



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA –
CITA



ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E ENZIMÁTICA DE
FUNGOS AGARICOMYCETES AMAZÔNICOS DA RESERVA
FLORESTAL HUMAITÁ, ACRE, BRASIL

MARIA ROSIANE LIMA DA COSTA

RIO BRANCO - AC
NOVEMBRO - 2022

MARIA ROSIANE LIMA DA COSTA

**ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E ENZIMÁTICA DE
FUNGOS AGARICOMYCETES AMAZÔNICOS DA RESERVA
FLORESTAL HUMAITÁ, ACRE, BRASIL**

Projeto de defesa de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências e Inovação Tecnológica**.

Área de concentração: Ciência e Inovação Tecnológica.

Orientadora: Dra. Clarice Maia Carvalho

Co-orientadora: Dra. Leila Priscila Peters

**RIO BRANCO - AC
NOVEMBRO – 2022**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

C837a Costa, Maria Rosiane Lima da, 1997 -

Atividade antimicrobiana e enzimática de fungos agaricomycetes Amazônicos da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil / Maria Rosiane Lima da Costa; Orientadora: Dr^a. Clarice Maia Carvalho e Coorientador: Dr^a. Leila Priscila Peters. -2022.

87 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, 2022.

Inclui referências bibliográficas.

1. Agaricales. 2. Atividade antibacteriana. 3. Celulase. I. Carvalho, Clarice Maia (Orientador). II. Peters, Leila Priscila (Coorientador). III. Título.

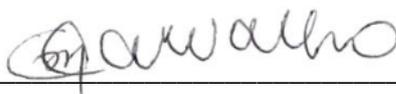
CDD: 509

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA
PARA A AMAZÔNIA – CITA

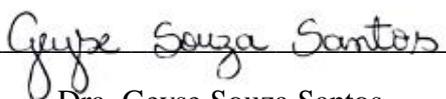
ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E ENZIMÁTICA DE FUNGOS
AGARICOMYCETES AMAZÔNICOS DA RESERVA FLORESTAL
HUMAITÁ, ACRE, BRASIL

MARIA ROSIANE LIMA DA COSTA

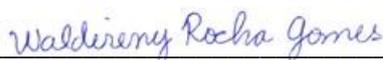
PROJETO DE DEFESA APROVADO EM: 25/11/2022



Dra. Clarice Maia Carvalho
Universidade Federal do Acre – UFAC
Orientadora



Dra. Geysel Souza Santos
Universidade Federal do Acre – UFAC
Membro Externo



Dra. Waldireny Rocha Gomes
Universidade Federal do Amazonas – UFAM
Membro Externo

*À Deus que me permitiu chegar
até aqui.
À minha mãe que me ensinou a
nunca desistir dos meus sonhos.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, fonte da sabedoria, sem Ele nada seria possível.

À Professora Dra. Clarice Maia Carvalho, pela orientação concedida durante a pesquisa e pela confiança em mim depositada.

À Professora Dra. Geysel Souza Santos, por toda paciência de me ensinar os primeiros passos no mestrado e no mundo micológico.

Aos meus amigos que fiz durante o trajeto da vida, em especial, Jusley, Natieli, Natália, Bruno e Ronaira pelas boas risadas que tornaram esse percurso mais leve!

À minha família, em especial minha mãe Naldir e minha irmã Liliane por me incentivarem a nunca desistir.

À Universidade Federal do Acre, e ao programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia (CITA).

Ao Laboratório de Microbiologia e toda equipe pela amizade e convivência durante a execução da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa.

A todos que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho.

Muito obrigada!

EPÍGRAFE

Em algum lugar, alguma coisa incrível está esperando para ser descoberta.

- Carl Sagan

RESUMO

O Brasil destaca-se por sua grande diversidade fúngica, porém há poucos estudos relacionados à descrição de Agaricomycetes ocorrentes no país. O conhecimento da diversidade de basidiomicetos ainda é insuficiente, assim como trabalhos realizados com atividade antimicrobiana e enzimática. Assim, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a atividade antimicrobiana e enzimática de fungos Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil. O Capítulo I é um artigo de revisão sistemática sobre a ocorrência, atividade antimicrobiana e enzimática de fungos Agaricomycetes da Amazônia Brasileira. O presente estudo é uma revisão sistemática com a pesquisa de literatura realizada nas bases: Scielo, Google Scholar, PubMed e ScienceDirect, publicados entre 2010 e 2021. Foram selecionados para análise um total de 40 artigos, destes 26 (65%) relataram a descrição de 253 espécies de fungos Agaricomycetes para a Amazônia Brasileira, sendo as ordens mais frequentes Polyporeles (52,96%), Hymenochetales (15,81%) e Agaricales (12,64%). Seis (15%) trabalhos relataram atividade antimicrobiana contra bactérias Gram positivas, Gram negativas e fungos do gênero *Candida*. Cinco (12,5%) trabalhos relataram produção enzimática de xilanase, pectinase, celulase, protease, amilase e lacase. E um (2,5%) trabalho para atividade antioxidante. O Capítulo II estuda a ocorrência, atividade antimicrobiana e enzimática de Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil. As coletas foram realizadas na Reserva Florestal Humaitá (RFH). As espécimes foram coletados com auxílio de canivete, fotografados e armazenados em sacos de papel. Para identificação dos Agaricomycetes foram observadas as características macroscópicas e microscópicas. Os espécimes foram isolados e conservados utilizando dois métodos de conservação, óleo mineral e Castellani. Foram produzidos extratos do micélio e do basidioma, para então realizar os ensaios antimicrobianos, através da técnica de microdiluição afim de determinar a CIM e posteriormente a CMM. A produção enzimática foi testada para amilase, celulase, protease e lipase. Os isolados que apresentaram os melhores resultados foram submetidos a identificação molecular. Foram coletados 55 Agaricomycetes, classificados nas ordens Agaricales (45,45%), Polyporales (41,81%), Auriculariales (9,09%) e Hymenochaetales (3,63%), distribuídos em 16 famílias, 23 gêneros e 16 espécies. Dos extratos dos basidiomas testados, 66,66% apresentaram atividade contra todas as bactérias testadas. Os isolados da espécie *Trametes modesta* 5.377 e *Gloeoporus telephoroides* 5.415 apresentaram os menores CIM e foram microbicidas contra *Klebsiella pneumoniae*. Nenhum extrato do basidioma apresentou atividade contra as cepas de *Candida* analisadas. Para a atividade antimicrobiana dos extratos de micélios, a espécie *Trametes*

modesta 5.397 e Agaricales 5.367(3) apresentaram a menor CIM e foram microbidas contra *Klebsiella pneumoniae* e *Staphylococcus aureus*, respectivamente. Dos extratos testados, 73,91% apresentaram atividade contra o fungo leveduriforme *Candida albicans*, se destacando *Clitopilus prunulus*. Foram isolados 24 (43,63%) agaricomietos, destes 19 apresentaram produção enzimática, sendo a enzima celulase (73,7%) a enzima mais frequente, destacando-se o isolado 5.418 da família Polyporaceae. As enzimas amilase (52,64%) e protease (21%) o melhor produtor foi *Clitopilus prunulus* e para a enzima lipase (15,8%), destacou *Ceriporia* sp. O isolado *Polyporus* sp. 5.374(2) foi o único produtor das quatro enzimas. As ordens mais ocorrentes na Reserva Florestal Humaitá foram Agaricales, Polyporales, Auriculariales e Hymenochaetales. A espécie *Clitopilus prunulus* está sendo relatada como primeira ocorrência para o Estado do Acre. Este trabalho contribui para a descrição de espécies de Agaricomycetes ocorrentes na Amazônia Brasileira, bem como novos dados referentes a atividade antimicrobiana e enzimática desses fungos. Diante do déficit de informações na literatura tanto sobre atividade enzimática, quanto antimicrobiana, se faz necessário estudos mais aprofundados sobre Agaricomycetes.

Palavras-chave: Agaricales, Atividade antibacteriana, Celulase, Polyporales, *Polyporus* sp., *Trametes modesta*.

ABSTRACT

Brazil stands out for its great fungal diversity, but there are few studies related to the description of Agaricomycetes occurring in the country. Knowledge of the diversity of basidiomycetes is still insufficient, as well as works carried out with antimicrobial and enzymatic activity. Thus, this work had as general objective to evaluate the antimicrobial and enzymatic activity of Agaricomycetes fungi from the Humaitá Forest Reserve, Acre, Brazil. Chapter I is a systematic review article on the occurrence, antimicrobial and enzymatic activity of Agaricomycetes fungi from the Brazilian Amazon. The present study is a systematic review with a literature search carried out in the bases: Scielo, Google Scholar, PubMed and ScienceDirect, published between 2010 and 2021. A total of 40 articles were selected for analysis, of which 26 (65%) reported the description of 253 species of Agaricomycetes fungi for the Brazilian Amazon, the most frequent orders being Polyporales (52.96%), Hymenochetales (15.81%) and Agaricales (12.64%). Six (15%) studies reported antimicrobial activity against Gram positive and Gram negative bacteria and fungi of the genus *Candida*. Five (12.5%) papers reported enzymatic production of xylanase, pectinase, cellulase, protease, amylase and laccase. And one (2.5%) work for antioxidant activity. Chapter II studies the occurrence, antimicrobial and enzymatic activity of Agaricomycetes from the Humaitá Forest Reserve, Acre, Brazil. The collections were carried out in the Humaitá Forest Reserve (RFH). The specimens were collected with the aid of a penknife, photographed and stored in paper bags. To identify the Agaricomycetes, macroscopic and microscopic characteristics were observed. Specimens were isolated and preserved using two preservation methods, mineral oil and Castellani. Mycelium and basidiome extracts were produced, to then carry out antimicrobial assays, through the microdilution technique in order to determine the MIC and subsequently the CMM. Enzyme production was tested for amylase, cellulase, protease and lipase. The isolates that showed the best results were subjected to molecular identification. 55 Agaricomycetes were collected, classified in the orders Agaricales (45.45%), Polyporales (41.81%), Auriculariales (9.09%) and Hymenochaetales (3.63%), distributed in 16 families, 23 genera and 16 species. Of the basidiomata extracts tested, 66.66% showed activity against all tested bacteria. The isolates *Trametes modesta* 5.377 and *Gloeoporus telephoroides* 5.415 had the lowest MIC and were microbicidal against *Klebsiella pneumoniae*. No basidiome extract showed activity against the analyzed *Candida* strains. For the antimicrobial activity of mycelia extracts, the species *Trametes modesta* 5.397 and Agaricales 5.367(3) had the lowest MIC and were microbicidal against *Klebsiella pneumoniae* and *Staphylococcus aureus*, respectively. Of the extracts tested, 73.91% showed activity against the yeast fungus *Candida albicans*, with emphasis on *Clitopilus prunulus*. 24 (43.63%) agaricomycetes were isolated, of which 19 showed enzymatic production, with cellulase enzyme (73.7%) being the most frequent enzyme, highlighting isolate 5,418 of the Polyporaceae family. For amylase (52.64%) and protease (21%) enzymes, the best producer was *Clitopilus prunulus* and for lipase enzyme (15.8%), *Ceriporia* sp. The isolate *Polyporus* sp. 5,374(2) was the sole producer of the four enzymes. The most common orders in the Humaitá Forest Reserve were Agaricales, Polyporales, Auriculariales and Hymenochaetales. The species *Clitopilus prunulus* is being highlighted as the first occurrence for the State of Acre. This work contributes to the description of species of Agaricomycetes occurring in the Brazilian Amazon, as well as new data regarding the antimicrobial and enzymatic activity of these fungi. In view of the lack of information in the literature on both enzymatic and antimicrobial activity, further studies on Agaricomycetes are necessary.

Keywords: Agaricales, Antibacterial activity, Cellulase, Polyporales, *Polyporus* sp., *Trametes modesta*.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
CAPITULO I – OCCURRENCE, BIOLOGICAL AND ENZYMATIC ACTIVITIES OF AGARICOMYCETES FROM THE BRAZILIAN AMAZON – A SYSTEMATIC REVIEW.....	32
Figura 1. Total number of articles selected for systematic review of occurrence, biological and enzymatic activities of Agaricomycetes from the Brazilian Amazon.....	36
Figura 2. Distribution of fungi of the Class Agaricomycetes from the Brazilian Amazon. A. Most frequent orders. B. Most frequent genera of the order Polyporales. C. Most frequent genera of the order Hymenochaetales. D. Most frequent genera of the order Agaricales.....	43
CAPITULO II – ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E ENZIMÁTICA DE FUNGOS AGARICOMYCETES AMAZÔNICOS DA RESERVA FLORESTAL HUMAITÁ, ACRE, BRASIL.....	54
Figura 1. Mapa de coleta de Agaricomycetes, Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil. A. Local de coleta; B-C. Espécimes coletadas.....	60
Figura 2. Ocorrência dos fungos da Classe Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá em relação ao substrato. A. Ocorrência das ordens em relação ao substrato. B. Ocorrências dos gêneros da ordem Agaricales em relação ao substrato. C. Ocorrências dos gêneros da ordem Polyporales em relação ao substrato.....	68
Figura 3. Espécimes coletadas na Reserva Florestal Humaitá. 1. <i>Polyporus</i> sp.; 2. e 3. <i>Marasmius</i> sp.; 4. <i>Agaricus</i> sp.; 5. <i>Panus</i> sp.; 6. <i>Tetrapyrgos nigripes</i> ; 7. <i>Trametes modesta</i> ; 8. <i>Ceriporia</i> sp.; 9. <i>Hydropus nigrita</i> ; 10. <i>Polyporus</i> sp.; 11. Agaricales; 12. <i>Marasmius rhabarbarinus</i> ; 13. <i>Clitopilus prunulus</i> ; 14. <i>Auricularia delicata</i> ; 15. <i>Auricularia fuscosuccinea</i> ; 16. <i>Ganoderma flaviporum</i> ; 17. Polyporales; 18. <i>Lentinus strigosus</i> ; 19. <i>Gymnopus</i> sp.; 20. <i>Favolus tenuiculus</i> ; 21. <i>Coriopsis caperata</i> ; 22. <i>Flabellophora</i> sp.; 23. e 24. <i>Gloeoporus telephoroides</i> ; 25. <i>Ganoderma</i> sp.; 26. <i>Filoboletus gracilis</i> ; 27. <i>Hexagonia papyracea</i> ; 28. <i>Cotylidia aurantiaca</i>	69
Figura 4. Agaricomyceto <i>Clitopilus prunulus</i> , primeira ocorrência para o estado do Acre.	70
Figura 5. Exemplos submetidos a identificação molecular. A. <i>Trametes modesta</i> ; B. <i>Ganoderma flaviporum</i> ; C. <i>Clitopilus prunulus</i> ; D. <i>Coprinellus disseminatus</i> ; E. <i>Ceriporia</i> sp.; F. <i>Marasmius</i> sp.....	74
Figura 6. Agaricomycetes com melhor para produção enzimática. A. <i>Clitopilus prunulus</i> ; B. <i>Coprinellus disseminatus</i> ; C. <i>Trametes modesta</i> ; D. <i>Ceriporia</i> sp.; E. <i>Favolus tenuiculus</i> ; F-G. Polyporaceae; H. <i>Marasmius</i> sp.....	76
Figura 7. Fungos produtores de mais de uma enzima hidrolítica. A. <i>Marasmius</i> sp.; B. <i>Flabellophora</i> sp.; C. Agaricales; D. <i>Tetrapyrgos nigripes</i> ; E. <i>Polyporus</i> sp.; F. Polyporaceae; G. <i>Trametes modesta</i> ; H. Agaricales.....	76

LISTA DE TABELAS

	Pág.
CAPITULO I – OCCURRENCE, BIOLOGICAL AND ENZYMATIC ACTIVITIES OF AGARICOMYCETES FROM THE BRAZILIAN AMAZON – A SYSTEMATIC REVIEW.....	34
Tabela 1. List of descriptors and database used to search for occurrence, biological and enzymatic activities of Agaricomycetes in the Brazilian Amazon.....	37
Tabela 2. List of Agaricomycetes species from the Brazilian Amazon reported in the literature.....	38
Tabela 3. Biological activities of Agaricomycetes from the Brazilian Amazon..	43
CAPITULO II – ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E ENZIMÁTICA DE FUNGOS AGARICOMYCETES AMAZÔNICOS DA RESERVA FLORESTAL HUMAITÁ, ACRE, BRASIL.....	56
Tabela 1. Identificação dos Agaricomycetes coletados na Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.....	68
Tabela 2. Relação em miligramas da produção dos extratos de basidioma e de micélio de Agaricomycetes coletados na Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.....	71
Tabela 3. Atividade antimicrobiana com extratos dos basidiomas de Agaricomycetes isolados da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.....	72
Tabela 4. Atividade antimicrobiana dos extratos de micélios de Agaricomycetes isolados da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.....	73
Tabela 5. Comparação das sequências obtidas com as sequências depositadas no banco de dados do <i>National Center for Biotechnology Information</i>	74
Tabela 6. Produção de enzimas por fungos Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS

AA	Ágar aveia
BDA	Batata Dextrose Ágar
BD	Batata Dextrose
°C	Grau Celsius
CIM	Concentração Inibitória Mínima
CMM	Concentração Microbicida Mínima
CMC	Carboximetilcelulase
cm ²	Centímetro quadrado
DMSO	Dimetilsulfóxido
DNA	Ácido desoxirribonucleico
g	Gramma
H	Hora
HCl	Ácido Clorídrico
IE	Índice enzimático
ITS	Internal Transcribed Spacer
KCl	Cloreto de potássio
km	Quilômetro
L	Litro
mg	Miligramma
mg. L ⁻¹	Miligramma por litro
MH	Müller-Hinton
mL	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minuto
NaCl	Cloreto de Sódio
PCR	Reação em Cadeia da Polimerase
pH	Potencial de Hidrogênio
RFH	Reserva Florestal Humaitá
RPM	Rotação por Minuto
DAS	Ágar Sabouroud Dextrose
sp.	Espécie
µg	Microgramma
µL	Microlitro

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO GERAL	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
3. REFERÊNCIAS	23
4. OBJETIVOS	33
CAPITULO I – OCCURRENCE, BIOLOGICAL AND ENZYMATIC ACTIVITIES OF AGARICOMYCETES FROM THE BRAZILIAN AMAZON – A SYSTEMATIC REVIEW	34
Introdução	35
Material e Métodos	36
Resultados	36
Discussão	45
Conclusão	46
Agradecimentos	47
Referências	47
CAPITULO II - ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E ENZIMÁTICA DE FUNGOS AGARICOMYCETES AMAZÔNICOS DA RESERVA FLORESTAL HUMAITÁ, ACRE, BRASIL	56
Introdução	57
Material e Métodos	59
Resultados	66
Discussão	75
Conclusão	78
Referências	79
5. CONCLUSÕES GERAIS	86

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil se destaca por sua grande diversidade fúngica, contudo, há poucos estudos relacionados à descrição de Agaricomycetos encontrados no país, com áreas ainda não exploradas, em especial a Amazônia (SANTOS et al., 2020). Sua biodiversidade é considerada uma fonte de substâncias bioativas e sua preservação é fundamental, tanto pelo valor natural, como pelo seu enorme potencial como fonte de novos bioprodutos, que vem despertando interesse das indústrias (AZEVEDO; BARATA, 2018).

A literatura apresenta trabalhos que abordam a diversidade de Agaricomycetos no Brasil (ISHIKAWA et al., 2012; SOARES et al., 2014; PIRES, 2014; MOTATO-VÁSQUEZ et al., 2014; MAIA 2015; MANZATO et al., 2020). O conhecimento da diversidade dessa classe ainda é insuficiente, assim como trabalhos realizados referente a atividade antimicrobiana e enzimática.

Dessa forma, faz-se necessário conhecer a diversidade e as características dos agaricomycetos encontrados na Amazônia brasileira. Alguns estudos têm buscado inventariar espécies de Agaricomycetos ocorrentes na Amazônia (BONONI 1992; GOMES-SILVA; GILBERTONI, 2009; WARTCHOW et al., 2014; SILVA et al., 2020; CAVALCANTE et al., 2020), contudo, a grande diversidade deste grupo de organismos na região ainda é pouco explorada.

No que se refere a atividade antimicrobiana na Amazônia, a literatura apresenta resultados positivos frente a bactérias Gram positivas e negativas (SANTOS et al., 2020). Com o aumento da resistência aos antibióticos já comercializados, é necessário a obtenção de novos princípios bioativos provenientes de microrganismos (THEURETZBACHER, 2013), sendo a floresta Amazônica um bioma interessante, devido à sua grande biodiversidade e poucos estudos na região. Dentre esses microrganismos, os agaricomycetos tem se mostrado promissores na produção de princípios ativos com atividade antimicrobiana (SANDARGO et al., 2019).

Os agaricomycetos são fungos de grande importância na produção enzimática, visto enzimas microbianas apresentam uma rentabilidade elevada, baixos custos de produção, estabilidade em várias condições extremas e susceptibilidade genética para manipulação (NIYONZIMA, 2015). As enzimas secretadas pelos microrganismos despertam interesse em diferentes áreas industriais, como processamento de alimentos, indústria de tecidos, de couro, fabricação de detergentes, produtos farmacêuticos, terapia médica e na área de biologia

molecular (CORRÊA et al., 2014; SRILAKSHMI et al., 2015; HAPUARACHCHI et al., 2018; HYDE et al., 2019).

Já têm sido relatados trabalhos com atividade enzimática de Agaricomycetes encontrados na Amazônia Brasileira (AMAZON et al., 2014; SILVA, 2016). No entanto, para o Estado do Acre não foram encontrados trabalhos com este objetivo.

Tendo em vista a possível aplicabilidade antimicrobiana e enzimática de fungos pertencentes às regiões pouco exploradas, como a Amazônica, é necessário pesquisas com fungos produtores de biomoléculas com potencial para aplicação industrial. Diante disso, esse trabalho tem objetivo analisar a diversidade, potencial antimicrobiano e enzimático de agaricomycetos da Floresta Estadual do Humaitá, Acre, Brasil.

Este trabalho foi dividido em dois capítulos: Capítulo I aborda a revisão bibliográfica sobre descrição, atividade antimicrobiana e enzimática de Agaricomycetes da Amazônia Brasileira; Capítulo II estuda a atividade antimicrobiana e enzimática de Agaricomycetes coletados na Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O reino Fungi compreende um vasto grupo de organismos caracterizados como heterótrofos com nutrição por absorção, imóveis e constituídos principalmente por longos filamentos, denominados hifas (TELLES, 2010; BLACKWELL et al., 2012).

No mundo, a estimativa da biodiversidade fúngica é de aproximadamente 2,2 a 3,8 milhões de espécies, destas, estima-se que mais de 30.000 pertencem ao filo Basidiomycota, sendo considerado o filo dos grupos mais evoluídos no reino, dada a complexidade de suas estruturas (HAWKSWORTH; LÜCKING, 2017; HE et al., 2019). A formação de esporos sexuados ou basidiósporos, pode ser indicada como sendo característica inerente aos Basidiomycota, estando estes localizados em basídios e estes no basidiocarpo. Em geral, os indivíduos dessa classe são macroscópicos, variando em tamanho, forma e coloração (KIRK et al., 2001).

