



## Biotechnological potential of fungi from the Brazilian Amazon: a systematic review

## Potencialidades biotecnológicas dos fungos da Amazônia brasileira: uma revisão sistemática

MENDOZA, Anita Yris Garcia<sup>(1)</sup>; SILVA, Viviane Vidal da<sup>(2)</sup>; LIMA, Renato Abreu<sup>(3)</sup>; LIMA, Janaína Paolucci Sales de<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> 0000-0002-8752-0089; Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA), Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Brasil. anyrgarcia@hotmail.com.

<sup>(2)</sup> 0000-0002-0887-7523; Docente do PPGCA/IEAA/UFAM. Brasil. silvavv@gmail.com.

<sup>(3)</sup> 0000-0003-0006-7654; Docente do PPGCA/IEAA/UFAM. Brasil. renatoal@ufam.edu.br.

<sup>(4)</sup> 0000-0003-3771-3891; Docente do PPGCA/IEAA/UFAM. Brasil. paolucci@ufam.edu.br.

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

### ABSTRACT

The Amazon Biome is known as the greatest biological diversity and forest richness of the planet, constitutes a source of great value for the search of new enzymatic extracts to be explored for biotechnological application. In this context, fungi are used in food production, in the pharmaceutical industry, in the biodegradation process, in the biological treatment of effluents, they act in the enzymatic activity, of industrial interest and biotransformation, they are also of great agricultural and ecological importance. Thus, the present work aimed to perform a systematic review on fungal biotechnology in the Brazilian Amazon, presenting works developed in the region, noting the period of inclusion in the last 10 years (2010-2020). It was verified the publication of 31 works of bibliographic productions on biotechnological applications. The productions on the theme of fungal biotechnology were infrequently comprehensive in the year 2010 until the year 2013. It was found that there was a following growth of stability of the theme's incidence in publications in the subsequent years, especially in the year 2017 until the year 2020. Based on the study conducted, it was verified the importance of different works that address the study of Biotechnology to obtain various substances through the manipulation of fungi, in order to obtain new technologies for the benefit of society and importance to the environment.

### RESUMO

O Bioma Amazônico é conhecido como a maior diversidade biológica e maior riqueza florestal do planeta, constitui uma fonte de valor elevadíssimo para a busca de novos extratos enzimáticos a serem explorados para a aplicação biotecnológica. Nesse contexto, os fungos são utilizados na produção de alimentos, na indústria farmacêutica, no processo de biodegradação, tratamento biológico de efluentes, atuam na atividade enzimática, de interesse industrial e biotransformação, também são de grande importância agrícola e ecológica. Assim, o presente trabalho teve por objetivo realizar uma revisão sistemática sobre a biotecnologia de fungos na Amazônia brasileira, apresentando trabalhos desenvolvidos na região, constatando o período de inclusão nos últimos 10 anos (2010-2020). Verificou-se a publicação de 31 trabalhos de produções bibliográficas sobre aplicações biotecnológicas. As produções sobre a temática biotecnologia dos fungos foram infrequentemente abrangentes no ano de 2010 até o ano de 2013. Constatou-se que houve um crescimento seguinte de estabilidade da incidência do tema nas publicações nos anos subsequentes, especialmente no ano de 2017 até o ano de 2020. Com base no estudo realizado, verificou-se a importância de diferentes trabalhos que abordam o estudo da Biotecnologia para a obtenção de diversas substâncias por meio da manipulação de fungos, com a finalidade de obter novas tecnologias para benefício da sociedade e importância para o meio ambiente.

### INFORMAÇÕES DO ARTIGO

#### Histórico do Artigo:

Submetido: 15/12/2021

Aprovado: 07/12/2022

Publicação: 10/10/2022



#### Keywords:

Fungal metabolites, biotechnological applications, mycology.

#### Palavras-Chave:

Metabólitos fúngicos, aplicações biotecnológicas, micologia.

## **Introdução**

O Bioma Amazônico é conhecido como a maior diversidade biológica e maior riqueza florestal do planeta, constitui uma fonte de valor elevadíssimo para a busca de novos extratos enzimáticos a serem explorados para a aplicação biotecnológica, pois oferece uma riqueza imensurável em biodiversidade, recursos hídricos, minérios, espécies animais e vegetais, além de fungos macro e microscópicos, leveduras e bactérias disponíveis em seu bioma (CRUZ, 2010; FONSECA, 2013; PEREIRA et al., 2017). Assim, suas riquezas naturais tornam-se objeto de estudo e manipulação pela ciência e tecnologia modernas e, portanto, passíveis de chegarem ao mercado mundial com novo valor agregado (BECKER, 2005).

