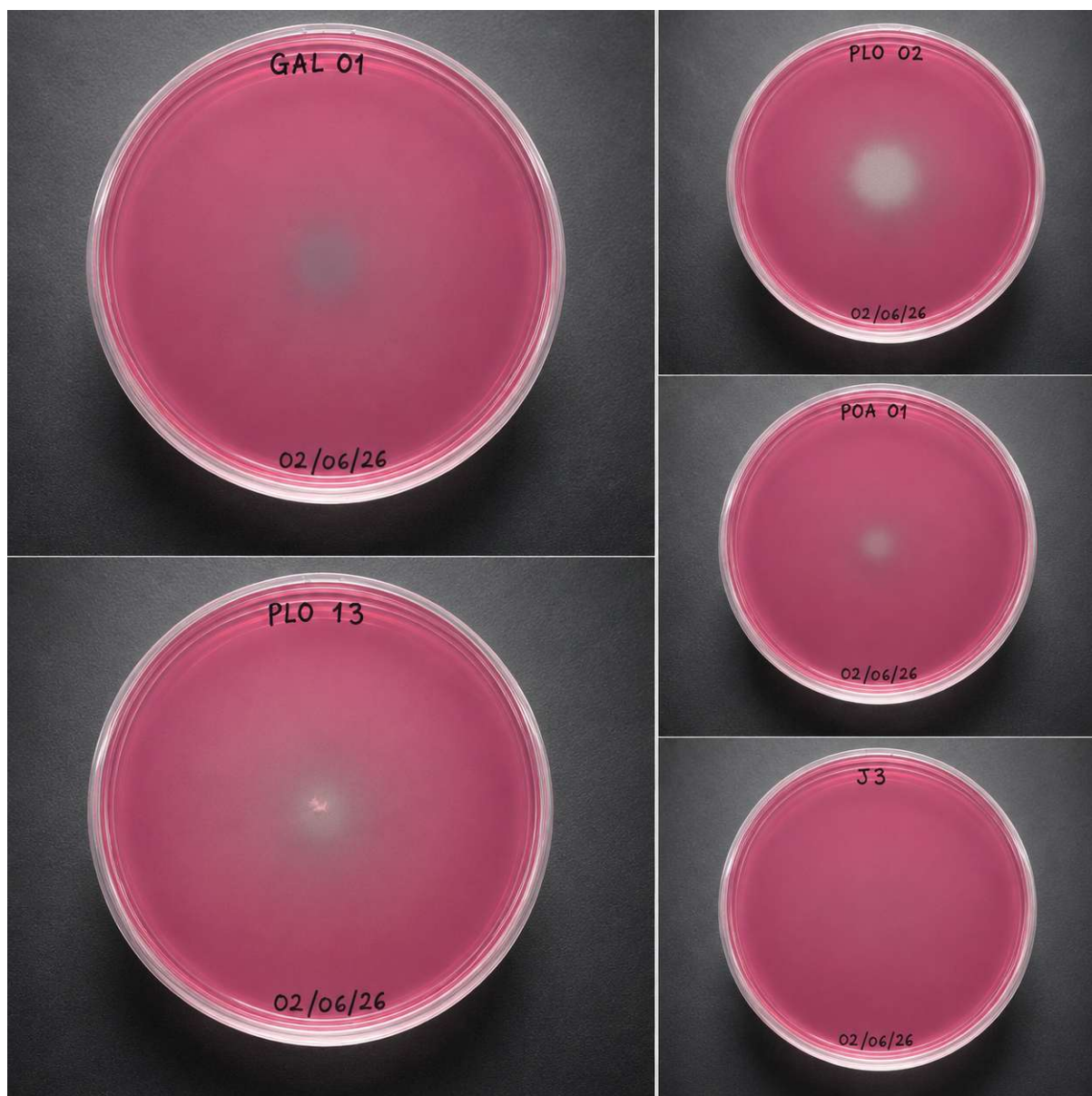
Figura 4. Formação de halos de hidrólise em meio contendo carboximetilcelulose (CMC) por isolados representativos da Coleção Canastra. Observa-se a formação de halos claros ao redor das colônias, indicando degradação da celulose pelos isolados P2.2, P4.2, T3.1 e T9.2.



Nota: Os isolados ilustram os diferentes perfis de degradação da celulose identificados pela análise hierárquica de agrupamento, incluindo fungos com halo elevado, halo reduzido e ausência de halo nas condições experimentais. Os isolados foram cultivados por 8 dias à 30 °C.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 5. Formação de halos de hidrólise em meio contendo carboximetilcelulose (CMC) por isolados representativos da Coleção LAMIC pertencentes aos diferentes grupos de atividade celulolítica.