Os Basidiomicetos podem ser divididos nas classes Teliomycetes, Gasteromycetes e Agaricomycetes (SILVEIRA, 1995). Na classe Teliomycetes encontramos os fungos conhecidos por ferrugens e carvões, fungos causadores de doenças em plantas. Os Gasteromycetes precisam de auxílio de força mecânica como, por exemplo, ação de insetos ou gotas de água para liberar os basidiósporos que, quando maduros se localizam no interior do basidioma. Na classe dos Agaricomycetes, os basídios são formados externamente, organizados em um himênio exposto onde ocorre a cariogamia e a meiose, estando incluídos nessa classe os únicos que apresentam um basídio verdadeiro (LIRA, 2012). Os Agaricomycetes estão distribuídos em 17 ordens, 100 famílias, 1.147 gêneros e 20.951 espécies (KIRK et al., 2008). Dentre estas, as ordens Agaricales, Boletales e Polyporales apresentam maior destaque por suas aplicabilidades (PUTZKE, 2017).

A classe Agaricomycetes compreende os fungos macroscópicos popularmente conhecidos como cogumelos e/ou orelha de pau (MATTOS, 2020). Esses fungos possuem fundamental importância na natureza realizando a ciclagem de nutrientes através da produção de metabólitos secundários e enzimas (SILVA, 2013).

A variedade de habitats onde ocorrem é bastante ampla, indo da região do Ártico até aos Trópicos (BANÑARES-BAUDET; TEJERA, 2014). Considerando a diversidade de substratos e habitats por eles ocupados, tais organismos apresentam espécies de comportamento simbiótico, saprófito e parasita (MATTOS, 2020).

O comportamento simbiótico ocorre de forma mutualística, como exemplo, os líquens e micorrizas (MATTOS, 2020). Os fungos sapróbios (decompositores) são responsáveis pela degradação da matéria morta, podendo citar o gênero *Marasmius* (PUTZKE, 2017). Já os fungos parasitas dependem de um hospedeiro vivo, do qual retiram os nutrientes necessários para sobreviver, podendo ser uma planta ou um animal, como por exemplo o fungo *Moniliophthora perniciosa*, pertencente a ordem *Agaricales*, este fungo ataca o cacaueteiro (*Theobroma cacao*), provocando o aparecimento da doença conhecida como vassoura-de-bruxa (BARBOSA, 2018).

Os fungos têm importância primordial nos diversos ambientes, atuando na decomposição de matéria orgânica, sobretudo nos ecossistemas florestais (MATTOS, 2020).

Atividades antimicrobiana

Os Agaricomycetos vem sendo estudados há muitos anos na busca de metabólitos secundários e já são evidenciadas atividades anti-inflamatória (CASTRO et al., 2014), antifúngica (OLIVEIRA, 2021), antimicrobiana (HELENO et al., 2015; OLIVEIRA, 2021), antibacteriana (COSTA et al., 2021), antioxidante (REN et al., 2014), antiviral (MIZERSKA-DUDKA et al., 2015) e antitumoral (SIVANANDHAN et al., 2017).

Também são considerados alimentos funcionais por serem ricos em proteínas, sais minerais, ferro, vitaminas do complexo B, cálcio, fibras e outros elementos essenciais, além de apresentarem baixos teores de gorduras e carboidratos. O consumo desses alimentos ajuda na prevenção do desenvolvimento de doenças metabólicas e doenças crônico-degenerativas, contribuindo para o funcionamento saudável do organismo (KHATUN et al., 2020). Conforme a Associação Nacional dos Produtores de Cogumelo (ANPC), as principais espécies comestíveis, cultivadas no Brasil, são *Agaricus bisporus* (Champignon de Paris), *Lentinula edodes* (Shiitake) e *Pleurotus* sp. (Shimeji, cogumelo ostra) (ANPC, 2017).

Há muitos anos os fungos eram utilizados para o tratamento de feridas infecciosas, no entanto, foi em 1929 que essas substâncias receberam destaque, com a descoberta da Penicilina, com isso, deu-se início ao crescimento de pesquisas a fim de descobrir novas substâncias com atividade antimicrobiana, contra diversas bactérias e fungos e antiparasitárias (CARVALHO, 2007).

A tendência na exploração de compostos obtidos de fungos, como enzimas, proteínas e polissacarídeos, tem aumentado nos últimos anos, por serem substâncias que apresentam propriedades biotecnológicas (ALEXANDRE et al., 2010).

Os metabólitos secundários produzidos por Agaricomycetes apresentam grande importância e são aplicados na indústria alimentícia, na biorremediação e principalmente na indústria farmacêutica (ABREU et al., 2015). A composição desses metabólitos varia de enzimas, polissacarídeos, compostos fenólicos, entre outros e que podem atuar como substância antimicrobiana (HELENO et al., 2015; STAJIC et al., 2017). Como exemplo, fungos do gênero *Agaricus* que possui uma parede celular rica em β -glucanos e ácidos linoleicos que lhe confere ação antimicrobiana (SMIDERLE et al., 2013; AGATA; WLODZIMIERZ, 2017; BHUSHAN; KULSHRESHTHA, 2018).

Diante da vasta aplicabilidade dos agaricomycetos, pesquisadores buscam novos compostos para combater a resistência microbiana. A resistência microbiana adquirida pode ser definida quando bactérias, vírus, fungos e parasitas alteram-se ao longo do tempo e deixam de responder a medicamentos aos quais anteriormente eram susceptíveis (WHO, 2021).

A resistência microbiana é uma das maiores ameaças mundiais para a saúde pública, com várias patologias de origem microbiana, especialmente bacteriana. Estudos com patógenos de importância médica, como espécies de *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* e *Candida albicans* têm sido realizados na busca de resultados positivos com novos princípios (SILVA et al., 2010; CAVALCANTE et al., 2013; FERNANDES et al., 2021)

Staphylococcus aureus é uma bactéria patogênica que, frequentemente, acomete pacientes hospitalizados, se associando a morbidades e mortes. Pertence ao grupo dos cocos Gram-positivos que faz parte da microbiota humana, mas que pode provocar doenças que vão desde uma infecção simples, até as mais graves, como pneumonia, meningite, entre outras (SILVA et al., 2010).

Streptococcus pneumoniae é causadora de infecções comumente associadas a doenças respiratórias como pneumonia. Tal gênero engloba os cocos gram-positivos de maior importância em medicina humana e animal, por serem agentes etiológicos de patologias conhecidas e extensamente estudadas como é o caso da pneumonia (CAVALCANTE et al., 2013).

As bactérias *Escherichia coli* e *Klebsiella* spp. são bacilos Gram-negativo anaeróbios facultativos que habitam a flora intestinal e atuam como patógenos oportunistas importantes, capazes de causar numerosas infecções intra-abdominais, seja no homem ou em animais. A bactéria *E. coli* é a causa frequente de infecções do trato urinário (CAVALCANTE et al., 2013),

já as bactérias do gênero *Klebsiella* são causas importantes de pneumonia (ASSUNÇÃO et al., 2018).

O gênero *Candida* é responsável pela maioria das infecções fúngicas no ambiente hospitalar e constitui causa relevante de infecções de corrente sanguínea e candidíase vaginal (FERNANDES et al., 2021). Essas leveduras apresentam importância pela alta frequência de colonização no humano.

No Brasil, as pesquisas sobre antimicrobianos tem crescido exponencialmente, tendo em vista que a resistência microbiana frente aos fármacos existentes é um fator preocupante. As espécies de agaricomycetes, tais como *Calvatia rugosa*, *Leucoagaricus* sp., *Leucocoprinus venezuelanus*, *Psathyrella* sp., *Leucocoprinus* cf. *brebissonii*, *Simocybe tucumana*, *Xeromphalina tenuipes*, *Coprinopsis* sp., *Marasmius haematocephalus*, *Psathyrella candolleana*, *Pleurotus* sp., *Gloeophyllum* sp., *Earliella scabrosa*, *Trametes* sp., *Oudemansiella canarii*, *Oudemansiella cubensis*, *Tyromyces duracinus* são algumas espécies com potencial antimicrobiano descritas na literatura (ROSENBERGER, 2018; COSTA et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2021).

Há um vasto potencial biotecnológico e poucos estudos com objetivo a descoberta de novos compostos produzidos por Agaricomycetes, especialmente no Brasil, sendo a maior parte dos estudos com cogumelos comestíveis, cujas espécies são facilmente reconhecidas (LIMA, 2009).

Atividade enzimática

Enzimas são proteínas constituídas por longas cadeias de aminoácidos unidas por ligações peptídicas em uma sequência geneticamente determinada (SANTIAGO et al., 2021). As enzimas são produtos de alto valor agregado e com a introdução da biocatálise, numerosos processos foram comercializados a fim de gerar produtos relevantes no mercado (CHOI et al., 2015).

Em geral, são encontradas em vegetais, animais e microrganismos, porém no âmbito industrial, os microrganismos são as fontes preferenciais, pois são fáceis de controlar e manipular geneticamente, apresentam altas taxas de reprodução, fácil adaptação ao meio de cultivo, são mais estáveis, com produção econômica e exigindo menor necessidade de tempo e espaço (PORTER et al., 2016; SINGH et al., 2016; RAVEENDRAN et al., 2018).

Existem 510 enzimas de origem microbiana utilizadas comercialmente. Das enzimas industriais, 75% são hidrolíticas (VIGNESWARAN et al., 2014; LIU et al., 2017). As enzimas são divididas de acordo com o tipo de reação por elas realizada.

As lipases são biocatalisadoras que apresentam diversas aplicações, razão pela qual a sua participação no mercado mundial de enzimas industriais cresce exponencialmente (SANTIAGO et al., 2021). Estas enzimas catalisam a hidrólise total ou parcial de triacilglicerol em glicerol e ácidos graxos livres apresentando uma capacidade única de agir apenas na interface óleo/água (RAY, 2015). Uma das principais aplicações das lipases é no processamento de alimentos para a obtenção de ácidos graxos livres através das gorduras presentes nos alimentos (MEHTA et al., 2017). Estas enzimas podem ainda ser utilizadas na indústria farmacêutica, no tratamento de efluentes e na produção de biodiesel (CARVALHO et al., 2003; MEHTA et al., 2017). Exemplos de Basidiomycetes produtores de lipases são: *Antrodia cinnamomea*, *Bjerkandera adusta*, *Grifola frondosa*, *Phellinus igniarius*, *Laetiporus sulphureus*, *Ganoderma lucidum*, *Hericiium erinaceus* (LIN; KO, 2005; BANCERZ; GINALKA 2007; KRUPODOROVA et al., 2014).

A celulose é um polímero linear, que contém cerca de 15 mil unidades de D-glicose unidas por ligações glicosídicas na forma β -1,4. Tais cadeias individuais estabelecem ligações de hidrogênio tornando-a rígida (SANTIAGO et al., 2021). Afim de degradar estas moléculas, os microrganismos produzem uma mistura de enzimas denominadas celulasas. Estas enzimas agem coletivamente e apresentam elevada especificidade para romper as ligações glicosídicas β -1,4 (CASTRO et al., 2010). As principais aplicações da celulase são na fabricação de biocombustíveis, papel, alimentos, bebidas, detergentes e ração animal (KAPOOR et al., 2016). Alguns exemplos de agaricomycetos produtores de celulase são *Tyromyces palustris*, *Fomitopsis* sp., *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Agaricus arvensis*, *Pleurotus ostreatus*, *Phlebia gigantean* (KUHAD et al., 2011)

As amilases consistem em um grupo de hidrolases que catalisam a quebra do amido em unidades de dextrina, maltose e glicose (SIMAIR et al., 2017). Para o processamento enzimático do amido ocorrer, são necessárias temperaturas elevadas, utilizando enzimas termoestáveis. As principais aplicações das amilases estão relacionadas à produção de adoçantes, xaropes, detergentes, etanol, acetona e ácido lático (CHRISTOPHER; KUMBALWAR, 2015; WANG et al., 2016). Alguns agaricomycetos produtores de amilases são *Daedalea* sp., *Pycnoporus sanguineus*, *Trametes* sp., *Ganoderma* sp., *Stereum* sp.,

Agrocybe aegerita, *Coprinus comatus*, *Fomitopsis pinicola* (SOUZA et al., 2008; KRUPODOROVA et al., 2014).

As proteases realizam vários processos fisiológicos através do controle da síntese e degradação de proteínas, catalisando a hidrólise de aminoácidos específicos dentro de polipeptídeos. As principais atuações das proteases são na produção de detergentes, fabricação de cerveja, carne, laticínios, processamento de alimentos, couro, ração animal, e produtos farmacêuticos (KAPOOR et al., 2016; DA SILVA BRAGA, 2020). As vendas de proteases representam mais de 60% de todas as vendas de enzimas industriais no mundo e ainda constituem o melhor segmento de produtos no mercado global de enzimas industriais (GAETE et al., 2020, ARAUJO et al., 2020). A produção de proteases tem sido evidenciada por diferentes espécies de agaricomycetos como *Lentinus villosus*, *Lentinus citrinus*, *Lentinus edodes*, *Pleurotus albidus*, *Piptoporus betulinus*, *Laetiporus sulphureus* e *Termitomyces clypeatus* (KIRSCH et al., 2013; MAJUMDER et al., 2014; KRUPODOROVA et al., 2014; MARTIM et al., 2017; MAGALHÃES et al., 2019; DA SILVA BRAGA, 2020).

A identificação de microrganismos potenciais produtores de enzimas é essencial para garantir o abastecimento aos processos industriais (SANTOS et al., 2020).

O Bioma Amazônico apresenta alto potencial para a busca de novos extratos enzimáticos a serem explorados para a aplicação biotecnológica, pois oferece uma riqueza imensurável em biodiversidade fúngica (HARMS et al., 2011; ELISASHVILI, 2012; FONSECA, 2013; PEREIRA et al., 2017).

3. REFERÊNCIAS

AGATA, R.; WŁODZIMIERZ, G. Composition and biological properties of *Agaricus bisporus* fruiting bodies: a review. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 67, n. 3, p. 173-182, 2017.

ALEXANDRE, S. M. A. **Polissacarídeos da biomassa do basidiomiceto *Rhizoctonia solani*: extrato e purificação**. 2010. 92 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de São José do Rio Preto, 2010.

AMAZON, C. et al. Produção em matriz sólida e caracterização parcial das proteases de cogumelo comestível da Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Tecnologia**, v. 8, n. 1, p. 1227-1236, 2014.

AZEVEDO, E.; BARATA, M. Diversidade no reino Fungi e aplicações à Indústria. **Ciência Elementar**, v. 6, n. 4, p. 1-7, 2018.

BAÑARES-BAUDET, Á.; BELTRÁN-TEJERA, E. Agaricales de alta altitude do Parque Nacional do Teide (Ilhas Canárias, Espanha). **Nova Hedwigia**, v. 1, n. 2, p. 49-63, 2014.

BANCERZ, R.; GINALSKA, G. A novel thermostable lipase from *Basidiomycete Bjerkandera adusta* R59: characterisation and esterification studies. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 553-560, 2007.

BARBOSA, C. S. et al. Genome sequence and effectoroma of the subpopulations *Moniliophthora perniciosa* and *Moniliophthora roreri*. **BMC genomics**, v. 19, no. 1, p. 1-12, 2018.

BHUSHAN, A.; KULSHRESHTHA, M. The Medicinal Mushroom *Agaricus bisporus*: Review of phytopharmacology and potential role in the treatment of various diseases. **Journal of Nature and Science of Medicine**, v. 1, n. 4, p. 4-9, 2018.

BLACKWELL, M. The Fungi: 1, 2, 3, 5.1 million species? **American Journal of Botany**, v. 98, n. 3, p. 426-438, 2012.

BONONI, V.L.R. Fungos macroscópicos de Rio Branco, Acre, Brasil. **Hoehnea**, v. 19, n. 2, p. 31-37, 1992.

CARVALHO, P. O. et al. Aplicação de lipases microbianas na obtenção de concentrados de ácidos graxos poliinsaturados. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 75-80, 2003.

CARVALHO MP, et al. Investigation of the antibacterial activity of basidiomycetes *Lentinula boryana* and *Lentinula edodes*. **Biociências**. v. 15, n. 2, p. 173-9, 2007.

CASTRO, A. M. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 181-188, 2014.

CASTRO, A. M.; PEREIRA J. R. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 181-188, 2010.

CAVALCANTE, F. S. et al. A riqueza de macrofungos no Sudoeste da Amazônia, Brasil. In: Biodiversidade e Biotecnologia no Brasil, **Stricto Sensu**, 2020.

CAVALCANTE, G. M. et al. Atividade antimicrobiana de *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Moraceae) sobre o desenvolvimento de *Streptococcus pneumoniae* e *Escherichia coli*, **Scientia Plena**, v. 9, n. 2, p. 1-7, 2013.

CASTRO, M. T. Micodiversidade Associada a Árvores de *Copaifera langsdorffii* Desf. em Brasília, Distrito Federal. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p.256-61, 2015.

CHOI, J. M. et al. Industrial applications of enzyme biocatalysis: Current status and future aspects. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 7, p. 1443-1454, 2015.

CHRISTOPHER, N.; KUMBALWAR, M. Enzymes used in Food Industry: A Systematic Review. **International Journal of Inovative Research in Science Engineering and Technology**, v. 4, n. 10, p. 9830-9836, 2015.

CORRÊA, R. C. G. et al. Endophytic fungi: expanding the arsenal of industrial enzyme producers. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 41, n. 10, p. 1467-1478, 2014.

COSTA, M. R. L.; SANTOS, G. S.; CARVALHO, C. M. Occurrence and antimicrobial activity of Agaricomycetes of the state of Acre, Brazil. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**. v. 8, n. 2, p. 202-216, 2021.

DA SILVA BRAGA, R. et al. *Lentinus villosus* Klotzsch (1833) AM 169: uma fonte natural e renovável de protease alcalina. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 6, n. 11, p. 85867-85883, 2020.

DE ARAÚJO, F. S. et al. Estudo das condições de pH e temperatura para máxima atividade de protease de *Aspergillus oryzae* NRRL 1911. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3077-3091, 2020.

ELISASHVILI, V. Submerged cultivation of medicinal mushrooms: bioprocesses and products (Review). **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 14, n. 3, p. 211- 239, 2012.

FERNANDES, K. M. et al. Evaluation of the activity of antimicrobials commonly used in the hospital network of Manaus against human pathogens. **Brazilian Journal of Development**. v. 7, n. 8, p. 76520-76536, 2021.

FONSECA, T. R. B. *Pleurotus ostreatoroseus* DPUA 1729: **Avaliação do crescimento, produção de basidioma e determinação da atividade proteolítica em resíduos agroindustriais**. (2013) 97 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia). Universidade Federal do Amazonas (UFAM) - Instituto de Ciências Biológicas, Manaus, 2013.

GAETE, A. V. et al. Utilização de resíduos agroindustriais para produção de celulase: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. 1-33, 2020.

GOMES-SILVA, A. C.; GIBERTONI, T. B. Checklist of the Aphyllophoraceous fungi (Agaricomycetes) of the Brazilian Amazonia. **Mycotaxon**, v. 108, n. 1, p. 319-322, 2009.

HARMS, H. D. S.; LUKAS Y. W. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, n. 3, p. 177-192, 2011.

HAPUARACHCHI, K. K. et al. Current status of global Ganoderma cultivation, products, industry and market. **Mycosphere**, v. 9, n. 5, p. 1025-1052, 2018.

HAWKSWORTH, D.L.; LÜCKING R. Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. **Microbiology spectrum**, v. 5, n. 4, p. 79-95, 2017.

HE, M. Q. et al. Notes, outline and divergence times of Basidiomycota. **Fungal Diversity**, v. 1, n. 99, p. 105-367, 2019.

HELENO, S. A. et al. Nutritional value, bioactive compounds, antimicrobial activity and bioaccessibility studies with wild edible mushrooms. **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 799-806, 2015.

HYDE, K. D. et al. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. **Fungal Diversity**, v. 97, n. 1, p. 1-136, 2019.

ISHIKAWA, N. K. et al. Macrofungos da Amazônia: Importância e Potencialidades. **Ciência e Ambiente**, v. 44, n. 1, p. 130-139, 2012.

KAPOOR, M. et al. Bioprocesses for enzyme production using agro-wastes: technical challenges and commercialization potencial. Agroindustrial wastes as feedstock for enzymes production. **Chapter**, v. 3, n. 1, p. 61-93, 2016.

KHATUN, M. A. et al. Obesity preventive function of novel edible mushroom, Basidiomycetes-X (*Echigoshirayukidake*): Manipulations of insulin resistance and lipid metabolism. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v. 10, n. 1, p. 254-251, 2020.

KIRK P. M. et al. Dictionary of the fungi. 9^a ed. Wallingford: **CABI**, 2001.

KIRK P. M. et al. Dictionary of the fungi. 10^a ed. Wallingford: **CABI**, 2008.

KIRSCH, L. S. et al. Mycelial biomass and biochemical properties of proteases produced by *Lentinus citrinus* DPUA 1535 (Higher Basidiomycetes) in Submerged Cultivation. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 15, n. 5, p. 505-515, 2013.

KRUPODOROVA, T. et al. Triagem da atividade enzimática extracelular de macrofungos. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 3, n. 4, p. 315-318, 2014.

KUHAD, R. C.; GUPTA, R.; SINGH, A. Microbial cellulases and their industrial applications. **Enzyme research**, v. 2011, n.1, p. 1-10, 2011.

LIMA, M. A. **Potencial biotecnológico de basidiomicetos isolados no estado do Paraná**. 2009. 93f. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2009.

LIN, E. S.; KO, H. C. Glucose stimulates production of the alkaline-thermostable lipase of the edible Basidiomycete *Antrodia cinnamomea*. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 37, n. 1, p. 261-265, 2005.

LIRA, C. R. S. **Diversidade de Agaricomycetes lignocelulolíticos (Basidiomycota) em áreas do Sertão de Pernambuco**. (2012) 72 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos do Departamento de Micologia do Centro de Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

LIU, X.; KOKARE, C. Microbial enzymes of use in industry. **Biotechnology of microbial enzymes: Production, biocatalysis and industrial applications**, v.1, n.1, p. 267-298, 2017.

MAGALHÃES, A. A. S. et al. Produção e caracterização de enzimas proteolíticas de *Lentinus crinitus* (L.) Fr. 1825 DPUA 1693 do Bioma Amazônico (Polyporaceae). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 14, n. 3, p. 453-461, 2019.

MAIA, L. C. et al. Diversity of Brazilian fungi. **Rodriguésia**, v. 66, n. 1, p. 1033-1045, 2015.

MAJUMDER, R. et al. Bioremediation by alkaline protease (AkP) from edible mushroom *Termitomyces clypeatus*: optimization approach based on statistical design and characterization for diverse applications. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 90, n. 10, p.1886-1896, 2014.

MANZATO, B. L. et al. Diversidade de basidiomicetos macroscópicos em áreas de reflorestamento de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, p. 3305, 2020.