A biotecnologia é reconhecida como uma das tecnologias classificadas para o século XXI, frente às suas características de inovação radical, impacto atual e potencial frente a problemas globais junto à promessa de desenvolvimento industrial sustentável (SILVA; MALTA, 2016). Nesse contexto, os fungos são utilizados na produção de alimentos, contribuem na indústria farmacêutica, estão presentes no processo de biodegradação e tratamento biológico de efluentes, atuam na atividade enzimática, de interesse industrial e na biotransformação; também são de grande importância agrícola e ecológica, pois mantêm o equilíbrio do ambiente, decompondo restos vegetais, degradando substâncias tóxicas (ABREU et al., 2015).

Igualmente, ocupam um papel ecológico importante para o planeta terra na recuperação ambiental, uma vez que a Amazônia brasileira é caracterizada por uma notável riqueza de espécies e altos índices de endemismo (CAPOBIANCO et al., 2017), sendo importante na conservação da diversidade e no cenário econômico do Brasil. Devido a essa capacidade, muitas espécies fúngicas vêm sendo estudadas quanto ao seu potencial biotecnológico (DA SILVA et al., 2018). Além disso, muitas espécies são comestíveis e apreciadas pelo homem, com alto valor nutricional.

Nessa fundamentação, a biotecnologia passou a ser apontada como ciência de alta prioridade há pouco tempo, porém, alguns processos biotecnológicos já vêm sendo utilizados desde a Antiguidade, como por exemplo, a interferência do homem na alteração da composição gênica dos seres vivos, que estuda a hereditariedade, chamada de genética, os agricultores e criadores de animais já procuravam melhorar a qualidade de suas plantas e animais domésticos (GUSMÃO, 2017). No entanto, o uso da biotecnologia iniciou-se com os processos fermentativos obtidos a partir de microrganismos. A produção de bebidas alcoólicas pela fermentação de grãos de cereais já era conhecida pelos sumérios e babilônios antes do ano 6000 a.C. e por volta do ano 2000 a. C., os egípcios, que já utilizavam o fermento para fabricar cerveja, passaram a empregá-la também na fabricação de pão (LIMA; MOTA, 2003).

A produção de antibióticos foi um grande marco industrial. A partir de 1928, com a descoberta da penicilina por Alexander Fleming, sendo o primeiro antibiótico descrito na literatura na década de 1940 (GRUMACH, 2006). Registram-se que atualmente existem mais

de 5000 tipos diferentes de antibióticos conhecidos cuja produção é grandemente impactada pelo melhoramento genético dos microrganismos utilizados (LIMA; MOTA 2003). Assim, a maior colaboração comercial advém das penicilinas obtidas a partir de variedades do fungo *Penicillium*. (FERREIRA et al., 2009).

De tal modo, as penicilinas passaram a representar uma opção terapêutica no tratamento e na prevenção de diferentes doenças, constituindo antibióticos de elevada eficácia e, atualmente, de baixo custo, sendo indicadas para a humanidade como: abscesso cerebral, contextos pós-esplenectomia, infecções de tecido, infecções do trato respiratório, amigdalites, faringites, etc. surgindo assim, a busca de medicamentos cada vez mais eficientes, como por exemplo a ampicilina, amoxicilina e ciclacilina (FERREIRA, 2009). Além disso, a penicilina apresenta inúmeras possibilidades para o tratamento de doenças infecciosas na humanidade que se mantêm sensíveis a estes antibióticos: na sífilis, em associação ao vírus da imunodeficiência humana (HIV), nas profilaxias primária e secundária da febre reumática e na glomerulonefrite pósestreptocócica (INGRAHAM, 1951; IKEDA; JENSON, 1990; MULLICK et al., 2005).

Assim, esta pesquisa teve como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre a biotecnologia de fungos na Amazônia brasileira, apresentando trabalhos desenvolvidos na região.

## **Metodologia**

O levantamento de dados foi realizado a partir de outros trabalhos científicos já aplicados na busca de encontrar alternativas para discutir o tema de estudo, através de revisão bibliográfica, constatando o período de inclusão nos últimos 10 anos (2010-2020).