Nota: Os isolados ilustram os diferentes perfis de degradação da celulose identificados pela análise hierárquica de agrupamento, incluindo fungos com halo elevado, halo reduzido e ausência de halo nas condições experimentais. Os isolados foram cultivados por 8 dias à 30 °C.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

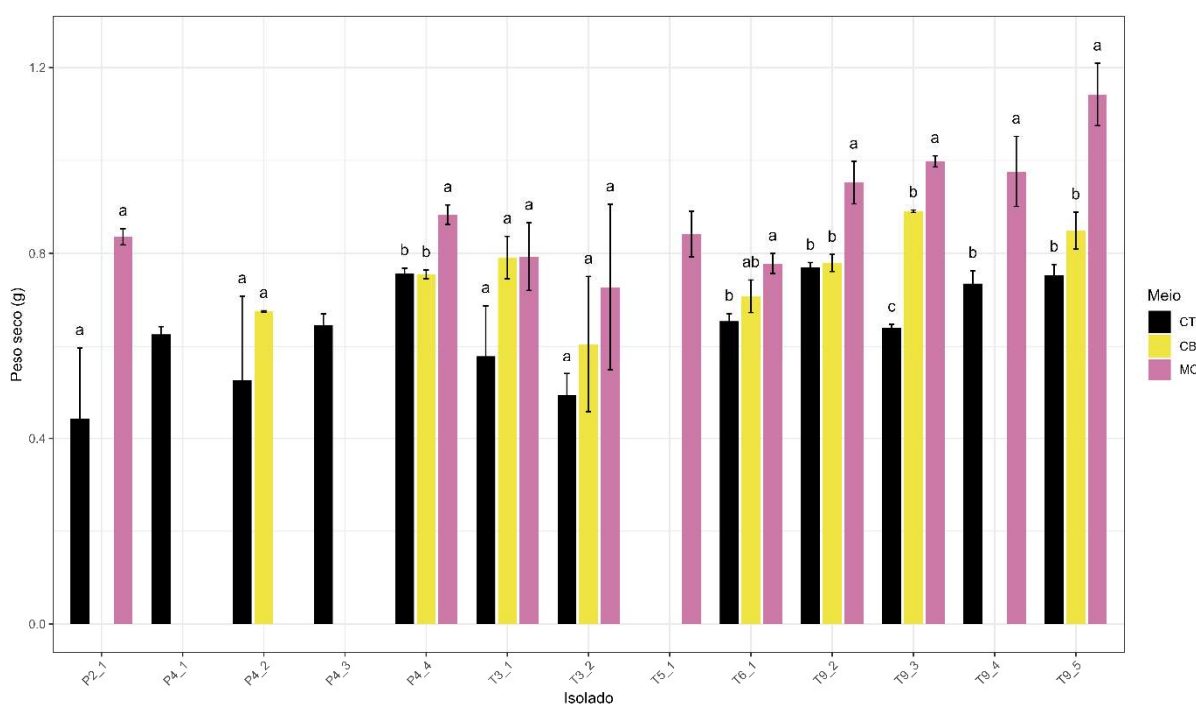
Os índices enzimáticos observados para os isolados classificados nos Grupos I e II permaneceram dentro da faixa relatada na literatura para fungos celulolíticos. Ang et al. (2015) reportaram valores entre 1,04 e 1,62, Cyrus et al. (2015) observaram índices entre 1,04 e 1,90,

enquanto Mendes et al. (2025) registraram valores variando de 1,05 a 2,57. Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo demonstram desempenho comparável ao descrito para fungos com potencial de aplicação na degradação de biomassa lignocelulósica e em processos relacionados à produção de etanol de segunda geração.

6.4. Crescimento Micelial em Resíduos Agroindustriais para Produção de Biomateriais

A produção de biomassa micelial dos isolados foi avaliada por meio do peso seco obtido após cultivo em três substratos: controle (CT), celulose bacteriana (CB) e resíduo de maçã (MC). As médias de peso seco dos isolados em cada meio encontram-se apresentadas na Figura 6 e na Tabela 3.

Figura 6. Produção de biomassa seca (média $\pm$ erro-padrão) dos isolados fúngicos cultivados nos meios controle comercial (CT), celulose bacteriana (CB) e resíduo de maçã (MC).



Letras minúsculas comparam os meios de cultivo dentro de cada isolado. Barras sem letras correspondem a isolados avaliados em apenas um meio de cultivo, para os quais não foi realizada comparação estatística.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A avaliação do efeito do substrato dentro de cada isolado mostrou que apenas alguns fungos responderam significativamente à alteração do meio de cultivo. Os isolados P4_4, T6_1,

T9_2, T9_3, T9_4 e T9_5 apresentaram aumento significativo da biomassa no substrato MC quando comparado ao meio controle, indicando maior capacidade de aproveitamento desse resíduo lignocelulósico. Em contraste, P2_1, P4_2, T3_1 e T3_2 não apresentaram diferenças estatísticas entre os meios avaliados. Os isolados P4_1, P4_3 e T5_1 foram cultivados em apenas um substrato, impossibilitando comparação estatística. A comparação entre os isolados dentro de cada substrato (Figura 7) evidenciou comportamentos distintos.