MARTIM, S. R. et al. *Pleurotus albidus*: A new source of milk-clotting proteases. **African Journal of Microbiology Research**, v. 11, n. 17, p. 660-667, 2017.

MATTOS, J. L. H. **Bioprospecção de macrofungos da classe Basidiomycetes da floresta nacional Mário Xavier em Seropédica- RJ**. 2020. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2020.

MEHTA, A. et al. Fungal lipases: a review. **Journal of Biotech Research**. v. 8, n. 1, p. 58-77, 2017.

MIZERSKA-DUDKA, M. et al. Fungus *Cerrena unicolor* as an effective source of new antiviral, immunomodulatory, and anticancer compounds. **International journal of biological macromolecules**, v. 79, n. 1, p. 459-468, 2015.

MOTATO-VÁSQUEZ, V. et al. Polypores from an Atlantic rainforest area in southeast Brazil: pileate species. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 38, n. 1, p. 149-164, 2014.

NIYONZIMA, F. N.; MAIS, S. Proteases compatíveis com detergentes: produção microbiana, propriedades e análise de remoção de manchas. **Bioquímica e Biotecnologia Preparativa**, v. 45, n. 3, p. 233-258, 2015.

OLIVEIRA K. K. C. et al. Effect of photoexposure on antimicrobial activity of Amazonian basidiomycetes. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. 1-9, 2021.

PEREIRA, J. O. et al. Over view on Biodiversity, Chemistry, and Biotechnological Potencial of Microorganisms from the Brazilizan Amazon. In: AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics. **Springer Internacional Publishing AG**, 2017.

PORTER, J. L. et al. Directed Evolution of Enzymes for Industrial Biocatalysis. **ChemBioChem**, v. 17, n. 3, p. 197-203, 2016.

PUTZKE, J.; PUTZKE, M. T. L. Cogumelos (fungos Agaricales) encontrados no Brasil: famílias Agaricaceae, Amanitaceae, Bolbitiaceae, Coprinaceae/Psathyrellaceae, Crepidotaceae, Entolomataceae e Hygrophoraceae. v. 1. Santa Cruz do Sul, **Lupa Graf**. 2017. 521 p.

RAVEENDRAN, S. et al. Applications of microbial enzymes in food industry. **Food Technology and Biotechnology**, v. 56, n. 1, p.16-30, 2018.

RAY, S. Application of extracellular microbial lipase: a review. **International Journal of Reseaarch Biochemistry and Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 6-12, 2015.

REN, L. et al. Antibacterial and antioxidant activities of aqueous extracts of eight mashrooms. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 3, n. 1, p. 41-51, 2014.

ROSENBERGER, M. G. **Atividade antimicrobiana de cogumelos (Agaricales) nativos da floresta estacional do oeste do Paraná**. (2018). 101 f. Dissertação (Pós-Graduação em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba,2018.

SANTIAGO, P. A. L. et al. Avaliação enzimática e morfológica de fungos associados a um basidiomiceto da Região Amazônica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 9831-9850, 2021.

SANTOS, G. S, PETERS, L. P, CARVALHO, C. M. Study of antibacterial activity of Amazonian Agaricomycetes mushrooms from Brazil. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 22, n. 6, p. 573-80, 2020.

SANTOS, I. R. et al. Production and characterization of amylase obtained from *Rhizopus microsporus* var. *oligosporus*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-13, 2020.

SELVAKUMAR, P. et al. Biosynthesis of glucoamylase from *Aspergillus niger* by solid-state fermentation using tea waste as the basis of a solid substrate. **Bioresource Technology**, v. 85, n. 1, p. 65-83, 1998.

SILVA, B. D. B. **Estudos sobre fungos Gasteroides (Basidiomycota) no Nordeste Brasileiro**. 2013. Tese (Doutorado em Biologia de Fungos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SILVA, C. G. et al. Macrofungos da Área de Proteção Ambiental Lago do Amapá e novas ocorrências para o Estado Acre. In: Biodiversidade e Biotecnologia no Brasil, **Stricto Sensu**, 2020.

SILVA, V. A. et al. Avaliação in vitro da atividade antimicrobiana do extrato da *Lippia sidoides* Cham. sobre isolados biológicos de *Staphylococcus aureus*. **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 12, p. 452-455, 2010.

SILVA, L. S. C. et al. Comparação entre processos de fermentação na produção de enzimas por cogumelos comestíveis. OLIVEIRA, L. A.; FERNANDES, O. C.; JESUS, M. A.; BENTES, J. L. S.; ANDRADE, S. L.; SOUZA, A. Q. L.; SANTOS, C. Diversidade Microbiana da Amazônia. Manaus: **INPA**, 2016. p. 361-365.

SILVEIRA, V. D. Micologia. 5. ed. Rio de Janeiro: **Âmbito Cultural**, 1995.

SIMAIR, A. A. et al. Production and Partial Characterization of α -Amylase Enzyme from *Bacillus* sp. BCC 01-50 and Potential Applications. **BioMed Research International**, v. 2017, n. 1, p. 1-9, 2017.

SINGH, R. et al. Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. **3 Biotech**, v. 6, n. 2, p. 1-15, 2016.

SIVANANDHAN, Subramaniam et al. Biocontrol properties of basidiomycetes: An overview. **Journal of fungi**, v. 3, n. 1, p. 2, 2017.

SMIDERLE, F. R. et al. *Agaricus bisporus* and *Agaricus brasiliensis* (1 \rightarrow 6)- β -d-glucans show immunostimulatory activity on human THP-1 derived macrophages. **Carbohydrate polymers**, v. 94, n. 1, p. 91-99, 2013.

SOARES, A. M. S. et al. Riqueza de fungos poliporoides (Agaricomycetes, Basidiomycota) em uma Floresta Ombrófila densa no Amapá, Amazônia Brasileira. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, v. 35, n. 1, p. 5-18, 2014.

SOUZA, H. Q. et al. Seleção de Basidiomycetes da Amazônia para produção de enzimas de interesse biotecnológico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 116-124, 2008.

SRILAKSHMI, J. et al. Commercial potential of fungal protease: past, present and future prospects. **J Pharm Chem Biol Sci**, v. 2, n. 4, p. 218-234, 2015.

STAJIC, M. et al. Mushrooms as potent sources of new biofungicides. **Current Pharmaceutical Biotechnology**, v. 18, n. 13, p. 1055-1066, 2017.

TELLES, C. B. S. Análises estruturais e atividades biológicas de exopolissacarídeo extraído do fungo comestível *Pleurotus sajor-caju* e de seu derivado sulfatado quimicamente. (2010) 93 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

THEURETZBACHER, U. Global antibacterial resistance: The never-ending story. **Journal of Global Antimicrobial Resistance**, v. 1, n. 1, p. 63-69, 2013.

URBEN, A. F. et al. Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada. 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, 2004.

VIGNESWARAN, C. et al. Industrial enzymes. Bioprocessing of textiles. Fundamentals for applications and research perspective, **Chapter**, v. 2, n. 1, p 23-52. 2014.

WANG, S. et al. Characterization of a starch-hydrolyzing α -amylase produced by *aspergillus niger* WLB42 mutated by ethyl methanesulfonate treatment. **International Journal of Biochemistry and Molecular Biology**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2016.

WARTCHOW, F; TEIXEIRA-SILVA, M.; RIBEIRO, M.J.; RIBEIRO, S.A.L. Two *Oudemansiella* from a forest fragment in Southwestern Amazonia. **Mycosphere**, v. 5, n. 1, p. 172-178, 2014.

World Health Organization. **Antimicrobial Resistance** [Internet]. Geneva: WHO; 2021. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/antimicrobial-resistance>.

XU, X. Production of specific-structured triacylglycerols by lipase-catalyzed reactions: a review. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 102, n. 287, 2000.

4. OBJETIVOS

4.1 Geral

Avaliar a atividade antimicrobiana e enzimática de fungos Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.

4.2 Específicos

- ✓ Relatar as ocorrências, atividade antimicrobiana e enzimática de fungos Agaricomycetes no Sudoeste Amazônico;
- ✓ Descrever a ocorrência de fungos Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil;
- ✓ Avaliar a atividade antimicrobiana de fungos Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil;
- ✓ Analisar a produção das enzimas hidrolíticas de fungos Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.

Artigo submetido na revista International Journal of Medicinal Mushrooms.

OCCURRENCE, BIOLOGICAL AND ENZYMATIC ACTIVITIES OF AGARICOMYCETES FROM THE BRAZILIAN AMAZON – A SYSTEMATIC REVIEW

Maria Rosiane Lima da Costa^{1*}; Leila Priscila Peters^{1,2}; Clarice Maia Carvalho^{1,3*}.

1. Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para Amazônia, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Acre, Brasil;
2. Centro de Ciências da Saúde e Desporto, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Acre, Brasil;
3. Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Acre, Brasil.

Autor correspondente: *rosyannelima28@gmail.com; *claricemaiacarvalho@gmail.com

ABSTRACT

Agaricomycetes are fungi that have a variety of shapes, textures and colors and play important roles in nature, such as nutrient cycling, in addition to acting in the decomposition of organic matter through the production of secondary metabolites. These fungi are highlighted for producing a variety of compounds and enzymes with nutritional and medicinal properties. However, the knowledge of the diversity of this group of fungi is still insufficient, as well as their biological and enzymatic activities. Thus, the objective of this work is to describe the occurrence, biological and enzymatic activities of Agaricomycetes from the Brazilian Amazon. The present study is a systematic review with the literature search done in the following databases: Scielo, Google Scholar, PubMed and ScienceDirect. The descriptors used were: Basidiomycota, Agaricomycetes, Mushroom, antimicrobial activity, antitumor activity, antioxidant activity, anti-inflammatory activity, immunomodulator, enzymatic activity and Brazilian Amazon. We used as inclusion criteria articles in Portuguese and English, published between 2010 and 2021 and that had the full text available and presented relevance to the exposed topic, and as exclusion criteria, works not done in the Brazilian Amazon, duplicate articles in the databases search or outside the topic under study. A total of 40 articles, published between 2010 and 2021, were selected for analysis. 253 species of Agaricomycetes fungi were described for the Brazilian Amazon, with the most frequent orders being Polyporeles (52.96%),

Hymenochetales (15.81%) and Agaricales (12.64%). Six studies were found on antimicrobial activity for promising Agaricomycete fungi against the bacteria *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* and the fungi *Candida albicans*, *Candida parapsilosis* and *Candida tropicalis*. For the antioxidant activity, a study described the species *Lentinus citrinus* with high amounts of antioxidant compounds. For enzymatic activity, five studies reported Agaricomycete fungi producing protease, cellulase, amylase, pectinase, laccase and xylanase enzymes. This review shows the scarcity of studies on the description and technological potential of Agaricomycetes from the Brazilian Amazon, highlighting the need to encourage the study of this group of organisms.

Keywords: antimicrobial, mushroom, Polyporales, protease.

INTRODUCTION

Agaricomycetes are fungi that have a wide variety of shapes, textures and colors and play important roles in nature, such as maintaining ecosystems, ensuring the cycling of nutrients, in addition to acting in the decomposition of organic matter through the production of primary and secondary metabolites.¹

They have a wide distribution in the Brazilian territory and although the literature presents works that approach the diversity of Agaricomycetes in the North,^{2,3} South,⁴ Southeast,^{5,6} North East⁷ and Midwest⁸. However, knowledge of the diversity of this class is still insufficient, as well as studies on biological and enzymatic activity.

Such fungi stand out for producing a variety of compounds with nutritional and medicinal properties, showing anti-inflammatory,⁹ antioxidant,¹⁰ immunomodulatory,¹¹ antitumor,¹² antiparasitic¹³ and antimicrobial,¹⁴ which may be able to inhibit microorganisms that are resistant to common antibiotics.¹⁵

In addition to the compounds already mentioned, Agaricomycetes are producers of enzymes, such as amylases, cellulases, proteases and lipases, which have advantages for large-scale production, with potential application in the replacement of conventional chemical

processes and of industrial interest, also presenting uses in the environmental recovery, working in the recycling of agricultural and agro-industrial residues.¹⁶

Thus, the objective of this work was to review the occurrence, biological and enzymatic activities of Agaricomycetes from the Brazilian Amazon.

MATERIAL AND METHODS

The present study is a systematic review with the literature search done in the following databases: Scielo, Google Scholar, PubMed and Science Direct. The descriptors used were: Basidiomycota, Agaricomycetes, mushroom, antimicrobial activity, antitumor activity, antioxidant activity, anti-inflammatory activity, immunomodulatory, enzymatic activity and Brazilian Amazon.

The study included articles in Portuguese and English, published between 2010 and 2021, as well as articles that had the full text available and were relevant to the exposed topic. The exclusion criteria were: work not done in the Brazilian Amazon, duplication of articles when found in more than one search base and outside the topic under study.

RESULTS

A total of 16,686 articles were found in the Google Scholar database, 10 in PubMed, 333 in Science Direct and 4 in Scielo. Applying the inclusion and exclusion criteria, a total of 40 articles published between 2010 and 2021 were selected for analysis (Figure 1). All works were organized by descriptors and database (Table 1).

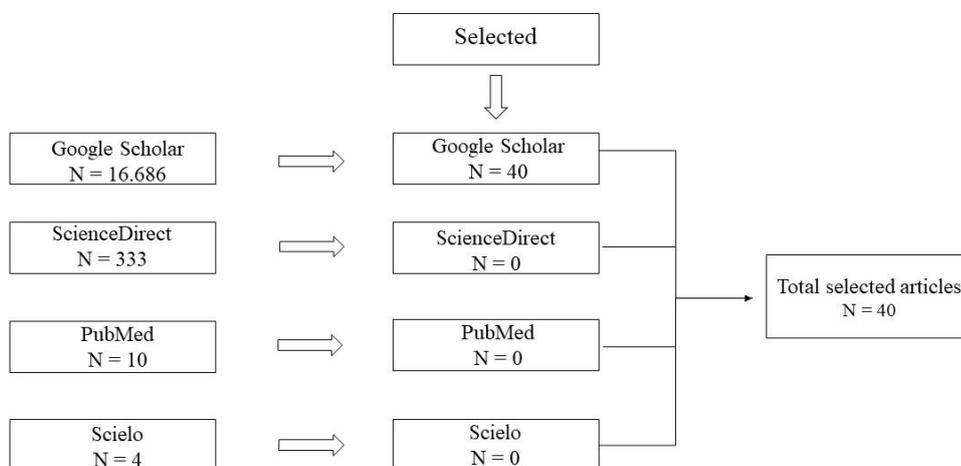


Figure 1. Total number of articles selected for systematic review of occurrence, biological and enzymatic activities of Agaricomycetes from the Brazilian Amazon.

Table 1. List of descriptors and database used to search for occurrence, biological and enzymatic activities of Agaricomycetes in the Brazilian Amazon.

Descriptor	Google Scholar	Science Direct	PubMed	Scielo
Basidiomycota + Brazilian Amazon	1.330	38	4	2
Agaricomycetes + Brazilian Amazon	443	9	0	1
Mushroom + Brazilian Amazon	7.880	213	6	1
Antimicrobial activity + Brazilian Amazon + Basidiomycota	1.610	8	0	0
Antimicrobial activity + Brazilian Amazon + Agaricomycetes	273	2	0	0
Antitumoral activity + Brazilian Amazon + Basidiomycota	571	0	0	0
Antitumoral activity + Brazilian Amazon + Agaricomycetes	117	0	0	0
Antioxidant activity + Brazilian Amazon + Basidiomycota	822	5	0	0
Antioxidant activity + Brazilian Amazon + Agaricomycetes	155	1	0	0
Anti inflammatory activity + Brazilian Amazon + Basidiomycota	433	0	0	0
Anti inflammatory activity + Brazilian Amazon + Agaricomycetes	80	0	0	0
Immunomodulator + Brazilian Amazon + Basidiomycota	186	0	0	0
Immunomodulator + Brazilian Amazon + Agaricomycetes	41	0	0	0
Enzymatic activity + Brazilian Amazon + Agaricomycetes	425	1	0	0
Enzymatic activity + Brazilian Amazon + Basidiomycota	2.320	11	0	0
Total	16.686	333	10	4

Of the 40 articles selected, 26 (65%) were related to the description of 253 species of Agaricomycetes distributed in 11 orders: Polyporeles (52.96%), Hymenochetales (15.81%), Agaricales (12.64%), Geastreales (5.92%), Russulales (4.34%), Phalalles (3.16%), Boletales (1.58%), Corticiales (0.79%), Auriculariales (0.39%), Dacrymycetales (0, 39%) and Cantharellales (0.39%) (Figure 2). There were still four species reported with uncertainty of identification, corresponding to 1.58% of the data collected (Table 2).

Table 2. List of Agaricomycetes species from the Brazilian Amazon reported in the literature.

Order	Species	Reference
Polyporales 52.96%	<i>Abundisporos rosealbus</i>	Soares et al., 2014 ³ Xavier et al., 2018 ¹⁷
	<i>Abundisporus violaceus</i>	Medeiros et al., 2015 ¹⁸
	<i>Amauroderma boleticeum</i>	Soares et al., 2014
	<i>Amauroderma calcigenum</i>	Soares et al., 2014
	<i>Amauroderma camerarium</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Amauroderma exile</i>	Soares et al., 2014
	<i>Amauroderma intermedium</i>	Soares et al., 2014 Xavier et al., 2018
	<i>Amauroderma omphalodes</i>	Soares et al., 2014
	<i>Amauroderma partitum</i>	Soares et al., 2014
	<i>Amauroderma praetervisum</i>	
	<i>Amauroderma schomburgkii</i>	Xavier et al., 2018 Soares et al., 2014
	<i>Amauroderma sprucei</i>	Soares et al., 2014
	<i>Amauroderma trichodermatum</i>	Cavalcante et al., 2019 ¹⁹
	<i>Amauroderma subrugosum</i>	
	<i>Antrodiella murrillii</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Ceriporia amazônica</i>	
	<i>Ceriporia purpúrea</i>	
	<i>Ceriporia xylostromatoides</i>	
	<i>Corioloopsis brunneoleuca</i>	Xavier et al., 2018 Soares et al., 2014
	<i>Corioloopsis byrsina</i>	Soares et al., 2014
	<i>Corioloopsis caperata</i>	Medeiros et al., 2015 Soares et al., 2014
	<i>Corioloopsis floccosa</i>	Costa et al., 2021 ²⁰ Medeiros et al., 2015 Soares et al., 2014
	<i>Corioloopsis psila</i>	
	<i>Corioloopsis hostmannii</i>	Medeiros et al., 2015
	<i>Daedalea dochmia</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Datronia mollis</i>	Cavalcante et al., 2019
	<i>Dichomitus amazonicus</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Dichomitus campestris</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Dichomitus cavernulosus</i>	Soares et al., 2014
	<i>Diplomitoporus allantosporus</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Earliella scabrosa</i>	Soares et al., 2014 Xavier et al., 2018
	<i>Echinochaete brachypora</i>	Medeiros et al., 2015 Soares et al., 2014
	<i>Favolus brasiliensis</i>	Medeiros et al., 2015
	<i>Favolus tenuiculus</i>	Pinto et al., 2020 ²¹ Xavier et al., 2018
	<i>Flaviporus hydrophilus</i>	Medeiros et al., 2015 Costa et al., 2021 Xavier et al., 2018 Soares et al., 2014
	<i>Flaviporus liebmannii</i>	Medeiros et al., 2015 Xavier et al., 2018 Soares et al., 2014
	<i>Fomes extensus</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Fomes fasciatus</i>	Soares et al., 2014
	<i>Fomitella supina</i>	
	<i>Fomitopsis cupreorosea</i>	
	<i>Fomitopsis roseoalba</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Fomitopsis scalaris</i>	
	<i>Funalia áspera</i>	
	<i>Funalia caperata</i>	
	<i>Ganoderma amazonense</i>	Gomes-Silva et al., 2011 ²²
	<i>Ganoderma australe</i>	Gomes-Silva et al., 2011 Xavier et al., 2018
	<i>Ganoderma citriporum</i>	Medeiros et al., 2015
<i>Ganoderma colossos</i>	Gomes-Silva et al., 2011	
<i>Ganoderma multiplicatum</i>	Gomes-Silva et al., 2011 Soares et al., 2014	
<i>Ganoderma orbiforme</i>	Gomes-Silva et al., 2011 Xavier et al., 2018	

<i>Ganoderma parvulum</i>	Soares et al., 2014
<i>Ganoderma resinaceum</i>	Gomes-Silva et al., 2011
<i>Ganoderma stipitatum</i>	Xavier et al., 2018
	Gomes-Silva et al., 2011
	Medeiros et al., 2015
<i>Ganoderma tornatum</i>	Soares et al., 2014
<i>Ganoderma zonatum</i>	Gomes-Silva et al., 2011
<i>Grammothele fuligo</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
<i>Grammothele lineata</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
<i>Grammothele subargentea</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
<i>Gloeporus theleporoides</i>	Costa et al., 2021
<i>Haddowia longipes</i>	Gomes-Silva et al., 2011
	Soares et al., 2014
<i>Hexagonia hydroides</i>	Cavalcante et al., 2019
	Soares et al., 2014
<i>Hexagonia papyracea</i>	Medeiros et al., 2015
	Soares et al., 2014
	Medeiros et al., 2015
	Costa et al., 2021
<i>Hexagonia variegata</i>	Medeiros et al., 2015
<i>Humphreya coffeata</i>	Soares et al., 2014
	Gomes-Silva et al., 2011
<i>Junghuhnia carneola</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
<i>Junghuhnia subundata</i>	Soares et al., 2014
	Xavier et al., 2018
<i>Leiotrametes lactinea</i>	Xavier et al., 2018
<i>Lentinus swartzii</i>	
<i>Lentinus crinitus</i>	
<i>Lentinus berteroi</i>	Cavalcante et al., 2019
<i>Lenzites elegans</i>	
<i>Loweporus tephroporus</i>	Soares et al., 2014
<i>Megasporoporia setulosa</i>	Xavier et al., 2018
<i>Megasporoporiella cavernulosa</i>	
<i>Microporellus delbatus</i>	Soares et al., 2014
<i>Microporellus obovatus</i>	Soares et al., 2014
	Xavier et al., 2018
	Medeiros et al., 2015
<i>Navisporus sulcatus</i>	Xavier et al., 2018
<i>Nigrofomes melanoporus</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
	Medeiros et al., 2015
<i>Nigroporus rigidus</i>	Soares et al., 2014
<i>Nigroporus vinosus</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
	Medeiros et al., 2015
<i>Pachykytospora alabamae</i>	Xavier et al., 2018
<i>Panus cf. similis</i>	
<i>Panus velutinus</i>	
<i>Panus strigellus</i>	
<i>Perenniporia medulla-panis</i>	
<i>Perenniporia aurantiaca</i>	Soares et al., 2014
<i>Perenniporia brasiliensis</i>	Xavier et al., 2018
<i>Perenniporia centrali-africana</i>	
<i>Perenniporia contraria</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
<i>Perenniporia cremeopora</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
<i>Perenniporia inflexibilis</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
	Medeiros et al., 2015
<i>Perenniporia martii</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
	Medeiros et al., 2015
<i>Perenniporia parvispora</i>	Xavier et al., 2018
<i>Perenniporia ohioensis</i>	Medeiros et al., 2015
<i>Perenniporia roseoisabellina</i>	Xavier et al., 2018
	Soares et al., 2014
	Medeiros et al., 2015
<i>Perenniporia sprucei</i>	Soares et al., 2014
	Medeiros et al., 2015
<i>Perenniporia stipitata</i>	Xavier et al., 2018