Igualmente realizou-se o levantamento na busca dos trabalhos nas seguintes bases de dados: *Google acadêmico*, *Scientific Electronic Library Online (SciELO)* e *Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS)*. Logo, os trabalhos foram realizados de forma descritiva, possibilitando descrever e classificar os dados de uma população, fenômeno ou de uma experiência, com o intuito de reunir o conhecimento produzido sobre o tema explorado na revisão em relação ao delineamento do estudo.

Assim, para realizar a busca dos trabalhos na base de dados, foram utilizadas as seguintes palavras e suas combinações nas línguas espanhola, portuguesa e inglesa: “Biotecnologia + Fungos + Amazônia Brasileira”; “Importância da Biotecnologia” e “Fungos Amazônicos”. Consequentemente, analisaram-se trabalhos e selecionaram-se aqueles que se enquadravam dentro do estudo da pesquisa, e foram excluídos trabalhos que não apresentaram conteúdo para a elaboração do artigo. Quanto à síntese dos dados, foi extraído dados dos trabalhos de forma seletiva de acordo com o tema abordado a procura de conhecer os trabalhos abrangentes e assim constatar na análise dos dados.

Além disso, foi utilizada a abordagem quali/quantitativa, Markoni e Lakatos (2010), enfatiza que a pesquisa qualitativa “é o tipo de pesquisa em que as amostras são reduzidas e os dados são analisados em seu conteúdo psicossocial”. Enquanto a pesquisa quantitativa caracteriza-se, tanto na fase da coleta de dados quanto no seu tratamento, pela utilização de técnicas estatísticas, tem por objetivo garantir uma maior precisão na análise e interpretação dos dados (BAPTISTA; CUNHA, 2007).

### **Resultados e discussão**

Com base no levantamento de dados, verificou-se a publicação de 31 trabalhos de produções bibliográficas sobre biotecnologia de fungos na Amazônia, sendo 41,9% produções de artigos, 19,4% de monografias, 19,4% de dissertações e 19,4% de teses. Todas as produções publicadas estão relacionadas com conteúdo que abordam estudos de biotecnologia na Amazônia brasileira. Com base nas temáticas analisadas, os trabalhos foram classificados conforme a tabela 1.

**Tabela 1:** Biotecnologia dos fungos na Amazônia brasileira (2010-2020)

<b>Temática</b>	<b>Estado</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano publicação</b>	<b>Produção</b>
Avaliação do Potencial Microbiano do Crescimento e de Secreção de Lacase do Fungo Amazônico <i>Lentinus crinitus</i> (L.Ex Fr.) F.	Amazonas	<a href="#">Nepomucena, R. M. P.</a>	2010	Dissertação
Avaliação do Potencial Antimicrobiano, Enzimático e crescimento de um isolado Amazônico do Fungo <i>Pycnoporus sanguineus</i> .	Amazonas	<a href="#">Silva, N. M.</a>	2010	Dissertação
Purificação Parcial e Caracterização da Enzima Xilanase Produzida pelo Fungo Amazônico <i>Pycnoporus sanguineus</i> L. F. (Murr).	Amazonas	<a href="#">Carmo, C. C.</a>	2011	Tese
Fungos Amazônicos com Potencial para Degradar Chorume <i>In Natura</i> obtido do Lixão Municipal de Parintins – AM.	Amazonas	Nunes, A. S.	2012	Dissertação
Fungos Amazônicos com Potencial para Degradação de Polietileno Tereftalato-Pet	Amazonas	<a href="#">Soares, E. P.</a>	2012	Dissertação
Influência de Variáveis Físicas na Produção da Lacase e Biomassa Micelial de Basidiomicetos Amazônicos e de sua Interação.	Amazonas	<a href="#">Souza, J. O.</a>	2013	Dissertação
Potencial de Substâncias Coloridas Produzidas por Fungos Endofíticos Amazônicos para o Diagnóstico Baciloscópico da Tuberculose.	Amazonas	<a href="#">Lima, A. M.</a>	2013	Tese
Biotratamento de <i>Rhipicephalus sanguineus</i> (LATREILLE, 1806) com Extratos Obtidos de Fungos Basidiomicetos do Baixo Amazonas.	Amazonas	<a href="#">Tavares, J. S.</a>	2015	Dissertação
Bioatividade da CEPA Amazônica do Fungo <i>Pycnoporus sanguineus</i> no controle do Pulgão que ataca o Feijão-De-Corda.	Amazonas	<a href="#">Souza, C. A.</a>	2015	Dissertação
Isolamento e a Caracterização de Fungos Endofíticos de <i>Virola Venosa</i> (Poepp. Ex A. DC) Warb. com Potenciais de Atividades Biológicas.	Amazonas	Fernandes, K. R. P.	2015	Dissertação
Caracterização de Fungos Isolados da Região Amazônica quanto ao Potencial para Produção das Enzimas Envolvidas na Conversão da Biomassa Vegetal.	Amazonas	Pirota, R. D. P. B.; Tonelotto, M.; Delabona, P. S.; Tremacoldi, C. R.; Farinas C. S.	2015	Artigo