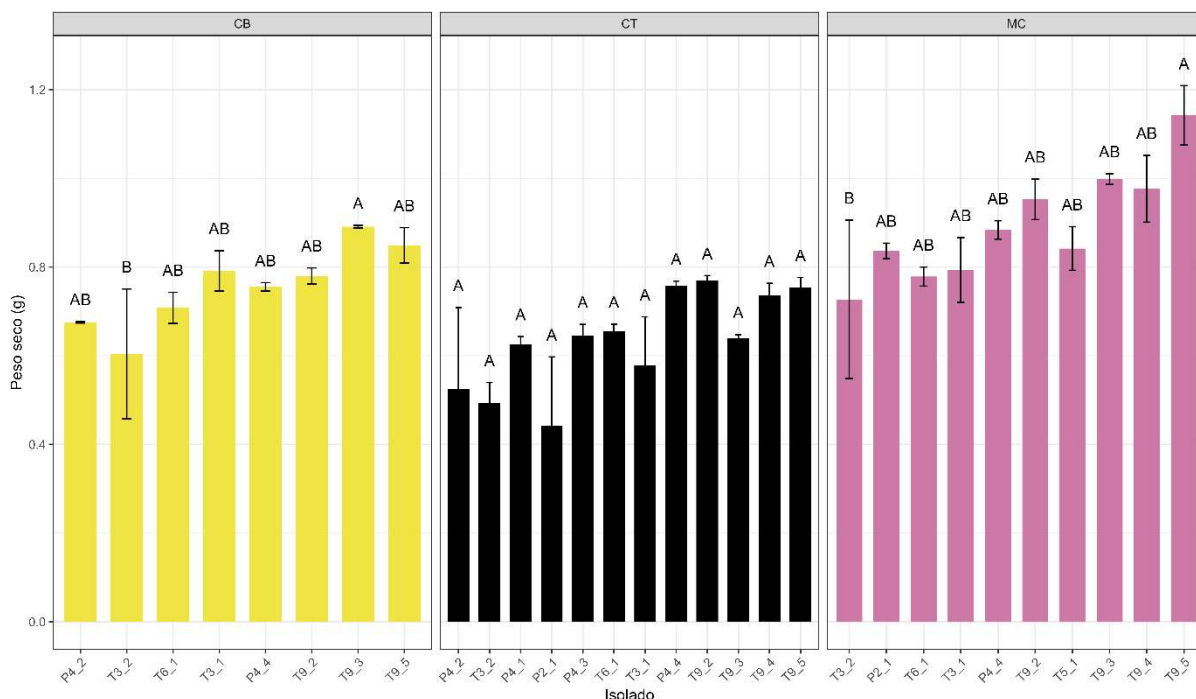
Tabela 4. Peso seco médio dos isolados fúngicos

Meio	Isolado	Média ± desvio padrão
CB	P4_2>	0,675±0,00
	P4_4*	0,755±0,02
	T3_1*	0,791±0,08
	T3_2*	0,604±0,25
	T6_1*	0,708±0,06
	T9_2*	0,78±0,03
	T9_3*	0,891±0,00
	T9_5*	0,849±0,07
CT	P2_1+	0,442±0,27
	P4_1	0,626±0,03
	P4_2>	0,525±0,32
	P4_3	0,645±0,04
	P4_4*	0,757±0,02
	T3_1*	0,579±0,19
	T3_2*	0,493±0,08
	T6_1*	0,654±0,03
	T9_2*	0,77±0,02
	T9_3*	0,64±0,01
	T9_4+	0,735±0,05
	T9_5*	0,753±0,04
MC	P2_1+	0,836±0,03
	P4_4*	0,884±0,04
	T3_1*	0,793±0,13
	T3_2*	0,727±0,31
	T5_1	0,842±0,09
	T6_1*	0,778±0,04
	T9_2*	0,952±0,08
	T9_3*	0,998±0,02
	T9_4+	0,976±0,13
	T9_5*	1,14±0,12

*Repetições comuns aos meios CT, MC e CB; + Repetições comuns aos meio CT e MC; <Repetições comuns aos meios CT e CB.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 7. Produção de biomassa seca dos isolados fúngicos cultivados nos meios controle comercial (CT), celulose bacteriana (CB) e resíduo de maçã (MC). As barras representam as médias $\pm$ erro-padrão ($n = 3$).