		Soares et al., 2014
		Medeiros et al., 2015
	<i>Polyporus arcularius</i>	Da Silva Soares et al., 2014
	<i>Polyporus dictyopus</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
		Medeiros et al., 2015
	<i>Polyporus grammacephalus</i>	Soares et al., 2014
	<i>Polyporus guianensis</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Polyporus ianthinus</i>	
	<i>Polyporus leprieurii</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
		Medeiros et al., 2015
		Cavalcante et al., 2019
	<i>Polyporus tenuiculus</i>	
	<i>Polyporus tricholoma</i>	
	<i>Porogramme albocincta</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Pycnoporus sanguineus</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Pyrofomes lateritius</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Rigidoporus amazonicus</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Rigidoporus biokoensis</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
		Medeiros et al., 2015
	<i>Rigidoporus lineatus</i>	Soares et al., 2014
		Medeiros et al., 2015
	<i>Rigidoporus microporus</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
		Medeiros et al., 2015
	<i>Rigidoporus ulmarius</i>	Soares et al., 2014
	<i>Rigidoporus undatus</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Rigidoporus vincetus</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Tinctoporellus epimiltinus</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Trametes cotonea</i>	Medeiros et al., 2015
		Soares et al., 2014
	<i>Trametes cubensis</i>	Medeiros et al., 2015
		Soares et al., 2014
	<i>Trametes elegans</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Trametes lactinea</i>	Medeiros et al., 2015
		Soares et al., 2014
	<i>Trametes membranacea</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Tametes máxima</i>	Medeiros et al., 2015
	<i>Trametes modesta</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
		Medeiros et al., 2015
	<i>Trametes nivosa</i>	Costa et al., 2021
		Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Trametes psila</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Trametes supermodesta</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Trichaptum byssogenum</i>	Soares et al., 2014
	<i>Trichaptum griseofuscum</i>	
	<i>Trichaptum perrottetii</i>	Medeiros et al., 2015
		Soares et al., 2014
	<i>Trichaptum sector</i>	Medeiros et al., 2015
		Soares et al., 2014
	<i>Trichaptum sprucei</i>	Medeiros et al., 2015
	<i>Trulla dentipora</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Trulla meridae</i>	
Hymenochaetales	<i>Coltricia barbata</i>	Xavier et al., 2018
15.81%		Soares et al., 2014
	<i>Coltricia hamata</i>	Soares et al., 2014
	<i>Fomitiporella cavicola</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Fomitiporia baccharidis</i>	
	<i>Fomitiporia punctata</i>	
	<i>Fulvifomes dependens</i>	Soares et al., 2014
	<i>Fulvifomes fastuosus</i>	Soares et al., 2014
		Cavalcante et al., 2019
	<i>Fulvifomes grenadensis</i>	
	<i>Fulvifomes membranaceus</i>	Xavier et al., 2018

	<i>Fulvifomes merrillii</i>	Soares et al., 2014
	<i>Fulvifomes rimosus</i>	Soares et al., 2014
	<i>Fulvifomes umbrinellus</i>	Soares et al., 2014
	<i>Fuscoporia callimorpha</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Fuscoporia contigua</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Fuscoporia gilva</i>	Soares et al., 2014
	<i>Fuscoporia undulata</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Hymenochaete iodina</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Inonotus calcitratus</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Oxyporus corticola</i>	Cavalcante et al., 2019
	<i>Phellinidium lamaoense</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Phellinus anchietanus</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Phellinus baccharidis</i>	Soares et al., 2014
		Medeiros et al., 2015
	<i>Phellinus calcitratus</i>	Medeiros et al., 2015
	<i>Phellinus caryophylleus</i>	
	<i>Phellinus gilvus</i>	
	<i>Phellinus grenadensis</i>	
	<i>Phellinus rimosus</i>	
	<i>Phellinus umbrinellus</i>	
	<i>Phellinus fastuosus</i>	Xavier et al., 2018
		Medeiros et al., 2015
	<i>Phellinus griseoporus</i>	Soares et al., 2014
	<i>Phellinus shaferi</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Phylloporia spathulate</i>	Xavier et al., 2018
		Soares et al., 2014
	<i>Schizopora flavipora</i>	Soares et al., 2014
	<i>Trichaptum cf. abietinum</i>	Nascimento et al., 2021 ²³
	<i>Trichaptum biforme</i>	Xavier et al., 2018
	<i>Trichaptum griseofuscum</i>	
	<i>Trichaptum perrottetii</i>	
	<i>Trichaptum sector</i>	
	<i>Tropicoporus dependens</i>	
	<i>Tropicoporus linteus</i>	
	<i>Xylodon flaviporus</i>	
Agaricales 12.64%	<i>Caripia montagnei</i>	Cavalcante et al., 2019
	<i>Clavaria cf. zollingeri</i>	Nascimento et al., 2021
	<i>Cyathus albinus</i>	Accioly et al., 2018 ²⁴
	<i>Cyathus amazonicus</i>	
	<i>Cyathus earlei</i>	
	<i>Cyathus limbatus</i>	
	<i>Cyathus morelensis</i>	Cruz et al., 2012 ²⁵
	<i>Cyathus triplex</i>	Accioly et al., 2018
	<i>Entoloma azureoviride</i>	Wartchow et al., 2019 ²⁶
	<i>Hygrocybe firma</i>	Cavalcante et al., 2019
	<i>Hygrocybe occidentalis</i>	
	<i>Hygrocybe miniata</i>	Nascimento et al., 2021
	<i>Leucoagaricus rubrotinctum</i>	Cavalcante et al., 2019
	<i>Leucocoprinus fragilissimus</i>	
	<i>Leucocoprinus cf. brunneoluteus</i>	
	<i>Leucocoprinus birnbaumii</i>	Cavalcante et al., 2019
		Nascimento et al., 2021
	<i>Marasmius haematocephalus</i>	Cavalcante et al., 2019
		Nascimento et al., 2021
	<i>Marasmius rotalis</i>	
	<i>Marasmius guyanensis</i>	
	<i>Morganella albotipitata</i>	Alfredo et al., 2012 ²⁷
	<i>Morganella rimoso</i>	
	<i>Morganella fuliginea</i>	Cabral et al., 2014 ²⁸
	<i>Pleurotus djamor</i>	Cavalcante et al., 2019
	<i>Pleurotus ostreatus</i>	
	<i>Psilocybe cubensis</i>	Nascimento et al., 2021
	<i>Ramariopsis kunzei</i>	
	<i>Rectipilus stromatoides</i>	Gorjon et al., 2014 ²⁹
	<i>Schizophyllum cf. umbrinum</i>	Nascimento et al., 2021
	<i>Trichopilus fasciculatus</i>	Coimbra; Gibertoni, 2015 ³⁰
	<i>Tricholoma flavovirens</i>	Cavalcante et al., 2019
	<i>Trogia cantharelloides</i>	Costa et al., 2021
	<i>Tulostoma exasperatum</i>	Trierveiler-Pereira et al., 2012 ³¹
	<i>Oudemansiella cubensis</i>	Costa et al., 2021
Geastreales	<i>Geastrum achinulatum</i>	Da Silva et al., 2013 ³²

5.92%	<i>Geastrum albonigrum</i> <i>Geastrum entomophilum</i> <i>Geastrum fimbriatum</i> <i>Geastrum hyalinum</i> <i>Geastrum inpaense</i> <i>Geastrum javanicum</i> <i>Geastrum lageniforme</i> <i>Geastrum lageniforme</i>	Trierveiler-Pereira et al., 2012 Leite et al., 2011 ³³ Leite et al., 2011 Assis et al., 2019 ³⁴ Cabral et al., 2014 Leite et al., 2011 Gomes-Silva et al., 2011 Trierveiler-Pereira et al., 2012 Cabral et al., 2014 Gomes-Silva et al., 2011 Cabral et al., 2014 Gomes-Silva et al., 2011 Cabral et al., 2014 Cabral et al., 2014
	<i>Geastrum lilloi</i> <i>Geastrum lloydianum</i> <i>Geastrum saccatum</i>	Gomes-Silva et al., 2011 Cabral et al., 2014 Gomes-Silva et al., 2011 Cabral et al., 2014 Cabral et al., 2014
	<i>Geastrum schweinitzii</i> <i>Geastrum triplex</i> <i>Geastrum verrucoramulosum</i>	Cabral et al., 2017
Russulales 4.34%	<i>Gloeodontia halocystidiata</i> <i>Gloiothele incrustata</i> <i>Gloiothele larssonii</i> <i>Lactifluus guttulatus</i> <i>Lactifluus spathuliformis</i> <i>Lactifluus piperogalactus</i> <i>Lactifluus lepus</i> <i>Larssoniporia tropicalis</i> <i>Peniophora wallacei</i> <i>Wrightoporia avellanea</i> <i>Wrightoporia tropicalis</i>	Gorjon et al., 2012 ³⁵ Gorjon et al., 2012 Gorjon et al., 2012 Silva-Filho et al., 2021 ³⁶ Xavier et al., 2018 Gorjon et al., 2012 Xavier et al., 2018 Soares et al., 2014
Phallales 3.16%	<i>Phallus atrovolutus</i> <i>Phallus denigricans</i> <i>Phallus purpurascens</i> <i>Phallus indusiatus</i>	Cabral et al., 2014 Cabral et al., 2019 Cabral et al., 2019 Cabral et al., 2019 Cabral et al., 2014 Santana et al., 2019 ³⁷ Nascimento et al., 2021 Cabral et al., 2014 Trierveiler-Pereira et al., 2012 Cabral et al., 2014 Cabral et al., 2014
	<i>Phallus merulinus</i> <i>Mutinus caninus</i> <i>Mutinus fleischeri</i> <i>Staheliomyces cinctus</i>	Cabral et al., 2014 Trierveiler-Pereira et al., 2012 Cabral et al., 2014 Cabral et al., 2014
Boletales 1.58%	<i>Scleroderma anomalosporum</i> <i>Scleroderma camassuense</i> <i>Scleroderma duckei</i> <i>Scleroderma minutisporum</i>	Baseia et al., 2016 ³⁸ Almeida et al., 2021 ³⁹ Baseia et al., 2016 Baseia et al., 2016 Alfredo et al., 2012
Polyporales – Incertae sedis 1.58%	<i>Junghuhnia subundata</i> <i>Leiotrametes lactinea</i> <i>Lenzites elegans</i> <i>Lentinus swartzii</i>	Soares et al., 2014 Xavier et al., 2018 Soares et al., 2014 Xavier et al., 2018
Corticiales 0.79%	<i>Dendrothele nakasonae</i> <i>Dendrothele ornata</i>	Gorjon et al., 2012 Gorjon et al., 2012
Auriculariales 0.39%	<i>Auricularia delicata</i>	Cavalcante et al., 2019 Nascimento et al., 2021
Dacrymycetales 0.39%	<i>Dacryopinax spathularia</i>	Cavalcante et al., 2019 Nascimento et al., 2021
Cantharellales 0.39%	<i>Cantharellus amazonenses</i>	Wartchow et al., 2012

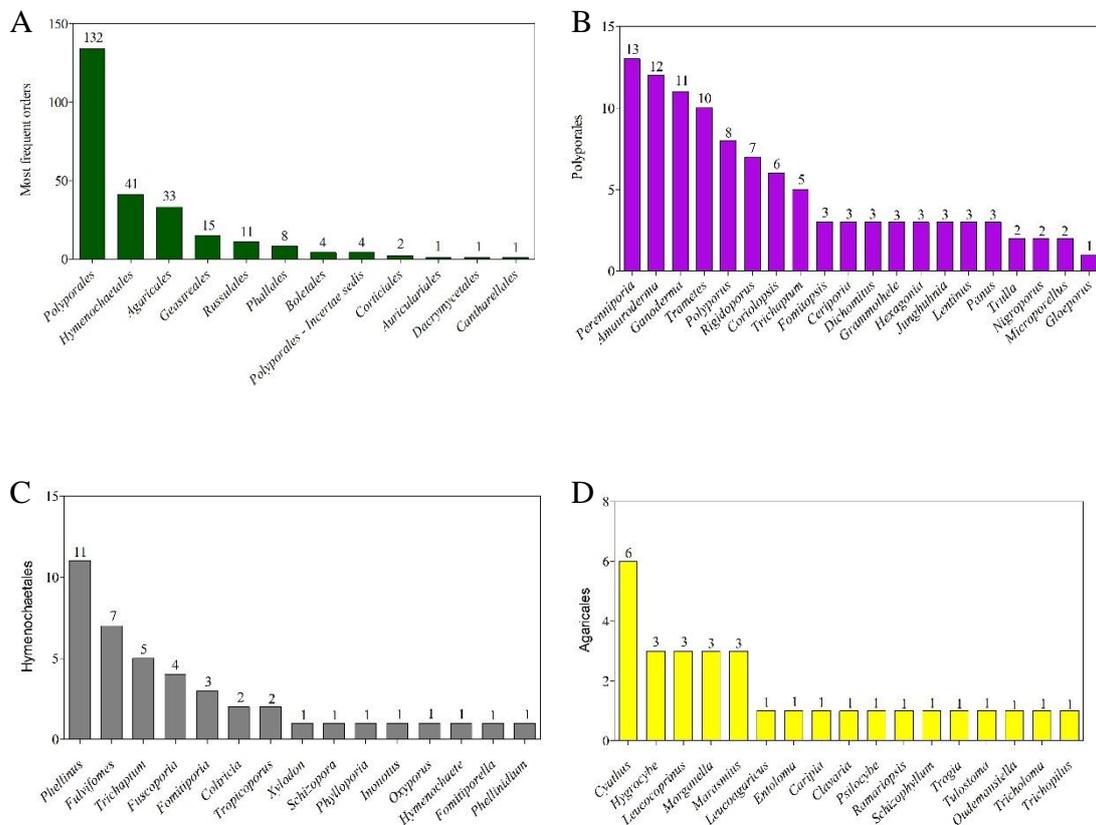


Figure 2. Distribution of fungi of the Class Agaricomycetes from the Brazilian Amazon. A. Most frequent orders. B. Most frequent genera of the order Polyporales. C. Most frequent genera of the order Hymenochaetales. D. Most frequent genera of the order Agaricales.

Biological activity

Seven studies about the antimicrobial activity and one of antioxidant of Agaricomycetes from the Brazilian Amazon were identified. The Agaricomycetes tested were positive against the bacteria *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* and *Staphylococcus aureus*, and the fungi *Candida albicans*, *Candida parapsilosis* and *Candida tropicalis* (Table 3).

Table 3. Biological activities of Agaricomycetes from the Brazilian Amazon.

Biological activity	Microorganism	Fungus	Reference
Antibacterial	<i>Escherichia coli</i> 46.42%	<i>Cyclomyces iodinus</i>	Santos et al., 2020 ⁴⁰
		<i>Gloeoporus theleporoides</i>	Oliveira et al., 2021 ⁴¹ Santos et al., 2020 Castillo et al., 2017 ⁴² Bertéli et al., 2021 ⁴³ Santos et al., 2020 Castillo et al., 2017
		<i>Gloeophyllum</i> sp.	
		<i>Hydnopolyporus fimbriatus</i>	
		<i>Lentinus citrinus</i>	
		<i>Lentinus citrinus</i>	
		<i>Marasmius</i> sp.	
		<i>Neolentinus lepideus</i>	

		<i>Oudemansiella canarii</i> <i>Phellinus gilvus</i> <i>Pleurotus ostreatus</i> <i>Pleurotus</i> sp. <i>Trametes</i> sp.	Oliveira et al., 2021 Santos et al., 2020 Castillo et al., 2018 ⁴⁴ Oliveira et al., 2021
	<i>Staphylococcus aureus</i> 25%	<i>Cymatoderma</i> sp. <i>Favolus tenuiculus</i> <i>Ganoderma</i> cf. <i>Amazonense</i> <i>Gloeophyllum</i> sp. <i>Lentinus citrinus</i> <i>Oudemansiella cubensis</i> <i>Pleurotus</i> sp.	Santos et al., 2020 Oliveira et al., 2021 Bertéli et al., 2021 Costa et al., 2021 Oliveira et al., 2021
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 17.85%	<i>Corioloropsis caperata</i> <i>Cymatoderma</i> sp. <i>Ganoderma</i> cf. <i>Amazonense</i> <i>Hydnopolyporus fimbriatus</i> <i>Polyporus grammacephalus</i>	Santos et al., 2020
	<i>Streptococcus pneumoniae</i> 10.71%	<i>Cymatoderma</i> sp. <i>Pycnoporus sanguineus</i> <i>Tyromyces</i> cf. <i>Polyporoides</i>	Santos et al., 2020
Antifungal	<i>Candida albicans</i> 77.77%	<i>Earliella scabrosa</i> <i>Gloeophyllum</i> sp. <i>Lentinus citrinus</i> <i>Neolentinus lepideus</i> <i>Pleurotus ostreatus</i> <i>Pleurotus</i> sp. <i>Pleurotus eryngii</i>	Oliveira et al., 2021 Castillo et al., 2017 Castillo et al., 2018 Oliveira et al., 2021 Andrade et al., 2021 ⁴⁵
	<i>Candida parapsilosis</i> 11.11%	<i>Pleurotus eryngii</i>	Andrade et al., 2021
	<i>Candida tropicalis</i> 11.11%	<i>Pleurotus eryngii</i>	
Antioxidant	β -tocoferol ácido oxálico ácido málico ácido <i>p</i> -hidroxibenzóico	<i>Lentinus citrinus</i>	Bertéli et al., 2021

Enzymatic activity

Five studies developed with Agaricomycetes from the Brazilian Amazon, producers of xylanase, pectinase, cellulase, protease, amylase and laccase enzymes were found (Table 4).

Table 4. Enzymatic activity of Agaricomycetes from the Brazilian Amazon.

Enzyme	Fungus	Reference
Xilanase 27.27%	<i>Fomitopsis subtropical</i> <i>Marasmius cladophyllus</i> <i>Neonothopanus nambi</i> <i>Phanerochaete australis</i> <i>Perenniporia tephropora</i> <i>Trametes</i> sp.	De Araújo et al., 2019 ⁴⁶ Pereira et al., 2016 ⁴⁷
Pectinase 22.72%	<i>Fomitopsis subtropical</i> <i>Marasmius cladophyllus</i> <i>Neonothopanus nambi</i> <i>Phanerochaete australis</i> <i>Perenniporia tephropora</i>	De Araújo et al., 2019
Celulase 18.18%	<i>Fomitopsis subtropical</i> <i>Marasmius cladophyllus</i> <i>Neonothopanus nambi</i> <i>Trametes</i> sp.	De Araújo et al., 2019 Pereira et al., 2016
Protease 13.63%	<i>Lentinus citrinus</i> <i>Pleurotus albidus</i> <i>Pleurotus ostreatoroseus</i>	Ana et al., 2017 ⁴⁸ Martim et al., 2021 ⁴⁹ Ana et al., 2017

		Fonseca et al., 2014
Amilase 13.63%	<i>Fomitopsis subtropical</i> <i>Neonothopanus nambi</i> <i>Perenniporia tephropora</i>	De Araújo et al., 2019
Lacase 4.54%	<i>Panus lecomtei</i>	De Araújo et al., 2019

DISCUSSION

The most common orders of Agaricomycetes in the Brazilian Amazon were Polyporales, Hymenochaetales and Agaricales.

The highest occurrence of Polyporales is unusual, as the order Agaricales is the one that represents the greatest diversity of species in the phylum Basidiomycota, which presents about 31,515 species, within the estimate of 1.5 million fungal species.⁵⁰

The Brazilian Amazon has a wide biodiversity and is characterized by a considerable species richness and high levels of endemism. The occurrence of these orders is more frequent in forest biomes, as they find in these places the conditions that guarantee their physiological needs, acting as decomposers of organic matter, mainly cellulose and lignin, and maintaining the environments.⁵¹

In the record of macroscopic fungi done in the Brazilian Cerrado⁵² 95 species of the phylum Agaricomycota, 23 families and 11 orders were identified, with the order Polyporales also being more frequent. *Cyathus*, *Geastrum*, *Phallus* and *Scleroderma* were genera described in the state of São Paulo,⁵³ and *Pycnoporus sanguineus*, *Corioloropsis caperata*, *Amauroderma praetervisum*, species reported in the Cerrado⁵⁴ and which were also reported in this work, evidencing the wide distribution in the country.

Regarding antimicrobial activity, the most frequently inhibited microorganism was the bacteria *Escherichia coli*, a Gram-negative bacteria. Studies report better results of Agaricomycetes studied against Gram-positive bacteria^{55,56} unlike what was found in this work, where 64.27% of fungi were effective against Gram-negative bacteria.

The literature reports that *Pleurotus ostreatus* and *Lentinus* sp. from different biomes also showed positive results against *E. coli*^{57,58,59}. *Lentinus* sp. it also showed positive results against the fungus *Candida albicans*.⁵⁹

Compounds present in *Ganoderma australe* were able to inhibit the bacteria *E. coli* and *S. aureus* and the fungus *Candida albicans*.⁶⁰ This may be because Agaricomycetes species of this genus share these compounds, with similar results being found.

No studies were found with the species *Corioloropsis caperata*, *Cyclomyces iodinus*, *Cymatoderma* sp., *Tyromyces* cf. *polyporoides* and *Neolentinus lepideus*, leading to the

observation that these were the first works to address the antimicrobial potential for these species.

Regarding antioxidant activity, the only Amazonian Agaricomycete described was *Lentinus citrinus*. Currently the excessive amount of free radical species, which cause oxidative stress, is mainly associated with the pathology of many diseases.⁵⁵ Thus, the investigation for natural antioxidants without side effect for safe consumption by people has become increasing.

The vast majority of mushrooms are reported as a source of bioactive compounds with important pharmacological properties and are considered functional foods.⁶¹ These compounds are mainly phenolic compounds, tocopherols, carotenoids and phenolic acids,⁶² these natural antioxidant compounds being known with anti-inflammatory and anticancer properties.^{63,64}

The literature reports that *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus subrufescens* showed high concentrations of phenolic compounds with antioxidant activities, and may be considered functional foods.⁶⁵

For enzymatic activity, the most reported enzymes in this study were xylanase (27.27%), pectinase (22.72%) and cellulase (18.18%). Most of the fungi that showed enzymatic activity for xylanase and cellulase belong to the Polyporales order, possibly due to their role as decomposers of wood and plant residues.⁶⁶

The fungus *Pleurotus ostreatoroseus*, when cultivated in a culture medium with controlled conditions, was able to produce the enzyme protease.⁶⁷ Agaricomycetes have a large enzymatic apparatus used in several industrial branches.⁶⁸ found that the fungus *Pleurotus ostreatoroseus* was able to produce the protease enzyme, with a temperature of 40 °C and pH 5.0, and also the production of amylase and cellulase.⁶⁹ Species of *Trametes* were also producers of cellulase and laccase enzymes.^{70,71}

Other cited species were not found in the literature with records of enzymatic activity, these being pioneering works. No studies were found reporting the production of the lipase enzyme for Amazonian Agaricomycetes.