Produção de Lipases por Fungos Isolados de Amostras de Solo da Floresta Amazônica.	Amazonas	<a href="#">Silva, M. P.</a>	2015	Dissertação
Fenoloxidase e Biodegradação do Corante Têxtil Azul Brillhante de Remazol R (Rbbr) para Três Espécies de Macrofungos Coletadas na Amazônia.	Amazonas	Santana, M. D. F., Rodrigues, L. dos S. I., Amaral, T. S. do, & Pinheiro, Y. G.	2017	Artigo
Potencial Antmicrobiano <i>In Vitro</i> da Cepa Amazônica <i>Panus fasciatus</i> , frente aos Microrganismos <i>glabra Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> .	Amazonas	<a href="#">Costa, E. T.</a>	2017	Monografia
Determinação de Lacase a partir de Cepa Amazônica <i>Trametes elegans</i> utilizando o Meio Suplementado com Farinha de Casca da Castanha do Brasil ( <i>Bertholletia excelsa</i> ), coletados no Município de Alvarães/AM.	Amazonas	<a href="#">Silva, J. R.</a>	2017	Monografia
Produção, Isolamento e Identificação de colorantes Produzidos por Fungos isolados de Amostras do Solo Amazônico.	Amazonas	<a href="#">Oliveira, L. A.</a>	2017	Dissertação
Avaliação dos Extratos das Cepas de Fungos Amazônicos ( <i>Trametes lactinea</i> e <i>Hexagonia</i> ) e de seus Consórcios Frente às Bactérias <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Proteus vulgaris</i> .	Amazonas	Carvalho, W. O.	2017	Monografia
Secreção de Lacase utilizando a Cepa Amazônica <i>Trametes lactinea</i> , Suplementado com o Resíduo da casca do <i>Astrocaryum aculeatum meyer</i> , coletados no Município de Alvarães /AM.	Amazonas	Carvalho, A. R.	2017	Monografia
O Estudo da Produção de Biossurfactantes por Fungos Amazônicos.	Amazonas	Pereira, D. D. F.; Júnior, S. D.; Albuquerque, P. M.	2017	Artigo
Seleção de Basidiomicetos da Região Amazônica com Potencial para Degradação de Benzo(A)Pireno.	Amazonas	<a href="#">Santos, V. S.</a>	2017	Dissertação
Produção De Glicose Oxidase (E.C. 1.1.3.4) por Fungos Isolados da Floresta Amazônica.	Amazonas	Sousa, D. R. T.	2017	Tese
Potencial Catalítico de Lipases Ligadas ao Micélio de Fungos Filamentosos em Processos de Biotransformação.	Amazonas	Cortez, D. V.; Castro H. F.; Andrade G. S. S.	2017	Artigo