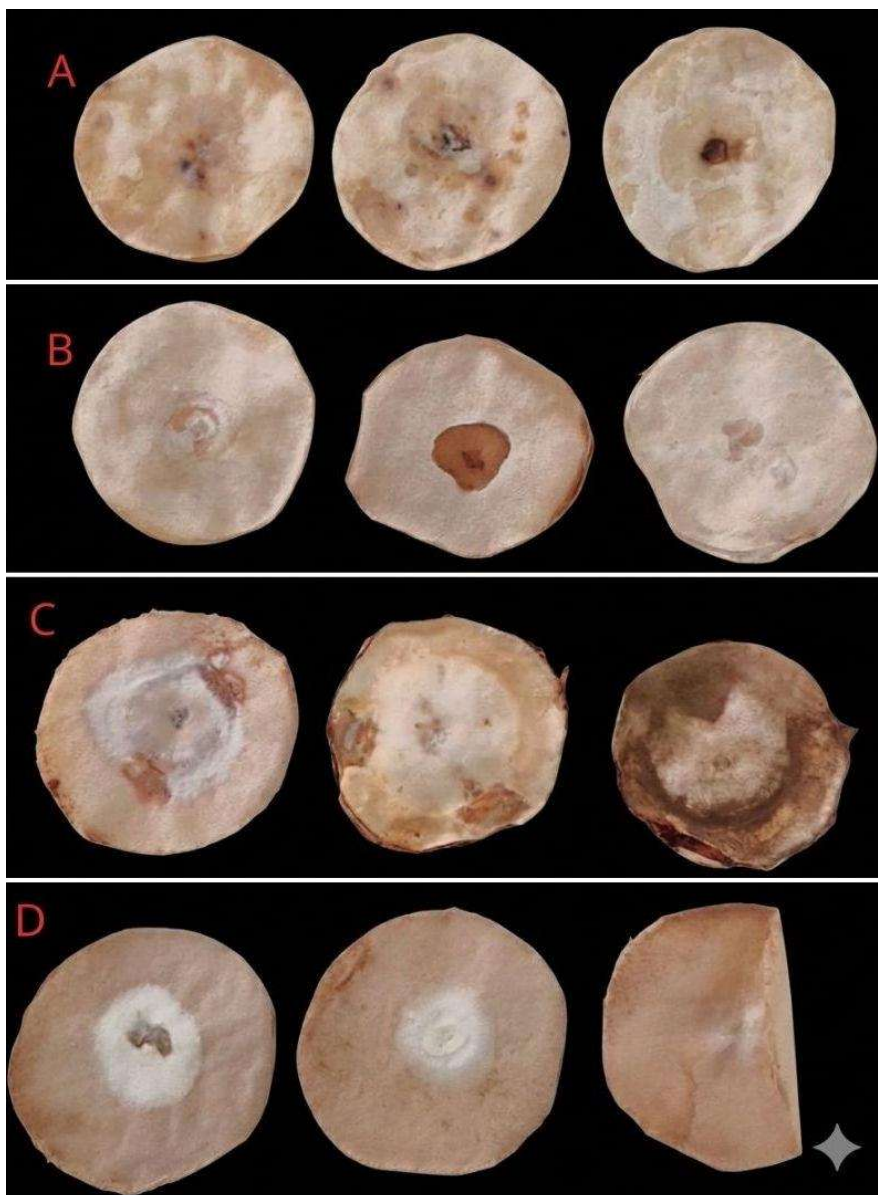


Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os isolados dentro de cada meio de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$). Os painéis representam independentemente cada meio de cultivo.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No meio controle (CT), não foram observadas diferenças significativas entre os isolados (ANOVA; $p = 0,090$), indicando produção de biomassa semelhante entre os fungos avaliados. Embora os valores médios tenham variado de 0,44 g (P2_1) a 0,77 g (T9_2), todos os isolados permaneceram agrupados na mesma classe estatística. No substrato contendo celulose bacteriana (CB), foi observada tendência de diferença entre os isolados ($p = 0,055$). O isolado T9_3 apresentou a maior média de biomassa (0,891 g), diferindo apenas do isolado T3_2 (0,604 g), enquanto os demais apresentaram desempenho intermediário. Já no substrato contendo resíduo de maçã (MC), foram observadas diferenças significativas entre os isolados (ANOVA; $p = 0,022$). O isolado T9_5 apresentou a maior produção de biomassa (1,14 g), diferindo significativamente do isolado T3_2 (0,73 g), enquanto os demais fungos apresentaram valores intermediários e não diferiram entre si.

Figura 8. Biomaterial após secagem na estufa.



Nota: Letra A corresponde ao fungo P4.3 (CT: Controle); B ao P4.4 (CT: Controle); C ao T9.4 (MC: Meio maçã); e D ao T6.1 (CB: Meio celulose bacteriana).

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os resultados demonstram que a resposta dos fungos depende fortemente do isolado avaliado, evidenciando elevada variabilidade fisiológica mesmo entre fungos pertencentes ao mesmo gênero. Enquanto alguns isolados apresentaram produção semelhante independentemente do substrato, outros responderam positivamente ao cultivo em resíduos lignocelulósicos, principalmente no meio contendo resíduo de maçã. A ausência de diferenças entre os isolados no meio controle sugere que, em condições nutricionais padronizadas, todos apresentaram capacidade semelhante de crescimento micelial. Entretanto, quando cultivados

em substratos mais complexos, as diferenças metabólicas entre os isolados tornaram-se evidentes, indicando diferentes capacidades de degradação e assimilação dos componentes lignocelulósicos.

O substrato MC promoveu os maiores incrementos de biomassa para diversos isolados, especialmente T9_3, T9_4 e T9_5. Esses resultados sugerem que esse resíduo apresentou composição química mais favorável ao crescimento micelial, provavelmente em função da disponibilidade simultânea de celulose, hemicelulose e lignina, que atuam como fontes de carbono após degradação enzimática. Esse comportamento é coerente com os resultados obtidos na avaliação da atividade celulolítica (Seção 5.3), na qual esses mesmos isolados apresentaram halos elevados de hidrólise e elevados índices enzimáticos. A elevada produção de celulasas pode favorecer a conversão da fração celulósica em açúcares assimiláveis, refletindo diretamente em maior acúmulo de biomassa. Essa relação entre atividade celulolítica e crescimento em resíduos lignocelulósicos é amplamente descrita na literatura (Ezeilo et al., 2019; Salomão et al., 2019; Zhang et al., 2024).