CONCLUSION

The most common orders of fungi of the Class Agaricomycetes in the Brazilian Amazon are Polyporales, Hymenochetalles and Agaricales, and studies with biological activities, such as antimicrobial, antitumor, antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory and enzymatic are still scarce. This review shows the need to develop research with fungi of the Phylum Basidiomycota in the Brazilian Amazon.

ACKNOWLEDGMENT

To the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for granting the scholarship.

REFERENCES

1. Azevedo E, Barata M. Diversidade no reino Fungi e aplicações à Indústria. *Ciência Elementar*. 2018; 6(4):1-7.
2. Ishikawa NK, Isla RV, Chaves R, Cabral T. Macrofungos da Amazônia: Importância e Potencialidades. *Ciência e Ambiente*. 2012; 44(1):130-9.
3. Soares AMS, Sotão HMP, Medeiros PS, Gibertoni TB. Riqueza de fungos poliporoides (Agaricomycetes, Basidiomycota) em uma Floresta Ombrófila densa no Amapá, Amazônia Brasileira. *Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão*. 2014; 35(1): 5-18.
4. Pires EZ, Dalbosco EZ, Gonçalves MJ, Tonini RCG. Basidiomycetes biodiversity founded in a fragment of Araucaria Forest. *Ambiência Guarapuava*. 2014; 10(2):489-496.
5. Motato-Vásquez V, Pires RM, Gugliotta AM. Polypores from an Atlantic rainforest area in southeast Brazil: pileate species. *Revista Brasileira de Botânica*. 2014; 38(1): 149-164.
6. Manzato BL, Manzato CL, Santos PL, Passos RS, da Silva Junior TAF. Diversity of macroscopic basidiomycetes in reforestation areas of Eucalyptus spp. *Scientia Forestalis*. 2020; 48(128): 3305-3311.
7. Azevedo CO; Caires CS, Trierweiler-Pereira L. Primeiro registro de Lysuraceae Corda (Phallales, Basidiomycota, Fungi) para o Nordeste brasileiro. *Hoehnea*. 2021; 48(1): 1-5.
8. Castro MT. Micodiversidade Associada a Árvores de *Copaifera langsdorffii* Desf. em Brasília, Distrito Federal. *Floresta e Ambiente*. 2015; 22(2):256-61.

9. Im KH, Nguyen TK, Kim JK, Choi JH, Lee TS. Evaluation of anticholinesterase and inflammation inhibitory activity of medicinal mushroom *Phellinus pini* (Basidiomycetes) Fruiting Bodies. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2016; 18(11):1011-1122.
10. Greeshma P, Ravikumar KS, Neethu MN, Pnadey M, Zuhara KF, Janardhanan KK. Antioxidant, anti-inflammatory and antitumor activities of cultured mycelia and fruiting bodies of the elm oyster mushroom, *Hypsizygus ulmarius* (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2016; 18(3):235-244.
11. Xu D, Wang H, Zheng W, Gao Y, Wang M, Zhang Y, Gao Q. Characterization and immunomodulatory activities of polysaccharide isolated from *Pleurotus eryngii*. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016; 92(1478): 30-36.
12. Sovrani V, Rosa J, Paula DM, Colodi FG, Tominaga TT, Dalla HSS, Rebeca R. In vitro and in vivo antitumoral activity of exobiopolymers from the royal sun culinary-medicinal mushroom *Agaricus brasiliensis* (agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2017; 19(9): 767-775.
13. Abugri DA, Ayariga JA, Tiimob BJ, Yedjou CG, Mrema F, Witola, WH. Medicinal Mushrooms as Novel Sources for New Antiparasitic Drug Development. *Medicinal Mushroom*. 2019; 1(1):251-273.
14. Chandrasekaran G, Lee Y-C, Park H, Wu Y, Shin H-J. Antibacterial and antifungal activities of lectin extracted from fruiting bodies of the korean cauliflower medicinal mushroom, *Sparassis latifolia* (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2016; 18(4): 291-99.
15. Peralta RM, Silva BP, Côrrea RGC, Kato CG, Seixas F, Bracht A. Enzymes from Basidiomycetes - peculiar and efficient tools for Biotechnology. *Biotechnology of Microbial Enzymes*. 2017; 1(1):119 -149.

16. Silva CJA, Malta DJN. A importância dos fungos na Biotecnologia. Ciências biológicas e da saúde. 2016; 2(3): 49-66.
17. Xavier WKS, Sotão HMP, Soares AMS, Gibertoni TB, Rodrigues FJ, Ryvar den L Riqueza de Agaricomycetes poróides da Serra do Navio, Amazônia Oriental, Brasil, com um novo registro de *Oxyporus lacera* para o Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais. 2018; 13(3): 303-15.
18. Medeiros PS, Cattanio JH. Riqueza e relação de fungos poróides lignolíticos (Agaricomycetes) com o substrato na floresta amazônica brasileira. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais. 2015; 10(3):423-436.
19. Cavalcante FS; campos MCC, De Lima, Janaína PS. Novas Ocorrências de Macrofungos (Basidiomycota) no Sul do Amazonas, Brasil. Ciência e Natura. 2021; 43(1) 46-66.
20. Costa, MRL, Santos, GS, Carvalho, CM. Occurrence and antimicrobial activity of Agaricomycetes of the state of Acre, Brazil. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological. 2021; 8(2): 202-216.
21. Pinto DDS, santos LAC, Calaça, FJS, Almeida SDS. Food production potential of *Favolus brasiliensis* (Basidiomycota: Polyporaceae), an indigenous food. Food Science and Technology. 2020; 41(1): 183-188.
22. Gomes-Silva AC, Gibertoni TB, Ryvar den L. New records of Ganodermataceae (Basidiomycota) from Brazil. Nova Hedwigia. 2011; 92(1-2): 83-94.
23. Nascimento GM, Cunha WL, Santos ADJM, Santos JS, Carvalho, LFL, Silva OB, Silva ILA. Record of species of macrofungi in a fragment of the Amazon Forest in the state of Maranhão, Brazil Record of species of macrofungi in a fragment of Amazon Forest in the state of Maranhão, Brazil. Brazilian Journal of Development. 2021; 7(8): 76520-76536.

24. Accioly T, Cruz R, Assis N, Ishikawa N, Hosaka K, Martin M, Baseia I. Amazonian bird's nest fungi (Basidiomycota): Current knowledge and novelties on *Cyathus* species. *Mycoscience*. 2018; 59(5):331-342.
25. Cruz RHS, Lima RAA, Braga-Neto R, Baseia I. *Cyathus morelensis*, a rare bird's nest fungus in the Brazilian Amazon rainforest. *Micosfera*. 2012; 3(1): 880-82.
26. Wartchow, F.; Braga-Neto, RA. Second record of *Entoloma azureoviride* (Agaricales, Basidiomycota) in the Brazilian Amazon. *Hoehnea*. 2019; 4(61): 1-6.
27. Alfredo DS, Leite AG, Braga-Neto R, Baseia IG. Two new *Morganella* species from the Brazilian Amazon rainforest. *Mycosphere*. 2012; 3(1): 66-71.
28. Cabral TS, Silva BDB, Ishikawa NK, Alfredo DS, Neto RB, Clement CR. A new species and new records of gasteroid fungi (Basidiomycota) from Central Amazonia, Brazil. *Phytotaxa*. 2014. 183(4): 239-253.
29. Gorjón SP, de Jesus MA. *Rectipilus stromatoides* sp. nov. (Agaricales, Basidiomycota) a new cyphelloid fungus from the Brazilian Amazon. *Mycosphere*. 2014; 5(2): 393-396.
30. Coimbra, VRM, Gibertoni TB. Primeiro registro de *Trichopilus fasciculatus* (Agaricales) para o Brasil, com chave para as espécies de Entolomataceae da região Norte. *Mycoscience*. 2015; 56(1): 118-22.
31. Trierweiler-Pereira L, Gomes-Silva, AC; Baseia, YG. Observations on the Agaricomycetes gasteroid from the Brazilian Amazon rainforest. *Mycotaxon*. 2012; 118(1): 273-282.
32. Da Silva BDB, Cabral TS, Marinho P, Ishikawa NK, Baseia IG. Two new species of *Geastrum* (Geastraceae, Basidiomycota) found in Brazil. *Nova Hedwigia*. 2013; 96(3-4): 445-56.
33. Leite AG, Assis HK, Silva BDB, Sotão HMP, Baseia IG. *Geastrum* species from the Amazon Forest, Brazil. *Mycotaxon*. 2011; 118(1), 383-392.

34. Assis NM, Freitas-Neto JF, Sousa JO, Barbosa FR, Baseia IG. *Geastrum hyalinum* (Basidiomycota, Geastraceae), a new species from Brazilian Southern Amazon. *Estudos em Fungos*. 2019; 4(1):83-9.
35. Gorjón, SP.; de Jesus, MA. Some new species and new records of corticioid fungi (Basidiomycota) from the Brazilian Amazon. *Phytotaxa*. 2012; 67(1): 38-54.
36. Silva-Filho AG, Sá MC, Komura DL, Baseia IG, Marinho P, Moncalvo JM, Roy M, Wartchow F. Novelty in *Lactifluus* subg. *Gymnocarpi* (Russulales, Basidiomycota) from Brazilian tropical forests. *Mycological Progress*. 2021; 20 (4), 549-565.
37. Santana MDF, Costa ADL, Gomes ESC, Guimarães LES. Occurrence and ethnomycological notes on *Phallus indusiatus* (Phallaceae, Basidiomycota) in the Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brazil. *Acta botánica mexicana*. 2019; 1(126): e1436.
38. Baseia IG, Silva BDB, Ishikawa NK, Soares JVC, França IF, Ushijima S, Maekawa N, Martín MP. Discovery or extinction of new species of scleroderma in the Amazon?. *Plos One*. 2016; 11(12): e0167879.
39. Almeida SO, Ferreira RJ, Assis NM, Oliveira UM. Rediscovery of *Scleroderma anomalosporum* Baseia, BDB Silva & MP Martín (Boletales, Basidiomycota) in the Brazilian Amazon: is the species now safe?. *Journal of Fungal Biology*. 2021; 11(1), 364-372.
40. Santos GS, Peters LP, Carvalho CM. Study of antibacterial activity of Amazonian Agaricomycetes mushrooms from Brazil. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2020; 22(6):573-80
41. Oliveira KKC, Oliveira TC, Fernandes OCC, Neto PQC, Jeus MA. Effect of photoexposure on antimicrobial activity of Amazonian basidiomycetes. *Research, Society and Development*. 2021; 10(14): 1-9.

42. Castillo TA, Pereira JRG, Alves JMA, Teixeira MFS. Mycelial growth and antimicrobial activity of species of genus *Lentinus* (Agaricomycetes) from Brazil. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2017; 19(12): 1135-1143.
43. Bertéli MB, Filho OO, Freitas JD, Bortolucci WC, Silva GR, Gazim ZC, Lívero ARF, Lovato CWE, Valle JS, Linde GA, Barros L, Reis FS, Ferreira ICFR, Paccola-Meirelles LD, Colauto, NB. *Lentinus crinitus* basidiocarp stipe and pileus: chemical composition, cytotoxicity and antioxidant activity. *European Food Research and Technology*. 2021; 247(6), 1355-1366.
44. Castillo TA., Lemos RA., Pereira JRG., Alves JMA, Teixeira MFS. Mycelial growth and antimicrobial activity of *Pleurotus* species (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2018; 20(2): 191-200.
45. Andrade CP, de Oliveira AP, Vieira VMC, Frazão BKP, Gurgel RS, Lopes R, de Souza Kirsch L. Antimicrobial activity of the edible mushroom *Pleurotus eryngii* (DC.) Qué grown in liquid medium. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. 2021; 43(1), e58474-e58474.
46. De Araújo JA, Ferreira NR, da Silva SHM, Oliveira G, Monteiro RC, Alves YFM, Lopes AS. Filamentous fungi diversity in the natural fermentation of Amazonian cocoa beans and the microbial enzyme activities. *Annals of Microbiology*. 2019; 69(9), 975-987.
47. Pereira SA, Oliveira RL, Duvoisin Jr. S, Silva LAO, Albuquerque PM. The use of Amazon fungus (*Trametes* sp.) in the production of cellulase and xylanase. *African Journal of Biotechnology*. 2016; 15(20): 843-853.
48. Ana RGM, Salomao RM, Mircella MA, Maria FST. Production and characterization of proteases from edible mushrooms cultivated on amazonic tubers. *African Journal of Biotechnology*. 2017; 16(46), 2160-2166.

49. Martim SR, Silva LSC, Alecrim MM, Teixeira LS, Teixeira MFS. Milk-clotting proteases from *Pleurotus albidus*: an innovative alternative for the production of Minas frescal cheese. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. 2021; 43(1): e57275-e57275.
50. Kirk PM, Stalpers JA, Braun U, Crous PW, Hansen K, Hawksworth DL, Hyde KD, Lücking R, Lumbsch TH, Rossman AY, Seifert KA, Stadler M. A without-prejudice list of generic names of fungi for protection under the International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants. *IMA Fungus*. 2013; 4(2): 381-443.
51. Patrício AS, Mendoza AYG, Cavalcante FS, Santos, VS, Lima RA. Levantamento de macrofungos na reserva natural de Palmari, Atalaia do Norte, Amazonas, Brasil. *Revista Biodiversidade*. 2021; 20(3):91-99.
52. Gibertoni, TB, Drechsler-Santos ER. Lignocellulolytic Agaricomycetes from the Brazilian Cerrado biome. *Mycotaxon*. 2010; 111(1): 87-90.
53. Fernandes NSR, Teixeira, WF, Baltazar JM, & Trierweiler-Pereira, L. Contribuição ao conhecimento de fungos gasteroides (Agaricomycetes, Basidiomycota) do Estado de São Paulo, Brasil. *Hoehnea*. 2021; 48 (1): 1-8.
54. Abrahao MC, Pires RM, Gugliotta A de M, Gomes EPC, Bononi VLR. Wood-decay fungi (Agaricomycetes, Basidiomycota) in three physiognomies in the Savannah region in Brazil. *Hoehnea*. 2019; 46(1): e692018.
55. Öztürk M, Duru ME, Kivrak S, Mercan-Doğan N, Türkoglu A, Özler MA. In vitro antioxidant, anticholinesterase and antimicrobial activity studies on three *Agaricus* species with fatty acid compositions and iron contents: A comparative study on the three most edible mushrooms. *Food and Chemical Toxicology*. 2011; 49(60):1353-1360.
56. Nowacka N, Nowak R, Drozd M, Olech M, Los R, Malm A. Antibacterial, antiradical potential and phenolic compounds of thirty-one polish mushrooms. *PLoS One*. 2015; 10(10): 1-13

57. Periasamy, K. Novel Antibacterial Compounds Obtained from Some Edible Mushrooms. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2005; 7(3):443-446.
58. Baraza LD, Neser W, Jackson KC, Fredrick JB, Dennis O, Wairimu KR, Keya AO, Heydenreich M. Antimicrobial Coumarins from the Oyster Culinary-Medicinal Mushroom, *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes), from Kenya. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2016; 18(10):905-13.
59. Yen LTH, Thanh TH, Anh DTH, Linh NM, Nhan VD, Kiet TT. Antimicrobial and Antioxidant Activity of the Polypore Mushroom *Lentinus arcularius* (Agaricomycetes) Isolated in Vietnam. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2022; 24(3):15-23.
60. Smania EFA, Monache FD, Yunes RA, Smania Junior A. Atividade antimicrobiana do australato de metila de *Ganoderma australe*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 2007; 17(1):14-16.
61. Tepsongkroh B, Jangchud K, Jangchud A, Chonpracha P, Ardoin R, Prinyawiwatkul W, Trierweiler-Pereira L, Christina AGS, Goulart BI. Observations on gasteroid Agaricomycetes from the Brazilian Amazon rainforest. *Mycotaxon*. 2012; 118(1): 273-282.
62. Sánchez, C. Reactive oxygen species and antioxidant properties from mushrooms. *Synthetic and Systems Biotechnology*. 2017; 2(1):13-22
63. Ferreira ICF, Barros L, Abreu, RVM. Antioxidants in wild mushrooms. *Curr. Med. Química*. 2009; 16(12):1543-1560.
64. Jian Q. Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant and anti-inflammatory activities, and their role in disease prevention and therapy. *Free Radical Biology and Medicine*. 2014; 72(1): 76-90.
65. Ferrari ABS, Oliveira GA, Russo HM, Bertozzo LC, Bolzani VS, Zied DC, Ximenes VF, Zeraik ML. *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus subrufescens*: investigation of the

- chemical composition and antioxidant properties of these mushrooms cultivated with different artisanal and commercial supplements. Institute of Food Science Technology. 2021; 56(1): 452-460.
66. Grabarczyk M, Macza W, Wińska K, Uklańska-Pusz CM. Mushrooms of the *Pleurotus* genus – properties and application. Biotechnology and Food Science. 2019; 83(1): 13-30.
67. Fonseca TRB. Produção em matriz sólida e caracterização parcial das proteases de cogumelo comestível da Floresta Amazônica. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial. 2014; 8(1):1227-1236.
68. Barbosa EEP, Pimenta L, Brito AKP, Martim SR, & Teixeira, MFS. Mushroom cultivation edible in lignocellulosic residues from rainforest for protease production. Brazilian Journal of Development. 2020; 6(11):92475–92485.
69. Coelho MPS, Barbosa EEP, Pimenta L, Batista SCP, Prado FB, Martim SR, Filho RF, da Cruz Filho & Teixeira, MFS. Alternative of nutritional sources for the development of the mycellial phase and production of hydrolases by edible mushroom from tropical forest. Brazilian Journal of Development. 2021; 7(3): 22890-22907.
70. Lopes MMG, Sales PTF, Campos LS, Schimidt F, Santiago MF. Study of decolorization of FD&C blue #2 indigotine by fungus *Trametes versicolor* combined with slow sand filtration. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2014;19(1): 113-120.
71. Motato-Vásquez V, Pires RM, Vitali VMV, Gugliotta ADM. Cultural and ligninolytic activity studies of some polypores (Basidiomycota) from brazilian Atlantic Forest, São Paulo State, Brazil. Hoehnea. 2016; 43(1): 289-300.

CAPITULO II - ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E ENZIMÁTICA DE FUNGOS AGARICOMYCETES AMAZÔNICOS DA RESERVA FLORESTAL HUMAITÁ, ACRE, BRASIL

* Maria Rosiane Lima da Costa¹; Geysel Souza Santos²; Leila Priscila Peters³; *Clarice Maia Carvalho^{1,2,4}

1. Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para Amazônia, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Acre, Brasil;
2. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Acre, Brasil;
3. Centro de Ciências da Saúde e do Desporto, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Acre, Brasil.
4. Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Acre, Brasil.

Autor correspondente: [*rosyannelima28@gmail.com](mailto:rosyannelima28@gmail.com); [*claricemaiacarvalho@gmail.com](mailto:claricemaiacarvalho@gmail.com).

Resumo

Agaricomycetes tem sido estudado na busca de diversos metabólitos secundários, já sendo conhecido seu potencial anti-inflamatório, antifúngico, antioxidante, antiviral, antimicrobiano e antitumoral. Além dos compostos bioativos, estes também possuem a capacidade de secretar enzimas hidrolíticas, como celulase, amilase, protease e lipase, de interesse industrial. Apesar da grande diversidade Amazônica, ainda existem poucos estudos relacionados com fungos macroscópicos, especificamente Agaricomycetes deste bioma. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a atividade antimicrobiana e enzimática de fungos Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil. Foram realizadas coletas de basidiomas sendo analisadas as características macroscópicas e microscópicas para identificação. Para a atividade antimicrobiana foram produzidos extratos de basidiomas e do micélio, estes extratos foram testados contra as bactérias e fungos patogênicos utilizando o teste de microdiluição. Os extratos dos fungos com melhor atividade antimicrobiana foram submetidos a caracterização molecular. Foi avaliada a atividade de produção das enzimas celulase, protease, amilase e lipase pelo teste de cup plate. Os 55 Agaricomycetes coletados foram classificados nas ordens Agaricales (45,45%), Polyporales (41,81%), Auriculariales (9,09%) e Hymenochaetales (3,63%), distribuídos em 16 famílias, 23 gêneros e 16 espécies. Os 17 isolados foram utilizados para produção de extratos do basidioma e 22 para produção de extrato do micélio. A

Concentração Inibitória Mínima (CIM) com extratos dos basidiomas variou de 10 a 0,62 mg/mL e as dos extratos dos micélios variou de 20 a 0,62 mg/mL. As espécies que apresentaram os melhores valores microbicidas foram: *Trametes modesta* 5.377, *Gloeoporus telephoroides* 5.409, *Lentinus strigosus* 5.406, *Gloeoporus telephoroides* 5.415, *Flabellophora* sp. 5.383, *Coriolopsis caperata* 5.399. Dos 24 Agaricomycetes isolados, 19 apresentaram produção enzimática. Celulase foi a enzima mais frequente, sendo produzida por 73,7% dos fungos, com destaque para o isolado 5.418, da família Polyporaceae. Destaques para amilase foram os fungos *Polyporus* sp., 5.374(2) e Polyporaceae 5.418. Para protease, *Clitopilus prunulus* e *Favolus tenuiculus* 5.386. Apenas os isolados *Polyporus* sp., 5.374(2), *Ceriporia* sp. e *Marasmius* sp., 5.392 tiveram atividade lipolítica. A espécie *Clitopilus prunulus* está sendo relatado como primeira ocorrência para o Estado do Acre. Diante da ausência de literatura encontrada até o presente momento, este trabalho contém os primeiros relatos enzimáticos para os gêneros *Clitopilus*, *Favolus* e *Polyporus* referente às enzimas alvo neste trabalho e para produção de lipase, dos gêneros *Polyporus* sp. 5,374(2), *Marasmius* sp. 5.392 e *Ceriporia* sp. 5.391. Diante do déficit de informações na literatura tanto sobre atividade enzimática, quanto antimicrobiana, se faz necessário estudos mais aprofundados sobre Agaricomycetes.

Palavras-chaves: Amazônia, Agaricales, Celulase, *Clitopilus prunulus*, *Ceriporia* sp., Polyporales, *Polyporus* sp.

Introdução

Agaricomycetes são fungos pertencentes ao Filo Basidiomycota, conhecidos popularmente como cogumelos e/ou orelha-de-pau. Sua principal característica é a presença de hifas que formam o micélio, onde se localizam os basidiósporos, estruturas responsáveis pela reprodução (MATOS, 2020). Os fungos, de maneira geral, em especial agaricomycetes, possuem ampla aplicabilidade ecológica, econômica e biotecnológica (RAVEN et al., 2014). Contudo, o conhecimento da diversidade de Agaricomycetes e seu potencial biotecnológica, especialmente na Amazônia, ainda é pouco (SANTOS et al., 2020).