Produção e Caracterização de Proteases de Fungos Isolados de Amostras de Solo da Região Amazônica.	Amazonas	<a href="#">Azevedo, T. O. M.</a>	2018	Dissertação
Prospecção Química de Metabólitos Secundários de Fungos Amazônicos e a Influência de Diferentes Xenobióticos em seu Metabolismo.	Amazonas	<a href="#">Ferreira, J. K. L.</a>	2018	Monografia
Seleção de Fungos Filamentosos de Solos da Amazônia para Controle Biológico de Larvas e Adultos de <i>Aedes Aegypti</i> L, Vetor dos Vírus da Dengue, <i>Chikungunya</i> e <i>Zika</i> .	Amazonas	<a href="#">Pontes, G. O.</a>	2018	Tese
Avaliação <i>In Vitro</i> da Atividade Leishmanicida de Fungos Isolados de Amostras de Solo da Região Amazônica.	Amazonas	<a href="#">Alves, T. A.</a>	2019	Dissertação
Seleção de Isolados Fúngicos Amazônicos Produtores de Lipases Para Biocatálise Enantiosseletiva em Meio Orgânico.	Amazonas	<a href="#">Romano, I. P.</a>	2020	Tese
Avaliação De Resíduos Agrícolas como Substrato para Produção de Hidrolases por Fungos Filamentosos da Amazônia.	Amazonas	Costa, B. K. B. S.	2020	Monografia
Fungos Celulolíticos Cultiváveis Isolados do Intestino de Insetos Aquáticos da Amazônia.	Amazonas	Montefusco, E. L. B.; Marçal, L. M.; Assunção, E. N.; Hamada, N.; Silva C. G. N.	2020	Artigo
Biossurfactantes de Fungos Endofíticos Isolados de <i>Gustavia cf. hexapetala</i> (Alb.) Sm. (Lecythidaceae) na Amazônia, contra Patógenos da Cavidade Oral.	Amazonas	<a href="#">Ferreira, F. S.</a>	2020	Tese
Avaliação da Biomassa de Fungos Amazônicos como Fonte de Lipases para Biocatálise.	Amazonas	<a href="#">Romano, I. P.</a> ; <a href="#">Santos, V. S.</a> ; <a href="#">Louzada, A. C. L. P.</a> ; <a href="#">Pereira, J. R. C.</a> ; <a href="#">Carmo, E. J.</a> ; <a href="#">Mota, A. J.</a> ; <a href="#">Barroso, H. S.</a> ; <a href="#">Itabaiana, J. I.</a> ; <a href="#">Pereira, J. O.</a> ; <a href="#">Astolfi, F.</a> ; <a href="#">Zanotto, S. P.</a>	2020	Artigo

Fonte: Autoria própria (2021).

As produções sobre a temática biotecnologia dos fungos (Tabela 1) foram infreqüentemente abrangente no ano de 2010 até o ano de 2013. Logo, no ano de 2015 houve um aumento de estudo sobre a biotecnologia de fungos em diferentes áreas de estudo, enfatizando a importância da micologia na Amazônia brasileira. Verifica-se assim, que conforme o estudo em anos, novos trabalhos foram surgindo desde o ano 2015, compreendendo estudos de maiores interesses no ramo da medicina, nas aplicações industriais e farmacêutica, abrangendo especificamente, o estudo da biotecnologia dos fungos no Estado do Amazonas.

Igualmente, confirmasse por meio dos trabalhos, que a partir do ano de 2017 até o ano de 2020, vários trabalhos foram desenvolvidas e publicados, visando a importância da biotecnologia dos fungos, podendo constatar que houve um crescimento seguinte de estabilidade da incidência do tema nas publicações nos anos subsequentes, especialmente no ano de 2017 até o ano de 2020. Assim, verifica-se que biotecnologia dos fungos é um tema relevante na pesquisa científica, uma vez que por meio da investigação se comprovou o potencial econômico dos fungos. Logo, destaca-se que a Amazônia brasileira apresenta uma grande diversidade de fungos microscópicos e macroscópicos que ainda precisam ser estudados.

Do mesmo modo, trabalhos desenvolvidos na área da micologia, apresentam grandes dificuldades durante a execução, desde a coleta até a compreensão da classificação de cada grupo, visto que são amplamente diversificados morfológicamente, e cada grupo exige procedimentos diferentes para coleta, herborização e identificação (PATRÍCIO et al., 2021). De tal modo, se faz necessário a ampliação de estudos voltados para a biotecnologia, taxonomia e ecologia dos fungos, para que assim, se verifique a importância dos fungos em diferentes áreas da floresta amazônica (CAVALCANTE et al., 2021).

### ***Biotecnologia dos fungos***

Na região amazônica a biodiversidade existente representa uma das maiores potencialidades do Brasil no novo milênio, desempenhando um papel importante na conservação da diversidade e no cenário econômico e estratégico do Brasil, consistindo na maior extensão de floresta tropical úmida contínua dentro da nação, caracterizada por uma notável riqueza de espécies e altos índices de endemismo (CAPOBIANCO et al., 2017). Nesse contexto, sendo um dos fatores estratégicos que explica a crescente preocupação de se concentrar os estudos científicos na região, motivados pelas grandes probabilidades de aproveitamento econômico dos recursos.

Assim, a biotecnologia surge como um importante eixo estruturante na modelagem desse modelo de desenvolvimento econômico na Amazônia (SOUSA et al., 2016). A biotecnologia teve seu início efetivo na década de 40, com a produção de antibióticos. Quando Alexander Fleming relatou em 1929, pela primeira vez, a penicilina sintetizada a



partir de metabólitos do fungo *Penicillium notatum*, com potencial de combate a doenças infecciosas por bactérias. (SILVA; MALTA, 2016), surgindo a biotecnologia como um importante eixo estruturante na modelagem desse nosso modelo de desenvolvimento econômico na Amazônia (SOUSA et al., 2016).