Entre os isolados de maior destaque encontra-se T9_3, que apresentou crescimento progressivamente superior do CT para CB e MC, evidenciando elevada capacidade de adaptação aos diferentes resíduos avaliados. De maneira semelhante, T9_5 apresentou a maior produção de biomassa no meio MC, reforçando seu potencial para processos biotecnológicos que envolvem conversão de resíduos agroindustriais. Por outro lado, alguns isolados, como T3_1 e T3_2, não apresentaram aumento significativo de biomassa entre os substratos. Esse comportamento demonstra que a elevada capacidade de crescimento não depende exclusivamente da disponibilidade de carbono, podendo estar relacionada à regulação da produção enzimática, à eficiência de absorção dos produtos da hidrólise ou às diferenças fisiológicas entre as espécies.

Os resultados também corroboram estudos que demonstram que diferentes resíduos agroindustriais podem modificar significativamente o crescimento micelial de fungos filamentosos. Além de atuarem como fonte de carbono, esses resíduos fornecem nutrientes minerais e compostos estruturais que influenciam diretamente a colonização do substrato e a produção de biomassa (Mendes et al., 2025).

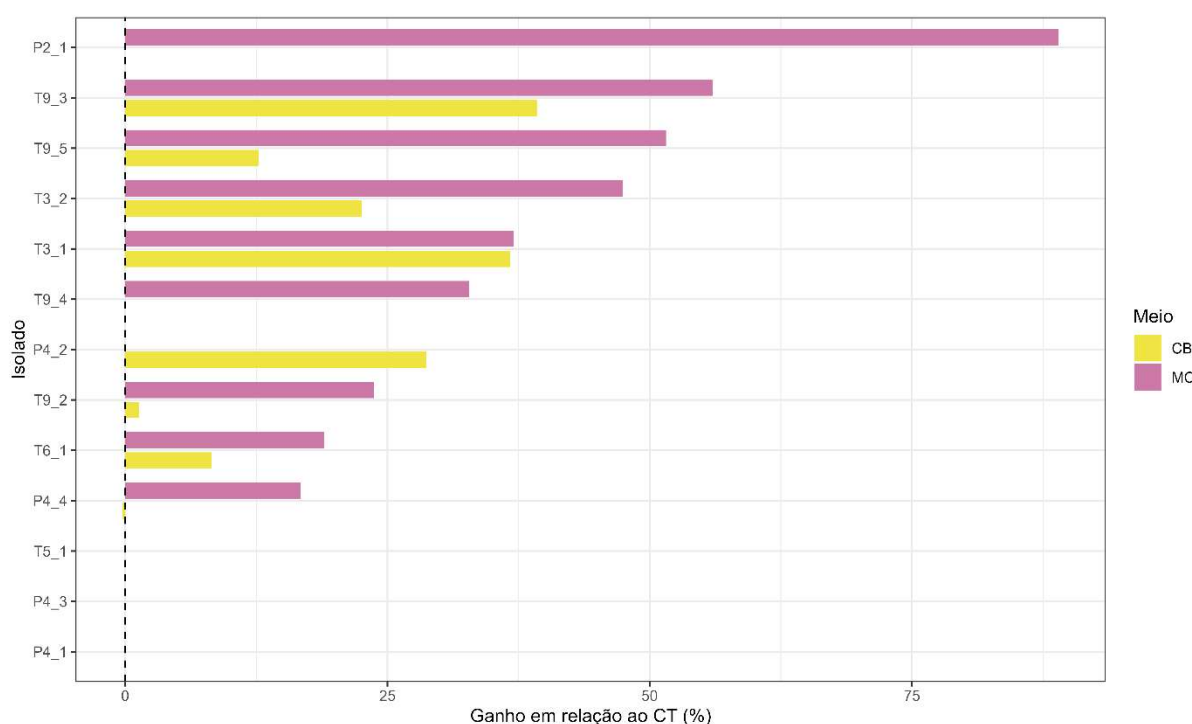
Sob a perspectiva biotecnológica, os isolados T9_3, T9_5, T9_2, T9_4 e P4_4 destacam-se como candidatos promissores para aplicações envolvendo bioconversão de resíduos lignocelulósicos e produção de biomateriais. Esses isolados reuniram elevada atividade celulolítica (Seção 5.3) e elevada produção de biomassa nos resíduos avaliados, características

consideradas desejáveis para processos de biodegradação e produção de compósitos à base de micélio, conforme discutido por Peng et al. (2023).

6.5. Ganho percentual em relação ao controle

Dos nove isolados avaliados em MC em comparação ao CT, todos apresentaram ganho positivo de biomassa, variando de 16,7% a 89,0%, enquanto em CB os ganhos variaram de -0,3% a 39,2%. A inclusão de celulose bacteriana oriunda do SCOBY de kombucha em biomateriais pode demandar outros tratamentos, como a lavagem com NaOH para purificação e neutralização do pH (Leite et al., 2021). De modo geral, a maioria dos isolados apresentou incremento de biomassa quando cultivada nos meios alternativos formulados com resíduos agroindustriais. Os maiores ganhos foram observados para os isolados P2_1 cultivado em MC (89,0%), T9_3 cultivado em MC (56,0%) e T9_5 cultivado em MC (51,5%), indicando elevada capacidade de aproveitamento dos nutrientes presentes nesse meio.