Agaricomycetes tem sido estudado na busca de metabólitos secundários com atividade anti-inflamatória (CASTRO et al., 2014), antifúngica (OLIVEIRA, 2014), antioxidante (REN et al., 2014), antiviral (MIZERSKA-DUDKA et al., 2015), antimicrobiana (HELENO et al., 2015) e antitumoral (SIVANANDHAN et al., 2017).

Dentre as pesquisas desenvolvidas com agaricomietos no Brasil, espécies demonstram resultados satisfatório contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, como *Antrodia albida* (BEKAI, 2010), *Pycnoporus sanguineus* (ATHAYDE, 2011), *Fomitopsis durescens*, e este mesmo fungo produziu duas enzimas de interesse biotecnológico, amilase e celulase (CHAVES, 2017). Diante disso, os agaricomietos podem ser uma fonte de novos antimicrobianos capazes de inibir microrganismos que são resistentes aos antibióticos comuns.

Além dos compostos já apresentados, a capacidade de secretar enzimas hidrolíticas, como celulase, amilase, protease e lipase, tem atraído a atenção de pesquisadores da área. Tais enzimas, como já comprovadas em estudos anteriores são de fundamental importância quando se trata de sua aplicabilidade biotecnológica (SUNDARRAM; MURTHY, 2014; PARK et al., 2015; FONTES, 2019), sendo utilizadas em grande escala, na indústria de alimentos (amilases, proteases e celulases), detergentes (proteases), tecidos (celulases) e de couro (proteases) (HARMS et al., 2011).

Estudos na área da enzimologia revelam que o tratamento biológico, por meio da utilização de enzimas são mais eficientes e apresentam menor custo financeiro, pois funcionam como catalisadoras e podem ser recuperadas ao final do processo (BRAGA, 2012). Além disso, a facilidade, simplicidade de controle do processo e o alto rendimento, contribui para a utilização das enzimas para estes fins (PERKINS et al., 2015).

Já têm sido relatados trabalhos com atividade enzimática de Agaricomycetes para o Brasil e Amazônia (SILVA et al., 2016; DA SILVA, 2018). No entanto, para o Estado do Acre não foram encontrados trabalhos com este objetivo.

Com base na literatura, quando se refere a descrição de agaricomietos no Estado do Acre, as ordens Agaricales e Polyporales são as mais frequentes, apresentando maiores números de espécies encontradas, com sete exclusivas para o Estado (BONONI, 1992; GOMES-SILVA; GILBERTONI, 2009). As espécies *Oudemansiella macracantha* e *Oudemansiella steffenii* (WARTCHOW et al., 2014), *Macrolepiota colombiana*, *Cyathus striatus*, *Calvatia rugosa*, *Marasmius rhabarbarinus*, *Ganoderma resinaceum*, *Lentinus velutinus*, *Oudemansiella cubensis*, *Coprinellus disseminatus*, *Cotylidia diafana* (SILVA et al., 2020) são algumas das espécies relatadas para o estado do Acre.

Atualmente, a lista online da Flora do Brasil disponibiliza em sua base de dados, 552 nomes aceitos de espécies de fungos basidiomicetos para a Amazônia, 77 deles encontrados no Estado do Acre (FUNGI, 2022).

Referente a atividade antimicrobiana na Amazônia, fungos do gênero *Pleurotus*, *Gloeophyllum*, *Trametes*, *Coriolopsis*, *Cyclomycesiodinus*, *Cymatoderma*, *Favolus tenuiculus*, *Tyromyces* cf. *poliporoides*, *Oudemansiella cubensis* e *Oudemansiella canarii* são alguns dos resultados evidenciando o potencial antimicrobiano quando testados contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas (SANTOS et al., 2020; COSTA et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2021).

Tendo em vista a ampla aplicabilidade antimicrobiana e enzimática de agaricomícetos e a escassez de estudos com este no estado do Acre, este projeto tem por objetivo avaliar a atividade antimicrobiana e enzimática de fungos Agaricomycetes da Floresta Estadual Humaitá, Acre, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

As coletas foram realizadas na Reserva Florestal Humaitá (RFH) (9° 43'S – 9° 48'S; 67° 33'W - 67° 48'W) localizada no município de Porto Acre, distante 23 km de Rio Branco, capital do estado do Acre. Possui 2.200 hectares e constitui um fragmento florestal coberto predominantemente por floresta aberta de bambu ou palmeira (FARIAS, 2015; PINHEIRO et al., 2015).



Figura 1. Mapa de coleta de Agaricomycetes, Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil. A. Local de coleta; B-C. Espécimes coletadas.

Coleta e identificação

Os espécimes foram coletados com auxílio de canivete e armazenados em sacos de papel. Todos os exemplares foram fotografados, numerados e dados de campo como o substrato foram registrados no momento da coleta. As medidas foram realizadas com régua milimétrica. Feito todas as observações, uma parte do material foi utilizado para o isolamento micelial e a outra reservada para confecção de exsicatas e identificação taxonômica. Para herborização, o material foi desidratado em estufa a 45 °C durante 24-48 h (VARGAS-ISLA et al., 2014).

Para identificação dos agaricomycetos foram observadas as características macroscópicas como: cor, forma, consistência, tamanho do basidioma, píleo (coloração, forma, superfície e margem), estipe (coloração, posição e superfície) e lamelas (coloração e aspecto) (GIMENES, 2010; WESTPHALEN et al., 2010). Para observação das estruturas microscópicas, foram feitos cortes a mão livre com lâmina de aço nos basidiomas, os cortes foram colocados entre lâmina e lamínula com hidróxido de potássio 3% e Vermelho congo para reação cianofilia (GUGLIOTTA; CAPELARI, 1998; GIMENES, 2010). Foram utilizadas chaves de identificação de acordo com literaturas específicas (RYVARDEN; JOHANSEN, 1980; GILBERTSON; RYVARDEN, 1986; GILBERTSON; RYVARDEN, 1987; RYVARDEN, 1991, 2004, 2010, 2015; NUNEZ; RYVARDEN, 1995; PEGLER, 1983, 1997) e bancos de dados como Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org>) e Mycobank (<http://www.mycobank.org>).

Isolamento micelial

Para o isolamento, foi retirado um fragmento do basidioma e em câmara de fluxo laminar, foi submetido ao processo de desinfecção pela imersão por 4 min em hipoclorito a 2,5%, seguido por duas lavagens em água destilada estéril. Após a desinfecção, esse fragmento foi cortado em três fragmentos de aproximadamente 5 mm², e transferidos para placas de Petri contendo meio Batata-Dextrose-Agar-BDA (infusão de 200 g de batata, 20 g de dextrose, 15 g de ágar, 1000 mL de água destilada), Ágar Malte-AM (30 g de extrato de malte, 15 g de ágar, 1000 mL de água destilada) e Ágar Aveia-AA (30 g de aveia, 15 g de ágar, 1000 mL de água destilada) com adição de 100 µg/mL de antibiótico cloranfenicol para prevenir o crescimento de bactérias (MORRISON et al., 1991). Os isolamentos foram incubados a 28 °C durante até 7 dias ou até o crescimento do micélio. Após o crescimento as culturas foram purificadas e armazenadas em tubos de ensaio contendo meio de cultura BDA inclinado e mantidos sob refrigeração a 4 °C, com finalidade de preservação dos exemplares (BONONI; TRUFEM, 1985;

CORNELIS, 1987). Os fungos foram conservados utilizando dois métodos de conservação, óleo mineral e Castellani (SOLA et al., 2012).

Preparação dos extratos do micélio

As culturas isoladas foram cultivadas em placas de Petri em BDA durante 14 dias a 28 °C e, posteriormente, 10 plugs medindo 5 mm de diâmetro foram transferidos para um frasco Erlenmeyer contendo 20 mL de meio caldo Batata-Dextrose-BD (infusão de 200 g de batata, 20 g de dextrose, 1000 mL de água destilada) e incubados a 28 °C sem agitação por 14 dias. Após a incubação, o micélio foi separado por filtração do meio líquido e secos a 37 °C até a evaporação total do meio líquido. 1 g de pó de micélio seco foi macerado com etanol por 24 h, por três vezes (ATHAYDE, 2011). Após o processo de maceração, as amostras foram filtradas e secas a 37 °C até a evaporação total do solvente. Rendimentos dos extratos foram calculados e dissolvidos em Dimetilsulfóxido (DMSO) a uma concentração de 20 mg/mL.

Preparação dos extratos de basidioma

Para a extração, 1 g de pó de basidioma seco foi macerado com etanol por 24 h, por três vezes (ATHAYDE, 2011). Após o processo de maceração, as amostras foram filtradas e secas a 37 °C até a evaporação total do solvente. Rendimentos dos extratos foram calculados e dissolvidos em DMSO na concentração de 20 mg/mL.

Concentração Inibitória Mínima e Concentração Microbicida Mínima

A atividade antimicrobiana foi realizada por técnica de microdiluição, utilizando microplacas de 96 poços estéreis. Foram utilizados como microrganismos teste as bactérias *Staphylococcus aureus* (ATCC 12598), *Streptococcus pneumoniae* (ATCC 11733), *Escherichia coli* (ATCC 10536), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603) e o fungo leveduriforme *Candida albicans* (ATCC 90028).

Para realização do bioensaio, foram selecionadas de três a cinco colônias bacterianas, bem isoladas, do mesmo tipo morfológico de cultura de cada um desses microrganismos bacterianos em placa de Petri com meio ágar Müller-Hinton (MH) sendo o mesmo processo realizado com as colônias fúngicas crescido em ágar Sabouroud-Dextrose (SDA). Cada colônia foi tocada com uma alça e transferida para tubos contendo 5 mL de solução salina esterilizada de modo a obter uma turbidez óptica comparável à da solução padrão de 0,5 da escala de McFarland.

Diluições sucessivas foram realizadas nas placas contendo 96 poços. Para atividade antibacteriana, foi distribuído 100 µL de meio Müller-Hinton (MH) em todos os poços da placa, e em seguida, adicionados 100 µL de cada extrato na concentração de 20 mg/mL na primeira fileira de poços, seguindo o processo de diluição seriada, homogeneizando e transferindo 100 µL para o próximo poço, e assim sucessivamente, resultando na concentração final de 0,62 mg/mL.

A droga controle, cloranfenicol 2 mg/mL, foi diluído de forma semelhante aos extratos. Foram adicionados 5 µL do inóculo correspondente a cada cepa testada exceto para o controle negativo segundo norma M7-A6 (CLSI, 2003). O controle negativo continha somente 100 µL de meio MH e o controle positivo 100 µL de meio MH e 5 µL de inóculo. As microplacas foram incubadas a 37 °C por 24 h, após esse período foi adicionado em cada poço 20 µL do reagente resazurina (0,15 mg/mL), que indica crescimento microbiano quando muda a coloração azul para o vermelho (OLIVEIRA et al., 2013; RISS et al., 2016).

Para avaliação da CIM dos extratos com atividade antifúngica, foram distribuídos 100 µL de meio Sabouraud Dextrose (SD) em todos os poços da placa, adicionado 100 µL do extrato na concentração de 20 mg/mL. Seguiu o processo de diluição descrito anteriormente. A droga controle, Fluconazol 2 mg/mL, foi diluído de forma semelhante aos extratos. Foi adicionado 5 µL de inóculo correspondente a cada cepa testada em todos os poços, exceto para o controle negativo, de acordo com a norma M27-A2 (CLSI, 2002). O controle negativo continha apenas 100 µL de caldo SD, e o controle positivo 100 µL de caldo SD e 5 µL inóculo. As microplacas foram incubadas a 37 °C por 48 h, após esse período foi adicionado em cada poço 20 µL do reagente Resazurina (0,15 mg/mL), que indica crescimento microbiano quando muda a coloração azul para o vermelho (OLIVEIRA et al., 2013; RISS et al., 2016). Os ensaios serão realizados em triplicata.

Para determinação da concentração microbicida mínima (CMM), a fim de avaliar a se o extrato teve ação bacteriostática/fungistática ou bactericida/fungicida, foi utilizado *swab* estéril para absorver o conteúdo dos poços que apresentaram inibição para crescimento microbiano, a partir do menor valor de CIM, e duas diluições acima desse valor, inoculadas em placas de Petri contendo meio ágar MH para bactérias e ágar SD para fungo. As placas foram incubadas a 37 °C, durante 24 h e observado o desenvolvimento de colônias microbianas (AZEVEDO et al., 2012).

Caracterização Molecular

A caracterização molecular dos fungos com as melhores atividades antimicrobianas foi realizada com a extração do DNA, seguida pela amplificação da região ITS (Internal Transcribed Spacer). Para extração do DNA genômico dos fungos 5.366, 5.367(3), 5.385, 5.391 e 5.392 foram pesados 100 mg do micélio crescidos em meio BDA. O material biológico para extração do DNA dos isolados 5.377 e 5.405 foi a partir dos basidiomas coletados. As amostras foram maceradas manualmente com o auxílio de cadinho e pistilo, adicionando nitrogênio líquido.

O método de extração de DNA seguiu o protocolo de Doyle e Doyle (1987). O tampão de extração CTAB 3% foi preparado utilizando NaCl 1,4 M, EDTA 0,5 M com pH 8,0 e TRIS-HCl 1,0 M com pH 8,0. Em seguida, a amostra foi homogeneizada e colocada em banho-maria à 64° C durante uma hora, com homogeneizações a cada 15 minutos. Para cada amostra, foram adicionados 0,5 mL de CIA (24:1; Clorofórmio: Álcool Isoamílico), sendo agitada manualmente durante um minuto, após centrifugadas a 8000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi transferido para um novo microtubo, adicionando novamente 0,5 mL de CIA, homogeneizando e centrifugando a 8000 rpm por 10 minutos. Em seguida, o sobrenadante foi retirado para outro microtubo e foram adicionados 0,35 mL de isopropanol gelado (-20 °C). As amostras foram homogeneizadas novamente e mantida a -20 °C por 1 h.

Após esse período, as amostras foram centrifugadas a 8000 rpm por 10 minutos. O *pellet* foi lavado com etanol 70%, centrifugado a 7500 rpm por 5 minutos e depois seco a temperatura ambiente. Por fim, o *pellet* foi ressuscitado em 50 µL de água mili-Q esterilizada, adicionando-se 2 µL de RNase na amostra.

A amplificação de rDNA da região ITS foi realizado em uma reação de 50 µL, que incluiu 2 µL de molde de DNA (1-20 ng), 0,4 µM de cada *primer* ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') e ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (WHITE et al., 1990), 1,5 mM MgCl₂, 0,2 µM dNTPs, 5 µL de tampão Taq e 1,25 U Taq DNA polimerase (Ludwig Biotec). A amplificação foi realizada em um termociclador (Bio-Rad) com a desnaturação inicial a 95 °C por 2 minutos, seguido por 35 ciclos de amplificação (95°C por 30 segundos, 55°C por 30 segundos e 72°C por 1 min) e uma etapa de extensão de 72 °C por 7 minutos.

O DNA extraído foi analisado em gel de agarose 1%. A solução tampão para a corrida do gel foi preparada utilizando 10,8 g de TRIS, 5,5 g de ácido bórico (H₃BO₃) e 0,74 g/4 mL de EDTA 0,5 M com pH 8,0. Foram utilizados 4 µL de DNA extraído e corados com 3 µL BlueJuic Gel Loading Buffer (10X) Invitroge. Como marcador molecular foi utilizado 2 µL do

Ladder 100bp (Ludwig Biotec). A corrida do DNA foi a 100 V, por 45 minutos. A visualização foi realizada em um fotodocumentador de imagens.

Os produtos de PCR em torno de 600 a 700 bps foram purificados usando o QIAquick PCR Purification Kit (Qiagen) e quantificados em espectrofotômetro Nanodrop.

As amostras foram encaminhadas para laboratório externo para o sequenciamento. As reações de sequenciamento foram realizadas usando os *primers* forward e reverse em um sequenciador de DNA 7330xl (Applied Biosystems). As leituras das sequências de cada isolado foram pareadas para gerar uma sequência de consenso, usando os programas Chromas (<http://www.technelysium.com.au/chromas.html>) e Bioedit (<http://www.mbio.ncsu.edu/BioEdit/bioedit.html>). As sequências consensos foram comparadas com outras sequências através do BLASTn no NCBI. Os resultados que apresentaram os melhores *top hits* foram usados para identificar os fungos.

Atividade enzimática

Foram avaliadas a atividade das enzimas celulase, protease, amilase e lipase. Os basidiomicetos isolados foram previamente crescidos em BDA por 7 dias a 28 °C e posteriormente foram retirados plugs medindo 5 mm de diâmetro que foram inoculados em meios de cultura específicos para cada enzima e incubados a 28 °C por sete dias. Todos experimentos foram realizados em triplicata.

Atividade de amilase

Para a produção de amilase, cada plug de 5 mm foi inoculado em meio mínimo (0,19g NaNO₃, 0,59g, KH₂PO₄, 0,25g MgSO₄.7H₂O, 0,25g KCl, 0,005g FeSO₄. 7H₂O, 5g glicose e 15g ágar para 1L), suplementado com 2,7g extrato de carne, 4,5g peptona, 20g de amido para 1 L, com pH 6,0. Após a incubação foi utilizado como revelador o iodo sublimado. Os resultados das reações enzimáticas positivas foram identificados pela formação de um halo de degradação translúcido ao redor da colônia (DINGLE et al., 1953).

Atividade de protease

Para a produção de protease, cada plug de 5 mm foi inoculado em meio mínimo (0,19g NaNO₃, 0,59g KH₂PO₄, 0,25g MgSO₄.7H₂O, 0,25g KCl, 0,005g FeSO₄.7H₂O, 5g glicose e 15g ágar para 1L), suplementado com 2% de leite desnatado, com pH 6,5 não sendo necessária a adição de solução reveladora. Os resultados das reações enzimáticas positivas foram

identificados pela formação de um halo de degradação translúcido ao redor da colônia (DINGLE et al., 1953).

Atividade de celulase

Para a produção de celulase, cada plugs de 5 mm foi inoculado em meio sólido contendo ágar carboximetilcelulose (CMC) (carboximetilcelulose 10g, ágar 15g para 1L), e incubadas a 28 °C por 7 dias. Após incubação, as placas foram reveladas com iodo sublimado e realizado a mensuração do halo de degradação (MEDDEB-MOUELHI et al., 2014).

Atividade de lipase

Para a produção da lipase, cada plug de 5 mm foi inoculado em meio mínimo (0,19g NaNO₃, 0,59g KH₂PO₄, 0,25g MgSO₄.7H₂O, 0,25g KCl, 0,005g FeSO₄.7H₂O, 5g glicose e 15g ágar para 1L), e suplementado com 2% de Tween 80, com pH 6,5 não sendo necessária à adição de solução reveladora (SIERRA, 1957). Após incubação por 7 dias a 28 °C, as placas foram armazenadas em geladeira a 4 °C por 7 dias. A reação enzimática positiva para lipase foi visualizada pela formação de cristais de sal de cálcio do ácido láurico liberado pela enzima em volta da colônia, adaptado de (HANKIN, ANAGNOSTAKIS, 1975; FERNANDES, 2009).

Determinação enzimática

A determinação enzimática foi expressa como Índice Enzimático (IE), que consiste na relação do diâmetro médio do halo de degradação e o diâmetro médio da colônia (HANKIN; ANAGNOSTAKIS, 1975). Dessa forma, os isolados que exibiram os maiores IE nos meios de crescimento, são os que possuem maior atividade enzimática extracelular (OLIVEIRA et al., 2006).

Análise estatística

A diversidade foi analisada através da frequência relativa expressa em porcentagem. Para a análise antimicrobiana foi considerado o menor valor do CIM das triplicatas e CMM através da quantidade de colônias crescidas. Para a análise enzimática foram utilizados os diâmetros dos halos provenientes das três repetições, considerando os valores médios e desvio padrão.

RESULTADOS

Coleta e identificação

Foram coletados 55 Agaricomycetes, classificados nas ordens Agaricales (45,45%), Polyporales (41,81%), Auriculariales (9,09%) e Hymenochaetales (3,63%), distribuídos em 16 famílias, 23 gêneros e 16 espécies, ocorrentes em dois substratos, madeira e solo (Tabela 1) e (Figuras 2 e 3). A espécie *Clitopilus prunulos* é relatada pela primeira vez para o Estado do Acre (Figura 4).

Tabela 1. Identificação dos Agaricomycetes coletados na Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.

Ordem	Família	Identificação	Substrato	Código
Agaricales	Agaricaceae	<i>Agaricus</i> sp.	Ma	5.389
	Cortinariaceae	Cortinariaceae	Ma	5.410
	Entolomataceae	<i>Clitopilus prunulos</i> (Scop.) P. Kumm. *	Ma	5.385
			Ma	5.413
	Marasmiaceae	<i>Hydropus nigrita</i> (Berk. & Curt.) <i>Marasmius rhabarbarinus</i> Berk. <i>Marasmius</i> sp. <i>Marasmius</i> sp. <i>Marasmius</i> sp. <i>Marasmius</i> sp. <i>Marasmius</i> sp. <i>Marasmius</i> sp. <i>Marasmius</i> sp. <i>Marasmius</i> sp.	So	5.398
			So	5.371
			Ma	5.373
			Ma	5.375
			So	5.376
			Ma	5.378
			Ma	5.392
			Ma	5.416
			Ma	5.387
			Mycenaceae	<i>Filoboletus gracilis</i> (Klotzsch ex Berk.) Singer Mycenaceae Mycenaceae <i>Tetrapyrgos nigripes</i> (Fr.) E. Horak
	So	5.380		
	So	5.394		
	So	5.367		
	Omphalotaceae	<i>Gymnopus</i> sp.	So	5.395
	Psathyrellaceae	<i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J. E. Large	So	5.366
			Ma	5.365
	-	Agaricales	Ma	5.379
	-	Agaricales	So	5.381
	-	Agaricales	Ma	5.388
Polyporales	Ganodermataceae	<i>Amauroderma</i> sp.	Ma	5.370
		<i>Ganoderma flaviporum</i> (Murrill) Sacc. & Trot <i>Ganoderma</i> sp.	So	5.405
			Ma	5.390
	Irpicaceae	<i>Gloeoporus telephoroides</i> (Hook.) G. Cunn <i>Gloeoporus telephoroides</i> (Hook.) G. Cunn	Ma	5.409
			Ma	5.415
	Panaceae	<i>Panus</i> sp.	Ma	5.400
	Phanerochaetaceae	<i>Ceriporia</i> sp.	Ma	5.391
	Polyporaceae	<i>Coriolopsis caperata</i> (Berk.) Murrill <i>Lentinus strigosus</i> Fr.	Ma	5.369
			Ma	5.402

		<i>Lentinus strigosus</i> Fr.	Ma	5.406
		<i>Corioloopsis caperata</i> (Berk.) Murrill	So	5.399
		<i>Favolus tenuiculus</i> P. Beauv.	Ma	5.386
		<i>Favolus tenuiculus</i> P. Beauv.	Ma	5.393
		<i>Hexagonia papyracea</i> Berk.	Ma	5.384
		Polyporaceae	Ma	5.372
		Polyporaceae	Ma	5.396
		Polyporaceae	Ma	5.418
		<i>Polyporus</i> sp.	Ma	5.374
		<i>Polyporus</i> sp.	Ma	5.412
		<i>Trametes modesta</i> (Kunze) Fr.) Ryvarden	Ma	5.377
		<i>Trametes modesta</i> (Kunze) Fr.) Ryvarden	Ma	5.397
	Steccherinaceae	<i>Flabellophora</i> sp.	Ma	5.383
		<i>Flabellophora</i> sp.	Ma	5.401
	-	Polyporales	Ma	5.408
	-	Polyporales	Ma	5.417
Auriculariales	Auriculariaceae	<i>Auricularia delicata</i> (Fr.) Henn	Ma	5.419
		<i>Auricularia fuscosuccinea</i> (Mont.) Henn	Ma	5.382
		<i>Auricularia fuscosuccinea</i> (Mont.) Henn	Ma	5.414
		<i>Auricularia fuscosuccinea</i> (Mont.) Henn	Ma	5.411
		<i>Auricularia fuscosuccinea</i> (Mont.) Henn	Ma	5.404
	Hygrophoraceae	<i>Cotylidia aurantiaca</i> (Pers.) A.L.Welden	Ma	5.368
Hymenochetales		<i>Cotylidia</i> sp.	Ma	5.403

Ma: madeira; So: solo; * Nova ocorrência.