De tal modo, os primeiros trabalhos relacionados à transformação genética de fungos iniciaram no final da década dos anos 70 com a transformação de protoplastos de linhagens de *Saccharomyce cerevisiae*, o levedo de cerveja, e do fungo *Neurospora crassa*. Desde então, metodologias vêm sendo estudadas e descritas para uma grande diversidade de espécies de fungos. A maioria dos estudos de biologia molecular depende do uso de métodos para modificação genética, portanto, essa é uma etapa essencial da pesquisa moderna dos fungos, apresentando grande relevância para estudos biotecnológicos. Além disso, os fungos são microrganismos bastante usados na indústria de alimentos porque a maioria das espécies não apresenta características patogênicas (CANHOS; MANFIO, 2010).

Do mesmo modo, a partir do metabolismo fúngico, pode-se dispor de diversos compostos naturais apresentando atividades biológicas. O metabolismo dos fungos pode ser dividido em metabólitos primários que são pequenas moléculas produzidas ao longo do crescimento vegetativo e são usados em indústrias alimentícias e de ração (RAJASEKARAN, 2008), e metabólitos secundários que são sintetizados quando o crescimento microbiano está na fase estacionária. Estes são frequentemente bioativos e de baixa massa molecular. Apresentam grande importância à humanidade, devido às atividades antibióticas e de importância farmacêutica, bem como atividades imunossupressoras e tóxicas (NIGAM, 2009).

Os metabólitos secundários produzidos pelos fungos endófitos vêm despertando interesse da comunidade científica, devido às suas aplicações biotecnológicas em diversas indústrias, incluindo a farmacêutica. Além disso, os fungos endófitos apresentam uma grande diversidade de adaptações microbianas tornando-os ótimas fontes de estudo e de investigação de novas drogas para usos médicos e industriais (GONÇALVES; BASTOS; HANNA, 2017).

Os principais metabólitos secundários encontrados em fungos endófitos são alcalóides, esteróides, terpenos, isocumarinas, quinonas, fenilpropanóides, ligninas, fenóis e ácidos fenólicos, metabólitos alifáticos, lactonas, citocatalasinas, flavonóides, peptídeos e xantonas, 23 que possuem as mais diversas atividades biológicas, (PAMPHILE et al., 2017).

Nesse contexto, pesquisas recentes indicam características medicinais de diversas espécies de macrofungos, como efeitos antivirais, antibacteriano, antiparasitários, antitumorais, anti-hipertensivos, antiateroscleróticos, hepatoprotetores, antidiabéticos,

antiinflamatórios e moduladores do sistema imune (ABREU, RODOVIDA, PAMPHILE, 2015). Igualmente, é necessário enfatizar a importância da Biotecnologia para a obtenção de diversas substâncias por meio da manipulação de fungos para a obtenção de novas tecnologias para benefícios da saúde humana e equilíbrio ambiental (ABREU; RODOVIDA; PAMPHILE, 2015).

Ao mesmo tempo, a produção de enzimas é uma área da Biotecnologia que está em expansão e vem incentivando pesquisas e movimentando o mercado financeiro por conta de suas propriedades amplamente utilizadas em diversas áreas, como na fabricação de produtos tecnológicos e mais recentemente, associado ao tratamento de resíduos (DANNIELLE; SOUSA; RIBEIRO, 2016). As enzimas podem ser aplicadas em diversos setores, como na indústria farmacêutica, alimentícia, têxtil, agricultura, produtos químicos e energia, a qual promovem modificações das características físico-químicas de matérias primas e produtos (ORLANDELLI et al., 2012; STROBEL, 2014).

Outra importante relação entre os fungos e os seres humanos é o cultivo de cogumelos comestíveis, que mesmo não sendo uma atividade muito praticada no Brasil, tem mudado nos últimos anos, especialmente no sudeste, onde há maior influência de comunidades japonesas e europeias. Este é outro uso dos cogumelos pelo homem. O cogumelo comestível mais famoso é o champignon. A espécie se chama *Agaricus brunnescens* e é nativa da Europa, onde há muitas espécies de cogumelos comestíveis conhecidas (SILVA; MALTA, 2016). Conforme pesquisas, espécies de fungos são ricos em proteínas, sais minerais, ferro, vitaminas B1 e B2, cálcio, fibras e outros elementos essenciais além de possuírem baixos teores de gordura e carboidratos.