Figura 9. Ganho percentual da produção de biomaterial em relação ao meio controle comercial (CT)



CB = Celulose bacteriana; MC (resíduo de maçã)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Entre os isolados avaliados simultaneamente nos meios CB e MC, observou-se tendência de maiores ganhos percentuais no meio MC. Para T3_2, por exemplo, o aumento foi de 22,5% em CB e 47,5% em MC, enquanto para T9_3 os ganhos foram de 39,2% e 56,0%, respectivamente. Esses resultados sugerem que a composição nutricional do meio MC favoreceu o crescimento micelial de diversos isolados. Por outro lado, alguns fungos apresentaram resposta mais discreta aos meios alternativos. O isolado T9_2 apresentou ganho de apenas 1,3% em CB e 23,7% em MC, enquanto T6_1 apresentou incrementos de 8,2% e 19,0%, respectivamente. Além disso, o isolado P4_4 apresentou desempenho semelhante entre CT e CB, resultando em ligeira redução de 0,3% na biomassa produzida.

7. CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu a prospecção, o isolamento, a caracterização e a avaliação do potencial biotecnológico de fungos filamentosos provenientes do Parque Nacional da Serra da Canastra. A variabilidade observada entre os isolados quanto ao crescimento micelial, à atividade celulolítica e à capacidade de produção de biomassa evidencia o potencial da microbiota fúngica desse ambiente como fonte de recursos biológicos para o desenvolvimento de novos bioprocessos. A avaliação integrada da atividade celulolítica e do crescimento em substratos lignocelulósicos mostrou-se uma estratégia eficiente para a seleção de isolados promissores para a produção de biomateriais à base de micélio. Além disso, os resultados demonstraram que resíduos agroindustriais, como a celulose bacteriana proveniente de SCOBY e o bagaço de maçã, constituem substratos adequados para o cultivo desses fungos, agregando valor a materiais frequentemente descartados e reforçando seu potencial de inserção em sistemas produtivos fundamentados nos princípios da bioeconomia circular. Por fim, este trabalho amplia o conhecimento sobre a diversidade de fungos filamentosos associados ao Parque Nacional da Serra da Canastra, fortalece a Coleção de Culturas Canastra do Laboratório de Microbiologia de Produtos Fermentados (FERMICRO/UFV) e fornece subsídios para futuras pesquisas voltadas à identificação taxonômica, caracterização fisiológica, otimização das condições de cultivo e desenvolvimento de biomateriais sustentáveis. Os resultados obtidos reforçam o potencial da biodiversidade microbiana brasileira como fonte de inovação tecnológica, evidenciando que a conservação de ambientes naturais representa também uma estratégia para a prospecção de microrganismos de elevado interesse biotecnológico.

REFERÊNCIAS

- ANG, S. K. et al. Isolation, screening, and identification of potential cellulolytic and xylanolytic producers for biodegradation of untreated oil palm trunk and its application in saccharification of lemongrass leaves. **Preparative Biochemistry and Biotechnology**, v. 45, n. 3, p. 279-305, 2015.
- ATTIAS, Noam et al. Developing novel applications of mycelium based bio-composite materials for design and architecture. **Proceedings of building with biobased materials: best practice and performance specification**, v. 1, n. 10, 2017.
- BASERA, Priyanka; CHAKRABORTY, Shuchishloka; SHARMA, Neha. Lignocellulosic biomass: insights into enzymatic hydrolysis, influential factors, and economic viability. **Discover Sustainability**, v. 5, n. 1, p. 311, 2024.
- BLAGODATSKI, Artem et al. Medicinal mushrooms as an attractive new source of natural compounds for future cancer therapy. **Oncotarget**, v. 9, n. 49, p. 29259, 2018.
- BONDONNO, Nicola P. et al. The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds. **Trends in Food Science & Technology**, v. 69, p. 243-256, 2017.
- CAO, Tian-Xu et al. Medicinal Value, Biological Characteristics, and Domestication of the Wild Mushroom *Pholiota adiposa* (Agaricomycetes). **International journal of medicinal mushrooms**, v. 25, n. 10, 2023.
- CHAWLA, Prashant. Microbial cellulose: fermentative production and applications. **Food Technology and...**, 2009.
- COELHO, Raquel Macedo Dantas et al. Kombucha. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 22, p. 100272, 2020.
- COSTA, Andrea FS et al. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* using corn steep liquor as nutrient sources. **Frontiers in microbiology**, v. 8, p. 2027, 2017.
- CYRUS, Ekundayo Temitope; JUWON, Arotupin Daniel. Isolation and identification of cellulytic Fungi from Agrowastes and sawmill soils. **Br Biotechnol J**, v. 7, n. 3, p. 147-159, 2015.
- DA SILVA, S. S. et al. Isolation and identification of endophytic fungi of *Passovia stelis* (Loranthaceae). **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 1262-1270, 2020.
- DATTA, Rahul. Enzymatic degradation of cellulose in soil: A review. **Heliyon**, v. 10, n. 1, 2024.
- DOI, Songila Maria da Silva Rocha et al. Isolation and identification of endophytic fungi from the amazonian palm *Oenocarpus bataua* Mart. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 1, p. 139-153, 2021.
- EZEILO, Uchenna R. et al. Raw oil palm frond leaves as cost-effective substrate for cellulase and xylanase productions by *Trichoderma asperellum* UC1 under solid-state fermentation. **Journal of Environmental Management**, v. 243, p. 206-217, 2019.