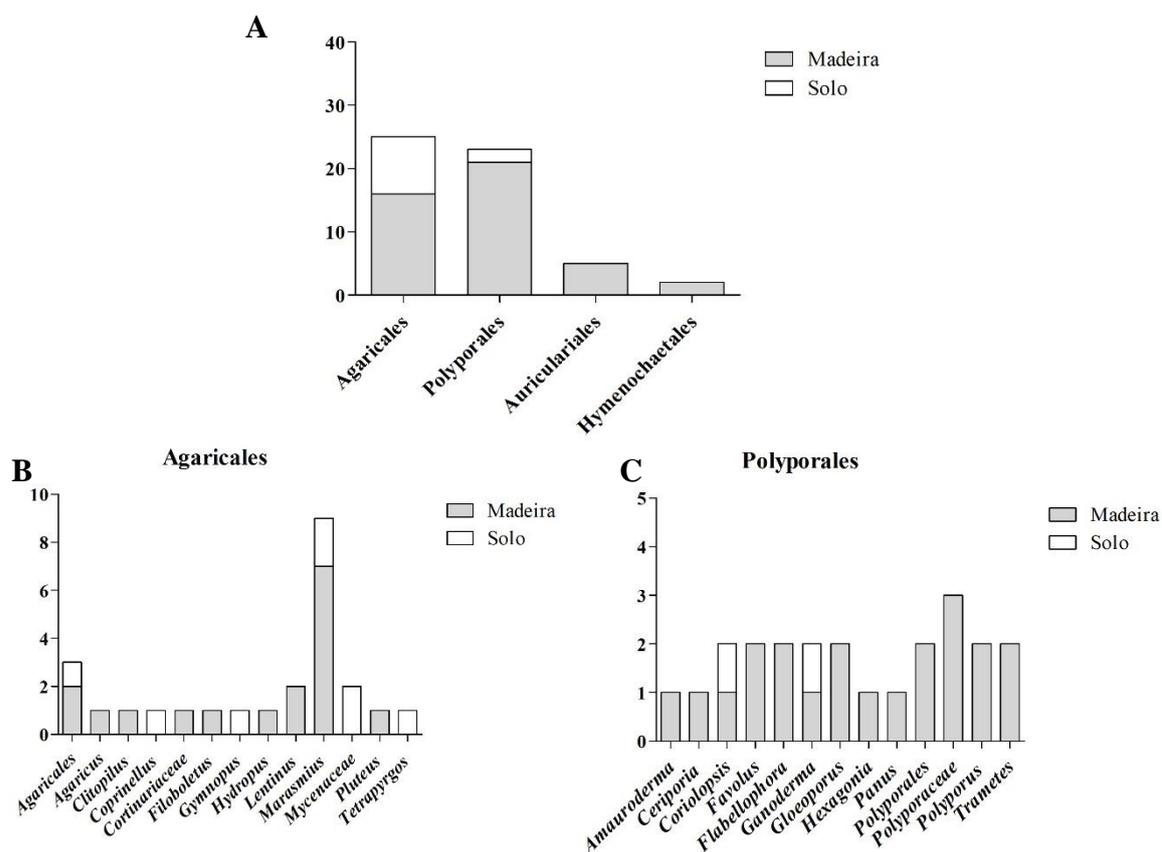


Figura 2. Ocorrência dos fungos da Classe Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá em relação ao substrato. A. Ocorrência das ordens em relação ao substrato. B. Ocorrências dos gêneros da ordem Agaricales em relação ao substrato. C. Ocorrências dos gêneros da ordem Polyporales em relação ao substrato.





Figura 3. Espécimes coletadas na Reserva Florestal Humaitá. 1. *Polyporus* sp.; 2. e 3. *Marasmius* sp.; 4. *Agaricus* sp.; 5. *Panus* sp.; 6. *Tetrapyrgos nigripes*; 7. *Trametes modesta*; 8. *Ceriporia* sp.; 9. *Hydropus nigrita*; 10. *Polyporus* sp.; 11. Agaricales; 12. *Marasmius rhabarbarinus*; 13. *Clitopilus prunulus*; 14. *Auricularia delicata*; 15. *Auricularia fuscossuccinea*; 16. *Ganoderma flaviporum*; 17. Polyporales; 18. *Lentinus strigosus*; 19. *Gymnopus* sp.; 20. *Favolus tenuiculus*; 21. *Corioloopsis caperata*; 22. *Flabellophora* sp.; 23. e 24. *Gloeoporus telephoroides*; 25. *Ganoderma* sp.; 26. *Filoboletus gracilis*; 27. *Hexagonia papyracea*; 28. *Cotylidia aurantiaca*.



Figura 4. Agaricomíceto *Clitopilus prunulus*, primeira ocorrência para o estado do Acre.

Isolamento

Um total de 55 Agaricomycetes foram coletados e todos foram submetidos ao processo de isolamento, 24 (43,63%) culturas foram isoladas, pois houve alta taxa de contaminação com os fungos dos gêneros *Xylaria*, *Trichoderma* e *Pestalotiopsis*.

Produção dos extratos

Dos 55 Agaricomycetes coletados, 17 foram utilizados para produção de extratos do basidioma e 22 para produção de extrato do micélio (Tabela 2). A baixa quantidade de fungos para produção de extratos se deve ao fator limitante para cada técnica, para extrato de basidioma é necessário o mínimo de 1g para extração, e para produção do extrato do micélio foi a contaminação por bactérias.

Tabela 2. Relação em miligramas da produção dos extratos de basidioma e de micélio de Agaricomycetes coletados na Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.

Código	Identificação	Extrato do basidioma mg	Extrato do micélio mg
5.367.2	\Agaricales	-	1.460
5.367.3	Agaricales	-	165
5.381	Agaricales	-	283
5.388	Agaricales	-	181
5.389	<i>Agaricus</i> sp.	99,2	-
5.391	<i>Cotilidia</i> sp.	14,4	296
5.385	<i>Clitopilus prunalus</i>	-	209
5.399	<i>Corioloopsis caperata</i>	61,9	-
5.403	<i>Cotyldia</i> sp.	-	320
5.386	<i>Favolus tenuiculus</i>	-	230
5.393	<i>Favolus tenuiculus</i>	129,3	-
5.383	<i>Flabellophora</i> sp.	61,6	259
5.401	<i>Flabellophora</i> sp.	-	207
5.405	<i>Ganoderma flaviporum</i>	69,8	122
5.390	<i>Ganoderma</i> sp.	33,2	-
5.409	<i>Gloeoporus telephoroides</i>	65,1	-
5.415	<i>Gloeoporus telephoroides</i>	70,9	-
5.406	<i>Lentinus strigosus</i>	31,3	-
5.392	<i>Marasmius</i> sp.	-	405
5.387	<i>Marasmius</i> sp.	-	298
5.394	Mycenaceae	-	210
5.365	<i>Pluteus</i> sp.	-	239
5.372	Polyporaceae	56,5	194
5.396	Polyporaceae	31,2	-
5.418	Polyporaceae	40,3	425
5.408	Polyporales	44,7	-
5.417	Polyporales	53,8	-
5.412	<i>Polyporus</i> sp.	66	196
5.374	<i>Polyporus</i> sp.	-	103
5.374.2	<i>Polyporus</i> sp.	-	125
5.366	Strophariaceae	-	1.475
5.397	<i>Trametes modesta</i>	7,5	210

Atividade Antimicrobiana

A Concentração Inibitória Mínima (CIM) com extratos dos basidiomas de Agaricomycetes variou de 10 mg/mL para a espécie *Favolus tenuiculus* a 0,62 mg/mL para a espécie *Trametes modesta* (Tabela 3).

Dos extratos testados, 66,66% apresentaram atividade contra todas as bactérias testadas. Os isolados das espécies *Trametes modesta* 5.377, *Gloeoporus telephoroides* 5.409 e 5.415 e um exemplar da família Polyporaceae 5.372 apresentaram o menor CIM e foram ativas contra as bactérias *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*.

Os isolados que apresentaram os melhores valores microbicidas foram: *Trametes modesta* 5.377, Polyporaceae 5.372 e *Gloeoporus telephoroides* 5.409 contra *Klebsiella pneumoniae*; *Lentinus strigosus* 5.406 e *Gloeoporus telephoroides* 5.415 contra *Staphylococcus aureus*; *Flabellophora* sp. 5.383 e *Coriolopsis caperata* 5.399 contra *Streptococcus pneumoniae*; e *Ganoderma flaviporum* contra *Escherichia coli*.

Nenhum extrato testado apresentou atividade contra as cepas de *Candida* analisadas.

Tabela 3. Atividade antimicrobiana com extratos de basidiomas de Agaricomycetes isolados da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.

Código	Identificação	Microrganismo							
		mg/mL							
		<i>Sau</i>		<i>Spn</i>		<i>Eco</i>		<i>Kpn</i>	
CIM	CMM	CIM	CMM	CIM	CMM	CIM	CMM		
5.389	<i>Agaricus</i> sp.	-	-	5	5	5	>20	2,5	2,5
5.399	<i>Coriolopsis caperata</i>	-	-	2,5	2,5	5	>20	2,5	2,5
5.393	<i>Favolus tenuiculus</i>	10	10	5	5	2,5	>10	2,5	>10
5.383	<i>Flabellophora</i> sp.	-	-	2,5	2,5	5	>20	1,25	>5
5.405	<i>Ganoderma flaviporum</i>	5	5	2,5	>10	5	5	2,5	2,5
5.390	<i>Ganoderma</i> sp.	-	-	5	5	5	>20	2,5	>10
5.409	<i>Gloeoporus telephoroides</i>	5	5	2,5	>10	5	20	0,62	0,62
5.415	<i>Gloeoporus telephoroides</i>	5	5	2,5	>10	5	>20	0,62	>2,5
5.406	<i>Lentinus strigosus</i>	5	5	5	5	5	>20	5	>20
5.372	Polyporaceae	1,25	>5	0,62	>2,5	5	10	2,5	2,5
5.418	Polyporaceae	10	>20	2,5	>10	5	10	2,5	>10
5.408	Polyporales	-	-	5	5	5	>20	10	>20
5.417	Polyporales	5	5	1,25	>10	5	>20	1,25	2,5
5.412	<i>Polyporus</i> sp.	5	5	2,5	>10	5	20	1,25	>5
5.377	<i>Trametes modesta</i>	1,25	>5	0,62	>2,5	5	10	0,62	1,25
Droga controle	Cloranfenicol 30 µg/MI	0,62	-	0,62	-	0,62	-	0,62	-
Total		10	10	15	15	15	11	15	15

Sau: *Staphylococcus aureus*; *Spn*: *Streptococcus pneumoniae*; *Eco*: *Escherichia coli*; *Kpn*: *Klebsiella pneumoniae*. CIM: Concentração Microbicida Mínima; CMM: Concentração Microbicida Mínima.

A Concentração Inibitória Mínima (CIM) com extratos dos micélios de Agaricomycetes variou de 20 mg/mL para a espécie *Trametes modesta* 5.997 a 0,62 mg/mL para o isolado Agaricales 5.367(3) (Tabela 4).

Para a atividade antimicrobiana dos extratos de micélios de Agaricomycetes, a espécie *Trametes modesta* 5.397 e um exemplar da ordem Agaricales 5.367(3) apresentaram a menor CIM e foram microbicidas contra *Klebsiella pneumoniae* e *Staphylococcus aureus*, respectivamente. Dos extratos testados, 73,91% apresentaram atividade contra o fungo leveduriforme *Candida albicans*, e *Clitopilus prunulus* teve o menor CIM 2,5 mg/mL.

Tabela 4. Atividade antimicrobiana dos extratos de micélios de Agaricomycetes isolados da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.

Código	Identificação	Microrganismo									
		mg/mL									
		<i>Sal</i>		<i>Spn</i>		<i>Kpn</i>		<i>Eco</i>		<i>Cal</i>	
CIM	CMM	CIM	CMM	CIM	CMM	CIM	CMM	CIM	CMM	CIM	CMM
5.367(2)	Agaricales	20	>20	5	5	10	10	5	>20	5	>20
5.367(3)	Agaricales	0,62	>2,5	2,5	2,5	5	5	5	10	5	>20
5.381	Agaricales	10	>20	5	>20	-	-	5	20	-	-
5.388	Agaricales	20	>20	10	>20	5	5	5	20	-	-
5.391	<i>Ceriporia</i> sp.	10	>20	5	5	5	5	5	>20	5	>20
5.385	<i>Clitopilus prunulus</i>	10	>20	5	5	5	>20	5	10	2,5	>10
	<i>Coprinellus</i>	1,25	>5	2,5	>10	2,5	2,5	5	>20	5	5
5.366	<i>disseminatus</i>										
5.403	<i>Cotylidia</i> sp.	10	20	5	>20	5	>20	5	20	5	>20
5.383	<i>Flabellophora</i> sp.	10	>20	5	>20	5	5	5	>20	5	10
5.401	<i>Flabellophora</i> sp.	10	>20	10	>20	5	2,5	5	20	10	>20
5.386	<i>Favolus tenuiculus</i>	10	>20	10	>20	5	>20	5	10	5	>20
	<i>Ganoderma</i>	10	>20	10	>20	5	10	5	10	5	>20
5.405	<i>flaviporum</i>										
5.378	<i>Marasmius</i> sp.	10	20	5	>20	5	5	5	20	-	-
5.392	<i>Marasmius</i> sp.	10	>20	2,5	>10	1,25	2,5	5	20	5	10
5.387	<i>Marasmius</i> sp.	10	>20	10	10	5	>20	5	>20	10	>20
5.394	Mycenaceae	10	>20	5	>20	5	5	5	>20	5	>20
5.365	<i>Pluteus</i> sp.	10	>20	5	>20	5	>20	5	20	10	>20
5.372	Polyporaceae	2,5	>10	5	>20	5	>20	5	10	5	>20
5.418	Polyporaceae	10	20	10	>20	5	>20	5	10	5	>20
5.412	<i>Polyporus</i> sp.	10	>20	10	>20	5	>20	5	20	5	>20
5.374	<i>Polyporus</i> sp.	10	>20	5	>20	10	>20	5	20	-	-
5.374(2)	<i>Polyporus</i> sp.	10	>20	2,5	>10	5	>20	5	20	-	-
5.397	<i>Trametes modesta</i>	20	20	2,5	>10	0,62	0,62	5	10	-	-
Droga	Cetoconazol	-	-	-	-	-	-	-	-	0,62	-
Controle	50 µg/mL										
Droga	Cloranfenicol	0,62	-	0,62	-	0,62	-	1,25		0,62	-
controle	30 µg/mL										
	Total	23	23	23	23	22	22	23	323	17	17

Sau: *Staphylococcus aureus*; Spn: *Streptococcus pneumoniae*; Eco: *Escherichia coli*; Kpn: *Klebsiella pneumoniae*; CIM: Concentração Inibitória Mínima; CMM: Concentração Microbicida Mínima.

Identificação Molecular

As sequências obtidas e comparadas com as depositadas no *National Center for Biotechnology Information* (NCBI), identificaram um fungo ao nível de gênero, três em espécie e três não mostraram compatibilidade suficiente entre a espécie identificada e a foto do espécime para determinar sua identificação, por isso foi aceito a identificação morfológica (Tabela 5).

Tabela 5. Comparação das sequências obtidas com as sequências depositadas no banco de dados do *National Center for Biotechnology Information*.

Código do fungo	Origem	Nº de acesso NCBI	Identificação molecular	Porcentagem de identidade
5.405	Basidioma	MN077525.1	<i>Ganoderma flaviporum</i>	99,64%
5.385	Micélio	KX960794.1	<i>Clitopilus prunulus</i>	96,79%
5.366	Micélio	KJ832035.1	<i>Coprinellus disseminatus</i>	100%
5.391	Micélio	MH267854.1	<i>Ceriporia</i> sp.	98,96%



Figura 5. Exemplos submetidos a identificação molecular. A. *Trametes modesta*; B. *Ganoderma flaviporum*; C. *Clitopilus prunulus*; D. *Coprinellus disseminatus*; E. *Ceriporia* sp.; F. *Marasmius* sp.

Atividade Enzimática

Dos 24 Agaricomycetes isolados e analisados, 19 (79,16%) apresentaram atividade enzimática e para pelo menos uma das enzimas analisadas. A atividade enzimática mais frequente dos fungos

analisados foi celulolítica (73,78%), com destaque para a espécie *Trametes modesta* 5.397 e Polyporaceae 5.418 com halos de 40 e 61 mm, respectivamente, seguida pela enzima protease (52,63%), com os maiores halos obtidos por *Clitopilus prunulus* 5.385 e *Favolus tenuiculus* 5.386. Os maiores halos para amilase (21,05%) foram apresentados pelos isolados *Coprinellus disseminatus* 5.366 e Polyporaceae 5.418. Apenas três isolados produziram a enzima lipase (15,78%), sendo estes, *Polyporus* sp. 5.374(2), *Marasmius* sp. 5.392 e *Ceriporia* sp., com IE de 0,559, 0,962 e 1,261 respectivamente. O isolado *Polyporus* sp. 5.374(2) foi o único a produzir as quatro enzimas testadas (Figura 5, 6 e 7) e (Tabela 6).

Tabela 6. Produção de enzimas por fungos Agaricomycetes da Reserva Florestal Humaitá, Acre, Brasil.

Código	Identificação	Índice enzimático			
		Celulase	Protease	Amilase	Lipase
5.381	Agaricales	0,75±0,08	0,76±0,17	-	-
5.367(2)	Agaricales	0,25±0,02	1,01±0,02	0,20±0,01	-
5.388	Agaricales	-	1,01±0,02	-	-
5.391	<i>Ceriporia</i> sp.	-	-	-	1,26±0,25
5.385	<i>Clitopilus prunulus</i>	-	1,04±0,03	-	-
5.366	<i>Coprinellus disseminatus</i>	0,20±0,03	-	0,62±0,06	-
5.386	<i>Favolus tenuiculus</i>	-	1,04±0,02	-	-
5.383	<i>Flabellophora</i> sp.	0,33±0,04	0,86±0,20	-	-
5.395	<i>Gymnopus</i> sp.	0,12±0,005	-	-	-
5.378	<i>Marasmius</i> sp.	0,33±0,09	-	-	-
5.392	<i>Marasmius</i> sp.	0,08±0,06	-	-	0,96±0,06
5.394	Mycenaceae	0,16±0,14	-	-	-
5.400	<i>Panus</i> sp.	0,30±0,03	-	-	-
5.365	<i>Pluteus</i> sp.	-	1,01±0,03	-	-
5.372	Polyporaceae	0,21±0,20	-	-	-
5.418	Polyporaceae	0,86±0,18	0,71±0,14	0,86±0,18	-
5.374	<i>Polyporus</i> sp.	0,40±0,51	-	-	-
5.374(2)	<i>Polyporus</i> sp.	0,22±0	0,98±0,02	0,55±0,19	0,55±0,27
5.397	<i>Trametes modesta</i>	0,83±0,20	1±0	-	-
Total		14	10	4	3

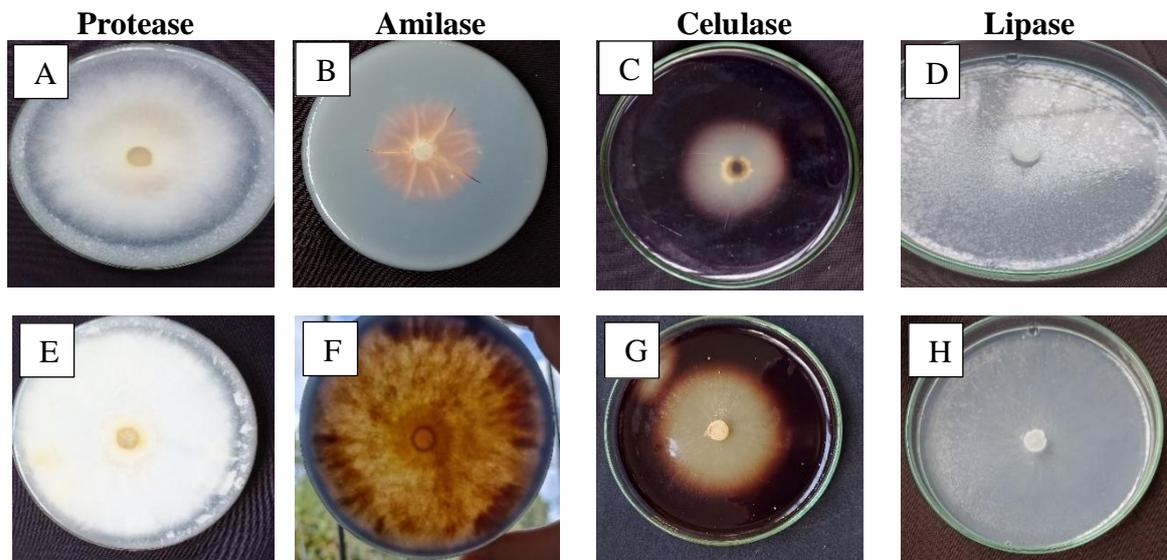


Figura 6. Agaricomycetes com melhor para produção enzimática. A. *Clitopilus prunulus*; B. *Coprinellus disseminatus*; C. *Trametes modesta*; D. *Ceriporia* sp.; E. *Favolus tenuiculus*; F-G. Polyporaceae; H. *Marasmius* sp.