Ainda, é importante destacar sobre a importância de associação micorrízica, uma vez que se torna mais importante ainda em ambientes degradados e solos empobrecidos de minerais (DURAZZINI, 2009), como por exemplo, é o caso dos solos arenosos distróficos encontrados em restingas, sendo que estas são extremamente vulneráveis aos acidentes com exploração e transporte de petróleo e seus derivados que têm se intensificado mediante o aumento da pressão antrópica sobre seus ecossistemas (ANDRADE et al., 2015).

Assim, ação metabólica dos fungos micorrízicos arbusculares à degradação de substâncias químicas poluidoras tem sido objetivo de importantes pesquisas na última década (SANTOS, 2007; KATHI; KHAN, 2011; RIVAS, 2012), uma vez que, com os impactos ambientais em ecossistemas, causados por resíduos industriais, estudos buscam soluções para eliminação completa dos resíduos tóxicos de descartes industriais, sendo que a biorremediação se apresenta como técnica que traz pouco risco à saúde humana e ao ambiente, possibilitando a destruição de vários contaminantes através da atividade biológica natural.

Consequentemente, os fungos são usados em muitos processos industriais como na produção de enzimas, vitaminas, polissacarídeos, polióis, pigmentos, lipídios e glicolipídios. Alguns destes são comercializados, enquanto outros são potencialmente valiosos em biotecnologia (ADRIO; ARNOLD, 2003). De tal modo, é necessário ir além dos obstáculos e desenvolver capacidades para transformar a biodiversidade em conhecimento e riqueza de maneira sustentável (DIAS; FILHO, 2017).

No entanto, os fungos apresentam grande diversidade entre si, por isso a Micologia desdobrou-se em múltiplas especialidades com reflexos em vários ramos da biotecnologia, envolvendo produtos químicos e farmacêuticos, comestíveis, laticínios, bebidas alcoólicas de todos os tipos, devido, em grande parte, às propriedades fermentativas e enzimáticas (OLIVEIRA, 2014). Na indústria farmacêutica e na biotecnologia o uso de macrofungos em processos fermentativos vem ganhando espaço por necessitarem de níveis reduzidos de nutrientes para crescimento, fácil adaptação em meios naturais ou sintéticos e facilidades nas técnicas de cultivo (MANZUR et al., 2014).

Logo, os fungos são usados também como controle biológico. O termo controle biológico se aplica à utilização de antagonistas naturais disponíveis no ambiente, para diminuir a um limiar sub-clínico e economicamente aceitável a população de um agente causador de perdas produtivas à atividade pecuária ou agrícola, além de resultar em menores efeitos negativos no ambiente que os métodos químicos (GRAMINHA et al., 2001; MOTA et al., 2003). O controle biológico é um método desenvolvido para diminuir uma população de parasitas pela utilização de um antagonista natural (GIROTTO et al., 2008).

Do mesmo modo, entre os agentes de biocontrole mais utilizados no mundo, os fungos entomopatogênicos exercem um importante papel em programas de manejo integrado de pragas. Esses fungos benéficos são encontrados naturalmente infectando e causando doenças em níveis epizooticos (grande número de insetos infectados) em populações de artrópodes (MASCARIN; QUINTELA, 2013). De tal modo, na biotecnologia dos fungos, o desenvolvimento de formulações fúngicas para uso no controle biológico é um dos principais passos para a produção comercial destes microrganismos. Sem esquecer da importância do fator econômico, uma vez que pesquisas que visam produzir material fúngico de maneira economicamente viável, são extremamente necessárias, além de ser um passo importante para viabilizar a produção comercial de fungos nematófagos (MOTA et al. 2003).

A busca por novos produtos para a indústria farmacêutica e biotecnológica é um processo que requer otimização contínua, o estudo que une aspectos químicos e propriedades biológicas dos metabólitos fúngicos é alvo de interesse mundial da comunidade científica, conduzindo a resultados que justificaram a obtenção de

medicamentos e aditivos de alimentos de grande sucesso comercial e o registro de centenas de patentes (TAKAHASHI; LUCAS, 2008).

Logo, as universidades no Brasil e no mundo têm sido o centro de geração de conhecimentos através de pesquisas e desenvolvimento de inovação tecnológica, uma vez que, é através das pesquisas científicas que surgem as melhorias reais e contínuas para a sociedade (ROMANO; MARINHO, 2021). Nas instituições de ensino superior públicas, incentivadas pelo governo, estado ou município, é onde se concentram maior número de produção científica (ROLIM; SERRA, 2010), porém, o país apresenta grandes desafios a superar no estudo da diversidade de fungos pela dimensão continental, megadiversidade, número insuficiente de taxonomistas e acervos ainda principiantes.