FERNANDES, Pedro AR et al. Apple pomace extract as a sustainable food ingredient. **Antioxidants**, v. 8, n. 6, p. 189, 2019.

GAGGIÀ, Francesca et al. Kombucha beverage from green, black and rooibos teas: A comparative study looking at microbiology, chemistry and antioxidant activity. **Nutrients**, v. 11, n. 1, p. 1, 2018.

GARG, Shilpa. The importance of fungal biotechnology for sustainable applications. **Trends in Biotechnology**, 2025.

ICMBio. **Parna da Serra da Canastra**. [s.d] Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/parna-da-serra-da-canastra>>. Acesso em: 27 de jun. De 2026

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS. RENOVÁVEIS (IBAMA). Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra, Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/parna-da-serra-da-canastra/arquivos/plano_manejo_pnsc.pdf>. Acesso: 27 de jun. de 2026.

JAYABALAN, Rasu et al. A review on kombucha tea—microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 13, n. 4, p. 538-550, 2014.

JOSE, Joyal et al. Investigations into the development of a mycelium biocomposite to substitute polystyrene in packaging applications. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 46, n. 3, p. 2975-2984, 2021.

KHAN, Rahim et al. Caracterização morfológica e determinação de *Aspergillus flavus* aflatoxigênico e não aflatoxigênico isolado de grãos de milho doce e solo na Malásia. **Agricultura**, v. 10, n. 10, p. 450, 2020.

KING JR, A. Douglas; HOCKING, AILSA D.; PITT, JOHN I. Dichloran-rose bengal medium for enumeration and isolation of molds from foods. **Applied and environmental microbiology**, v. 37, n. 5, p. 959-964, 1979.

KNIEP, Julia et al. Mycelium-based biomimetic composite structures as a sustainable leather alternative. **Materials Today Communications**, v. 39, p. 109100, 2024.

KOWALSKI, Caitlin H.; CRAMER, Robert A. If looks could kill: Fungal macroscopic morphology and virulence. **PLoS pathogens**, v. 16, n. 6, p. e1008612, 2020.

KOZARSKI, Maja et al. Ganoderma lucidum as a cosmeceutical: Antiradical potential and inhibitory effect on hyperpigmentation and skin extracellular matrix degradation enzymes. **Archives of biological sciences**, v. 71, n. 2, p. 253-264, 2019.

KRESTZSCHMAR, Aike Anneliese; RUFATO, Leo. Maçãs: O que você ainda não sabe sobre a atividade. **Revista Campo & Negócio**, v. 27, 2020.

LEITE, Priscila Maria Sarmeyro Correa Marciano et al. Effect of water and alkali on purification bacterial cellulose membrane from Kombucha. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e526101523267-e526101523267, 2021.

LEONG, Chia Choong et al. Assessment of phylogenetic, growth, and antioxidant capacity of *Pleurotus* spp. in Malaysia. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 6, p. e15554, 2021.

LOH, Nicholas Yung Li et al. Synthesis of renewable and cost-effective bioplastic from apple waste: Physicochemical and biodegradability studies. **Waste and Biomass Valorization**, v. 14, n. 10, p. 3235-3252, 2023.

MA, Xiao-ying et al. The effects of zinc sulfate on mycelial enzyme activity and metabolites of *Pholiota adiposa*. **Plos one**, v. 18, n. 12, p. e0295573, 2023.

MAGYAR, Margaret et al. Conversion of apple pomace waste to ethanol at industrial relevant conditions. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 100, n. 16, p. 7349-7358, 2016.

MAHIMA et al. Fungal cellulases: a comprehensive review on production, innovations, and applications. **Archives of Microbiology**, v. 208, n. 6, p. 291, 2026.

MANRICH, A. Apple industry: Wastes and possibilities. **International Journal on Agriculture Research and Environmental Sciences**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2024.

MARTIN, José Guilherme Prado et al. **Fungos da Canastra: ciência, tradição e inovação**. Viçosa: Editora Asa Pequena, 2026. 64 p.

MARTIN, José Guilherme Prado; ROCHA, André Ricardo Ferreira da Silva; VENTURINI, Bárbara Côgo; DUQUE-RODRÍGUEZ, Angie Dahiana. Bebidas não alcoólicas fermentadas. In: MARTIN, José Guilherme Prado; LINDNER, Juliano De Dea (org.). **Microbiologia de alimentos fermentados**. São Paulo: Blucher, 2022. p. 587–651.

MENDES, W. J. M. et al. Prospecting Potential Filamentous Fungi that Produce Cellulase for Production of 2G Ethanol. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 68, p. e25250097, 2025.

MESSIAS, Cassiano Gustavo; FERREIRA, Marcos César. **Parque Nacional da Serra da Canastra: aspectos físicos e socioeconômicos**. *Revista da ANPEGE*, Dourados, v. 15, n. 27, p. 71–112, maio/ago. 2019. DOI: 10.5418/RA2019.1527.003. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/8922>. Acesso em: 2 jul. 2026.