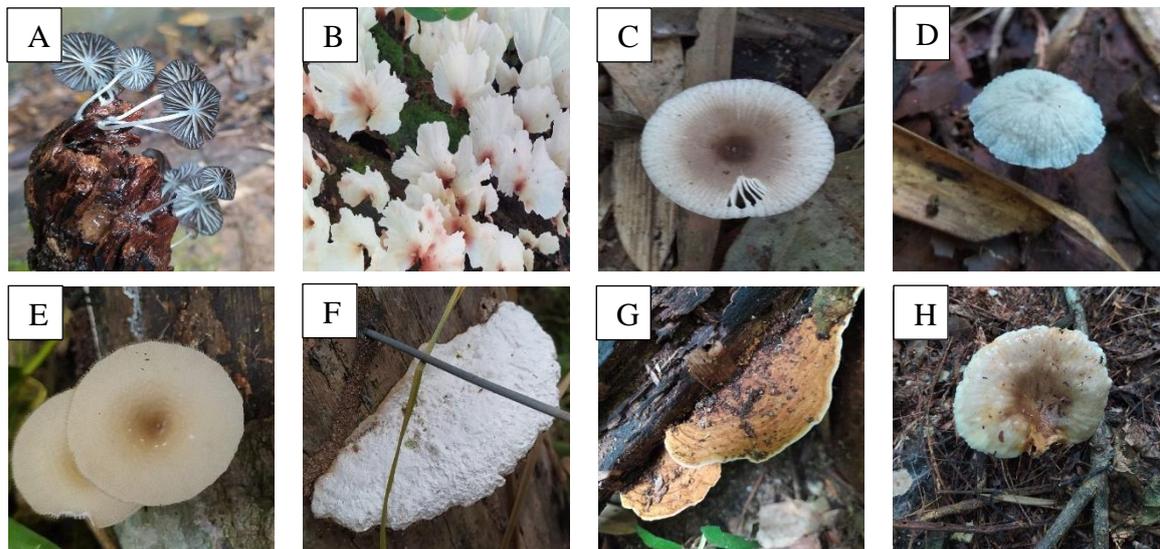


Figura 7. Fungos produtores de mais de uma enzima hidrolítica. A. *Marasmius* sp.; B. *Flabellophora* sp.; C. Agaricales; D. *Tetrapyrgos nigripes*; E. *Polyporus* sp.; F. Polyporaceae; G. *Trametes modesta*; H. Agaricales.

DISCUSSÃO

Os 55 Agaricomycetes coletados, foram classificados nas ordens Agaricales (45,45%), Polyporales (41,81%), Auriculariales (9,09%) e Hymenochaetales (3,63%), distribuídos em 16 famílias, 23 gêneros e 16 espécies.

As ordens Agaricales e Polyporales também foram as mais frequentes em outros trabalhos realizados no Estado do Acre (BONONI, 1992; SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2020; COSTA et al., 2021). Atualmente, a ordem Agaricales é o grupo com maior número de espécies identificadas no Brasil, quando comparada às demais ordens de Agaricomycetes, com 1038 espécies registradas no país, enquanto Polyporales possui 478 (FUNGI, 2022).

Dos gêneros descritos neste trabalho *Cotylidia*, *Marasmius*, *Lentinus*, *Ganoderma*, *Flabellophora*, *Favolus*, *Hexagonia*, *Amauroderma*, *Coriolopsis*, *Trametes*, *Gloeoporus* e *Auricularia* também foram relatados em outros trabalhos (SILVA et al., 2020; COSTA et al., 2021).

Dos 55 Agaricomycetes coletados, 24 (43,63%) culturas foram isoladas, quantidade relativamente baixa devido alta taxa de contaminação com outras espécies, principalmente dos gêneros *Xylaria*, *Trichoderma* e *Pestalotiopsis*. Resultados semelhantes também foram observados em outros trabalhos, tendo sido ressaltado a necessidade de desenvolver um protocolo de isolamento de Basidiomicetos para evitar perdas por contaminação com outros fungos (SANTOS et al., 2020).

Os extratos do basidioma testados apresentaram atividade contra três ou mais bactérias testadas. Estudos relatam alta atividade antibacteriana de Agaricomycetes estudados contra bactérias Gram-positivas (OZTURK et al., 2011; NOWACKA et al., 2015) e Gram-negativas (SANTOS et al., 2020), confirmando os resultados encontrados neste trabalho, onde todos os fungos com atividade foram eficazes tanto para Gram-negativas como para Gram-positivas. Porém, nenhum isolado dos extratos do basidioma apresentou atividade positiva contra o fungo leveduriforme *Candida albicans*.

Estudos feitos recentemente na Amazônia Brasileira, verificou a atividade antibacteriana de cogumelos coletados no sudoeste da Amazônia, onde 14 espécies tiveram atividade positiva, dentre elas, *Trametes modesta*, *Favolus tenuiculus*, *Marasmius* sp. e *Gloeoporus telephoroides* que com o extrato de metabólito foi ativo contra Gram-negativos *K. pneumoniae* e *E. coli* enquanto o extrato de basidioma foi ativo contra bactérias Gram-positivas (SANTOS et al., 2020).

Em um estudo realizado com extratos aquosos de basidiomas das espécies *Polyporus squamosus*, *Ganoderma applanatum* e *Ganoderma lucidum* exibiram atividade antibacteriana contra todas as bactérias testadas (HASSAN et al., 2019), as mesmas usadas neste estudo.

Dos extratos do micélio testados, 17 (73,91%) apresentaram atividade contra o fungo leveduriforme *Candida albicans*, destacando o isolado da espécie *Clitopilus prunulus* que

demonstrou menor CIM (2,5 mg/mL). Não foram encontrados trabalhos com atividade antimicrobiana dessa espécie, indicando que este é o primeiro relato.

Um estudo desenvolvido com extratos de micélio de uma espécie de *Clitopilus* inibiu levemente o crescimento da bactéria Gram positiva *Staphylococcus aureus*, mas nenhuma atividade foi observada em bactérias Gram negativas (JATUWONG et al., 2016), diferente do encontrado neste trabalho, sendo este fungo eficiente contra ambas bactérias. Recentemente, um estudo também com extrato do micélio de *Clitopilus* apresentou resultados positivos contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* (ATIPHASAWORN et al., 2017).

É sabido que o gênero *Clitopilus* é uma das fontes de pleuromutilina, um diterpeno, que exibe atividade antibacteriana contra patógenos Gram-positivos e espécies de micoplasma por inibição seletiva da síntese de proteínas através da interação com ribossomos procarióticos (YAMANE et al., 2017).

Os Agaricomycetes possuem ampla variedade de compostos antimicrobianos, antiparasitários, antitumorais, dentre outros, em diferentes concentrações, o que pode contribuir para o efeito antimicrobiano, resultando em diversos efeitos na atividade dos extratos (KOSANIC et al., 2016).

A identificação molecular de fungos geralmente é feita utilizando-se *primers* amplificadores da região ITS (SEIFERT, 2009). Entretanto, algumas vezes o resultado obtido não é suficiente para determinar a espécie fúngica, como foi o caso neste estudo. Para que estes possam ser identificados, é necessário que sejam utilizados outros primers, como o LSU (SINGH et al., 2013).

Dos 24 Agaricomycetes isolados, 19 (79,16%) apresentaram produção enzimática. A enzima mais frequente foi celulase, e o maior IE foi produzido pelo isolado *Trametes modesta* 5.397 e Polyporaceae 5.418.

Vários estudos demonstram a capacidade de Agaricomycetes na produção de celulase, dentre eles, podemos destacar De Araújo et al. (2019), que relatou as espécies *Fomitopsis subtropical*, *Marasmius cladophyllus* e *Neonothopanus nambi* e Pereira et al., (2016) que trabalhou também com o gênero *Trametes*.

A maior produção de celulase pode ser explicada pelo fato da maioria dos Agaricomycetes coletados serem decompositores de madeira, logo, em ambiente natural degrada materiais lignocelulósicos para seu crescimento (CAVALCANTE et al., 2019).

Os melhores produtores de amilase neste estudo foram os isolados *Polyporus* sp. 5.374(2) e Polyporaceae 5.418. Não foram encontrados trabalhos referentes aos gêneros *Clitopilus*, *Favolus* e *Polyporus* para as enzimas alvo deste trabalho, caracterizando este como primeiro relato.

Apenas três isolados produziram a enzima lipase, sendo estes, *Polyporus* sp. 5,374(2), *Marasmius* sp. 5.392 e *Ceriporia* sp. 5.391. Não foram encontradas literaturas sobre produção desta enzima para os referidos gêneros, mostrando estes como primeiros relatos.

Contudo, Bu et al. (2020) relatou que *Ganoderma lucidum* aumentou a hidrólise de triglicerídeos, e que seus efeitos antiadipogênicos podem potencialmente serem utilizados em produtos para antiobesidade humana.

CONCLUSÃO

As ordens mais ocorrentes na Reserva Florestal Humaitá foram Agaricales, Polyporales, Auriculariales e Hymenochaetales. A espécie *Clitopilus prunulus* está sendo relatada como primeira ocorrência para o Estado do Acre.

Os isolados das espécies *Clitopilus prunulus* 5.385, *Coprinellus disseminatus* 5.366, *Flabellophora* sp. 5.383, *Favolus tenuiculos* 5.383, *Marasmius* sp 5.392, *Pluteus* sp. 5.365, *Polyporus* sp. 5. 374, *Ceriporia* sp. 5.391, Mycenaceae 5.394, Polyporaceae 5.372 e 5.418, Agaricales 5.381 e 5.388 foram os que apresentaram atividade antimicrobiana e enzimática.

As atividades enzimáticas mais frequentes dos fungos analisados foram celulase, seguida por protease, amilase e lipase.

Diante da ausência de literatura encontrada até o presente momento, este trabalho contém os primeiros relatos enzimáticos para a aos gêneros *Clitopilus*, *Favolus* e *Polyporus* referente às enzimas alvo neste trabalho e para produção de lipase, dos gêneros *Polyporus*, *Marasmius* e *Ceriporia*.

Este trabalho contribui para a descrição de espécies de Agaricomycetes ocorrentes na Reserva Florestal Humaitá, bem como novos dados referentes a atividade antivimicrobiana e enzimática desses fungos.

Diante do déficit de informações na literatura tanto sobre atividade enzimática, quanto antimicrobiana, se faz necessário estudos mais aprofundados sobre Agaricomycetes.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa. À Marcia Texeira e Matheus Gabriel por me auxiliarem na coleta dos fungos.

REFERÊNCIAS

ATHAYDE, M. M. S. **Citoxidade e atividade antimicrobiana de extratos de duas cepas do fungo *Pycnoporus sanguineus* oriundas da Amazônia.** (2011). 40 f. Tese (Faculdade de Odontologia de Piracicaba) – Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba, 2011.

ATIPHASAWORN, P. et al. Antibacterial and antioxidant constituents of extracts of endophytic fungi isolated from *Ocimum basilicum* var. *thyrsoflora* leaves. **Current microbiology**, v. 74, n. 10, p. 1185-1193, 2017.

BEKAI, L. H. **Atividade antibiótica do fungo *Antrodia albida* (Fr.) Donk. cultivado em laboratório.** (2010). 68 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BONONI, V. L. R.; TRUFEM, S. F. B. Cogumelos comestíveis. 2ª Edição. São Paulo: **Editora Ícone**, 1985.

BONONI, V.L.R. Macroscopic fungi from Rio Branco, Acre, Brazil. **Hoehnea**, v. 19, n. 2, p. 31-37, 1992.

BRAGA, A. R. C. **Obtenção e caracterização de enzima B-galactosidase submetida a diferentes processos: purificação, imobilização e altas pressões.** (2012). 135 f. Tese (Engenharia e ciências de alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2012.

BU, S. et al. Medicinal Mushroom Lingzhi or Reishi, *Ganoderma lucidum* (Agaricomycetes), Polysaccharides Suppressed Adipogenesis and Stimulated Lipolysis in HPA-v and 3T3-L1 Adipocytes. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 22, n. 9, p. 897-908, 2020.

CASTRO, A. J. G. et al. Anti-inflammatory, antiangiogenic and antioxidant activities of polysaccharide-rich extract from fungi *Caripia montagnei*. **Biomedicine e Nutrition Preventive**, v. 4, n. 1, p. 121-129, 2014.

CHAVES, J. V. **Atividades antimicrobiana e enzimática do fungo *Formitopsis* sp.** 2017. 56 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais) – Universidade Estado do Amazonas, Manaus – AM.

CLSI. **Método de Referência para Testes de Diluição em Caldo para a Determinação da Sensibilidade a Terapia Antifúngica das Leveduras**; Norma Aprovada—Segunda Edição.

NCCLS document M27-A2 [ISBN 1-56238-469-4]. NCCLS, 940 West Valley Road, Suite 1400, Wayne, Pennsylvania 19087-1898 Estados Unidos, v. 22, n. 15, 2002.

CORNELIS, P. Microbial amylases. **Microbiological Sciences**, v. 4, n. 11, p. 342-343, 1987.

COSTA, M. R. L. et al. OCCURRENCE AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF AGARICOMYCETES OF THE STATE OF ACRE, BRAZIL. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 2, p. 202-216, 2021.

DA SILVA, A. S. V. S. S. **Identificação e potencial degradativo de fungos lignocelulolíticos associados às podridões branca e parda.** 2018. 70 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

DE ARAÚJO, F. S. et al. Estudo das condições de pH e temperatura para máxima atividade de protease de *Aspergillus oryzae* NRRL 1911. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3077-3091, 2020.

DINGLE, J. et al. The enzymic degradation of pectin and other polysaccharides. II Application of the “cup-plate” assay to the estimation of enzymes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 149-155, 1953.

DOYLE, J. J.; DOYLE, J. L. Um procedimento rápido de isolamento de DNA para pequenas quantidades de tecido foliar fresco. **Boletim Fitoquímico**, v. 19, n. 1, p. 1-15, 1987.

MIZERSKA-DUDKA, M. et al. Fungus *Cerrena unicolor* as an effective source of new antiviral, immunomodulatory, and anticancer compounds. **International journal of biological macromolecules**, v. 79, n. 1, p. 459-468, 2015.

FARIAS, T. A. **Riqueza, composição e abundância de anuros em áreas ripárias e de terra firme da Reserva Florestal Humaitá, Sudoeste da Amazônia, Brasil.** (2015). Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2015.

FERNANDES, A. P. **Avaliação do Potencial Enzimático de Fungos Filamentosos Isolados de Diferentes Fontes.** (2009) 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

FONTES, B. J. Caracterização de lacases produzidas por fungos basidiomicetos de origem marinha e terrestre e aplicação biotecnológica na descoloração de corante têxtil. (2019). 81 f. dissertação (Instituto de Biociências) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Rio Claro, 2019.

Fungos in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128473>>. Acesso em: 07 de novembro de 2022

GIMENES, L. J. **Fungos Basidiomicetos - Técnicas de coleta, isolamento e subsídios para processos Biotecnológicos.** 2010. (Curso de Capacitação de Monitores e Educadores). Instituto de Botânica – São Paulo.

GOMES-SILVA, A. C.; GIBERTONI, T. B. Checklist of the aphylophoraceous fungi (Agaricomycetes) of the Brazilian Amazonia. **Mycotaxon**, v. 108, n. 1, p. 319-322, 2009.

GUGLIOTTA, A. M.; CAPELARI, M. Taxonomia de basidiomicetos. In: BONONI, V. L. R.; GRANDI, R. A. P. Zigomicetos, Basidiomicetos e Deuteromicetos: Noções básicas de

taxonomia e aplicações biotecnológicas, São Paulo: **Instituto de Botânica**, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1998, p. 69-102.

HANKIN, L.; ANAGNOSTAKIS, S. L. The use of solid media for detection of enzymes production by fungi. **Mycologia**, v. 67, n. 3, p. 597-607, 1975.

HARMS, H. D. S.; LUKAS Y. W. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, n. 3, p. 177, 2011.

HASSAN, F. et al. Evaluation of the antibacterial activity of 75 mushrooms collected in the vicinity of Oxford, Ohio (USA). **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 21, n. 2, p. 131-141, 2019.

HELENO, S. A. et al. Nutritional value, bioactive compounds, antimicrobial activity and bioaccessibility studies with wild edible mushrooms. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 799-806, 2015.

JATUWONG, K. et al. Optimization conditions, antibacterial and antioxidant activities of *Clitopilus chalybescens*. **Asia Pacific Journal of Science and Technology**, v. 21, n. 2, p. 42-51, 2016.

KOSANIC, M. et al. Evaluation of metal concentration and antioxidant, antimicrobial, and anticancer potentials of two edible mushrooms *Lactarius deliciosus* and *Macrolepiota procera*. **J Food Drug Anal**, v. 24, n. 3, p. 477-84, 2016.

MATTOS, J. L. H. **Bioprospeção de macrofungos da classe Basidiomycetes da floresta nacional Mário Xavier em Seropédica- RJ**. (2020). 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2020.

MEDDEB-MOUELHI, F. et al. A comparison of plate assay methods for detecting extracellular cellulase and xylanase activity. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 66, n. 1, p. 16-19, 2014.

MORRISON, D. J. et al. Infection, disease development, diagnosis, and detection. In: SHAW III, C.S.; KILE, G.A. *Armillaria* root disease. Washington, Forest Service-USDA, **Agriculture Handbook**, v. 1, n. 691, p. 62-76, 1991.

NOWACKA, N. et al. Antibacterial, antiradical potential and phenolic compounds of thirty-one polish mushrooms. **PLoS One**, v. 10, n. 10, p. 1-13, 2015.

OLIVEIRA, K. K. C. et al. Efeito da fotoexposição na atividade antimicrobiana de basidiomicetos amazônicos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. 1-9, 2021.

OLIVEIRA, S. R. L. et al. Fungos endofíticos em *Annona* spp.: isolamento, caracterização enzimática e promoção do crescimento em mudas de pinha (*Annona squamosa* L.). **Acta Botânica Brasílica**, v. 20, n. 3, p. 649-655, 2006.

OLIVEIRA, T. L. et al. Atividade antifúngica de extratos isolados de *Streptomyces* spp. obtidos em solos paraibanos contra leveduras do Gênero *Candida* spp. **Revista de Biologia e Farmácia**, v. 9, n. 1, p. 51-58, 2013.

OZTURK, M. et al. In vitro antioxidant, anticholinesterase and antimicrobial activity studies on three *Agaricus* species with fatty acid compositions and iron contents: A comparative study on the three most edible mushrooms. **Food Chem Toxicol**, v. 49, n. 6, p. 1353-1360, 2011.

PARK A. R. et al. Enhancement of β -glucosidase activity from a brown rot fungus *Fomitopsis pinicola* KCTC 6208 by medium optimization. **Mycobiology**, v. 43 n. 1, p. 57-62, 2015.

PEREIRA, J. O. et al. Over view on Biodiversity, Chemistry, and Biotechnological Potencial of Microorganisms from the Brazilizan Amazon. In: AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics. **Springer Internaticional Publishing AG**, 2017.

PERKINS, C. et al. Biotechnological applications of microbial bioconversions. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 36, n. 6, p. 1050-1065, 2015.

PINHEIRO, R. M. et al. Florística e fitossociologia de comunidades de palmeiras na Reserva Florestal Humaitá, Acre. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 276-292, 2015.

RAVEN, P. H. et al. *Biologia Vegetal*. 8ª Edição, Rio Janeiro: Editora: **Guanabara Koogan**, 2014, 876 p.

REN, L. et al. Antibacterial and antioxidant activities of aqueous extracts of eight mushrooms. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 3, n. 1, p. 41-51, 2014.

RISS, T. L. et al. *Cell Viability Assays*. **Assay Guidance Manual**. Bethesda (MD): Eli Lilly & Company and the National Center for Advancing Translational Sciences, 2013.

SANTOS, G. S. et al. Study of Antibacterial Activity of Amazonian Agaricomycetes Mushrooms from Brazil. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 22, n. 6, p. 573-580, 2020.

SEIFERT, K. A. Progress towards DNA barcoding of fungi. **Molecular Ecology Resources**, v. 9, n. 1, p.83-89, 2009.

SIERRA, S. A. Simple method for detection of lipolytic activity of microorganisms and some observations on the influence of the contact between cells and fatty substrates. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 23, n. 1, p.15-22, 1957.

SINGH, P. K. et al. Clinical Significance and Molecular Characterization of Nonsporulating Molds Isolated from the Respiratory Tracts of Bronchopulmonary Mycosis Patients with Special Reference to Basidiomycetes. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 51, n. 10, p. 3331-3337, 2013.

SILVA, C. G.; TEIXEIRA-SILVA, M. A.; SILVEIRA, M. Macrofungos da Área de Proteção Ambiental lago do Amapá e novas ocorrências para o Estado Acre, In: SILVEIRA, M.; SILVA, E.; LIMA, R. A. Biodiversidade e biotecnologia no Brasil 1, Rio Branco: **Stricto Sensu**, 2020, p. 156-176.

SILVA, L. S. C. et al. Comparação entre processos de fermentação na produção de enzimas por cogumelos comestíveis. OLIVEIRA, L. A. et al. Diversidade Microbiana da Amazônia. Manaus: Editora **INPA**, 2016. p. 361-365.

SIVANANDHAN, S. et al. Biocontrol properties of basidiomycetes: an overview. *Fungi's Diary*, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2017.

SOLA, M. C. et al. Manutenção de microrganismos: conservação e viabilidade. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 1398-1418, 2012.

SUNDARRAM A.; MURTHY T. P. K. α -Amylase Production and Applications: A Review. **Journal of Applied & Environmental Microbiology**, v. 2, n. 4, p. 166-175, 2014.

VARGAS-ISLA, R. et al. Instruções de coleta de macrofungos Agaricales e Gasteroides. Manaus: Editora **INPA**, 2014.

WESTPHALEN, M. C. et al. Polypores from Morro Santana, Rio Grande do Sul, Brazil. **Hoehnea**, v. 37, n. 3, p. 647-662, 2010.

YAMANE, M. et al. Biosynthetic Machinery of Diterpene Pleuromutilin Isolated from Basidiomycete Fungi. **Chem Bio Chem**, v. 18, n. 23, p. 2317-2322, 2017.

5. CONCLUSÕES GERAIS

As ordens mais ocorrentes de fungos da Classe Agaricomycetes na Amazônia brasileira são Polyporales, Hymenochetales e Agaricales.

As ordens mais ocorrentes de fungos da Classe Agaricomycetes na Reserva Florestal Humaitá são Agaricales e Polyporales. A espécie *Clitopilus prunulus* está sendo relatada como primeira ocorrência para o Estado do Acre.

A bactéria mais sensível aos testes antimicrobianos foi *Klebsiella pneumoniae*.

Este trabalho é o primeiro relato sobre atividades enzimáticas dos gêneros *Clitopilus*, *Favolus* e *Polyporus* referente às enzimas alvo deste trabalho.

As atividades enzimáticas mais frequentes dos fungos analisados foram celulase, seguida por protease, amilase e lipase.

Os resultados deste estudo contribuem para primeira informação de atividade lipolítica dos gêneros *Polyporus*, *Marasmius*, e *Ceriporia* sp.

Estudos com atividades biológicas, como antimicrobiana, antioxidante, Anti-inflamatória e enzimática ainda são escassos. Este trabalho mostra a necessidade de desenvolvimento de pesquisas com fungos do Filo Basidiomycota na Amazônia Brasileira.