MOHD HANAFI, Fatimah Hafifah et al. Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 3, p. 1383-1396, 2018.

MORÁN, Juan I. et al. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. **Cellulose**, v. 15, n. 1, p. 149-159, 2008.

PENG, Liucheng et al. Development and characterization of mycelium bio-composites by utilization of different agricultural residual byproducts. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, v. 8, n. 1, p. 78-89, 2023.

PIÓRECKA, Natalia B. et al. MYCOLullose: Fabricating Biohybrid Material System with Mycelium-Based Composites and Bacterial Cellulose. In: **World Congress of Architects**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 597-614.

- PITT, John I.; HOCKING, Ailsa D. Ecology of fungal food spoilage. In: **Fungi and food spoilage**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 33-31
- RAJENDRAN, Rejeesh C. Packaging applications of fungal mycelium-based biodegradable composites. In: **Fungal biopolymers and biocomposites: Prospects and avenues**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 189-208.
- RAMAN, Jegadeesh et al. Mycofabrication of mycelium-based leather from brown-rot fungi. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 3, p. 317, 2022.
- RIJAL, N. Potato Dextrose Agar (PDA): Principle, composition and colony characteristics. **Med. Microbiol. Guide Cult. Media Used Microbiol**, 2015.
- RITOTA, Mena; MANZI, Pamela. Pleurotus spp. cultivation on different agri-food by-products: Example of biotechnological application. **Sustainability**, v. 11, n. 18, p. 5049, 2019.
- ROMERO, ROSANA; NAKAJIMA, JIMI NAOKI. Espécies endêmicas do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Botany**, v. 22, p. 259-265, 1999.
- SALOMÃO, Gabriella Soares Borges et al. Production of cellulases by solid state fermentation using natural and pretreated sugarcane bagasse with different fungi. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 17, p. 1-6, 2019.
- SELVARAJ, Suriyapriya; GURUMURTHY, Kalaichelvan. An overview of probiotic health booster-kombucha tea. **Chinese herbal medicines**, v. 15, n. 1, p. 27-32, 2023.
- SHADE, Ashley; BUCKLEY, D. H.; ZINDER, S. H. The kombucha biofilm: a model system for microbial ecology. **Final report on research conducted during the Microbial Diversity course. Marine Biological Laboratories, Woods Hole, MA**, 2011.
- SHRIKHANDIA, SP Pourush; DEVI, Sapna; SUMBALI, Geeta. Lignocellulosic waste management through cultivation of certain commercially useful and medicinal mushrooms: Recent scenario. In: **Biology, cultivation and applications of mushrooms**. Singapore: Springer Singapore, 2022. p. 497-534.
- SPENCER, Paula VD et al. Analysis of the lipolytic potential of filamentous fungi isolated from some plants and soil samples in Minas Gerais, Brazil. **ADVANCES IN BIOSCIENCE AND BIOTECHNOLOGY**, v. 11, n. 11, p. 475-487, 2020.
- SULIEMAN, Abdel Moneim Elhadi. Extracellular enzyme activity and its implications for organic matter cycling. **Microbial Enzymes**, p. 323-332, 2026.
- TIŠMA, Marina et al. Trametes versicolor in lignocellulose-based bioeconomy: State of the art, challenges and opportunities. **Bioresource technology**, v. 330, p. 124997, 2021.
- USMAN, Muhammad et al. Effect of apple pomace on nutrition, rheology of dough and cookies quality. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 9, p. 3244-3251, 2020.
- VARZAKAS, Theodoros; ZAKYNTHINOS, George; VERPOORT, Francis. Plant food residues as a source of nutraceuticals and functional foods. **Foods**, v. 5, n. 4, p. 88, 2016.

VERMA, Nikita; JUJJAVARAPU, Satya Eswari; MAHAPATRA, Chinmaya. Green sustainable biocomposites: Substitute to plastics with innovative fungal mycelium based biomaterial. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 5, p. 110396, 2023.

VILLARREAL-SOTO, Silvia Alejandra et al. Understanding kombucha tea fermentation: a review. **Journal of food science**, v. 83, n. 3, p. 580-588, 2018.

VITORINO, Luciana Cristina et al. The isolation and characterization of endophytic microorganisms from Hyptis marrubioides Epling roots. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 64, p. 12766, 2012.

ZHANG, Zheng et al. Review of research progress on the production of cellulase from filamentous fungi. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 277, p. 134539, 2024.

ZHANG, Zichen et al. Isolation and screening of microorganisms for the effective pretreatment of lignocellulosic agricultural wastes. **BioMed Research International**, v. 2021, n. 1, p. 5514745, 2021.

ZHOU, Minghui et al. Isolation and identification of pigment-producing filamentous fungus DBFL05 and its pigment characteristics and chemical structure. **CyTA-Journal of Food**, v. 21, n. 1, p. 374-385, 2023.

ZOU, Gen; NIELSEN, Jens B.; WEI, Yongjun. Harnessing synthetic biology for mushroom farming. **Trends in Biotechnology**, v. 41, n. 4, p. 480-483, 2023.