Assim, para o estudo dos fungos, algumas redes de herbários e, mais recentemente, pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Herbário Virtual da Flora e dos Fungos, criado em 2009 está reunindo os herbários em uma grande rede em busca de maior compartilhamento de dados e informações, contribuindo, de modo destacado, para acelerar o avanço científico com o acesso às informações e a possibilidade de maior integração e trocas envolvendo diversas áreas de conhecimento (PEIXOTO et al. 2009).

Os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) da Flora e dos Fungos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), tem como missão prover à sociedade em geral, e ao poder público, e à comunidade científica em especial, infraestrutura de dados de qualidade de acesso público e aberto integrando as informações dos acervos do país e repatriando dados sobre coletas realizadas em solo brasileiro, depositadas em acervos no exterior (MAIA; PEIXOTO; CANHOS, 2010).

Entre os grandes herbários com representação nacional destacam-se pelo número de espécies e pela amplitude de suas coleções: Jardim Botânico do Rio de Janeiro (RB), Museu Nacional (R), Instituto de Botânica de São Paulo e do Museu Botânico Municipal de Curitiba (MBM). Outros com mais de 100 mil espécimes, e mesmo com representação nacional, concentram suas coleções predominantemente nos ecossistemas das respectivas regiões, como o da Universidade de Brasília (UB), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Universidade de São Paulo (SPF) e Universidade Estadual de Feira de Santana (HUEFS) (MAIA; PEIXOTO; CANHOS, 2010).

No entanto, a criação do INCT veio impulsionar o trabalho de articulação entre os herbários realizado pela Sociedade Botânica do Brasil ao longo dos últimos 20 anos. Os taxonomistas, que mais diretamente lidam com os espécimes depositados em coleções a muito propugnavam por melhorias e modernizações nos acervos de modo a agilizar as pesquisas sobre biodiversidade e importância dos fungos (MAIA; PEIXOTO; CANHOS, 2010). No entanto, verifica-se que a estruturação do Herbário Virtual está permitindo a integração das coleções fúngicas brasileiras, revertendo o quadro de isolamento de

algumas instituições e pesquisadores, compartilhando experiências e equipamentos, participando da formação de recursos humanos e aumentando a produção científica na área, sendo um ramo importante para o estudo dos fungos.

### **Conclusão**

Com base no estudo realizado, verificou-se o desenvolvimento de diferentes trabalhos que abordam o estudo da Biotecnologia para a obtenção de diversas substâncias por meio da manipulação de fungos, com a finalidade de obter novas tecnologias para benefício da sociedade e importância para o meio ambiente.

Entretanto, nos bancos de dados analisados foram identificados poucos registros científicos na Amazônia brasileira em 10 anos, assim, espera-se que o trabalho possa contribuir com dados específicos do estudo da biotecnologia dos fungos. Conclui-se, que se faz necessário realizar novas pesquisas sobre a biotecnologia dos fungos na Amazônia, talvez com outros tipos de combinações de palavras e tempo de inclusão e verificação em outras bases de dados, para abordar melhor o conhecimento das potencialidade das espécies de fungos, uma vez que na Amazônia brasileira pesquisas ainda são muito pequenas, quando comparados à biodiversidade existente no Bioma.

### **Agradecimentos**

A Universidade Federal do Amazonas- UFAM.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais- PPGCA.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pelo porte financeiro desse estudo.

### **REFERÊNCIAS**

- Adrio, J. L., & Demain, A. L. (2003). "Fungal biotechnology." [Biotecnologia Fúngica]. *International Microbiology*, 6(3), 191-199. <https://doi.org/10.1007/s10123-003-0133-0>.
- Abreu, J. A. S., Rovida, A. F. S., & Pamphile, J. A. (2015). Fungos de Interesse: Aplicações Biotecnológicas. *Revista UNINGÁ*, 21(1), 55-59. ISSN online 2178-2571. <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1613>.
- Andrade, O. F., Nunes, M. D. S., Teixeira, J. S. M., Oliveira, M. M. D., Berbara, R. L. L., & Saraiva, V. B. (2016). Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em uma formação vegetal de restinga: ecologia e potencial para micorrizorremediação de hidrocarboneto do petróleo. *Revista Vértices*, 17(3), 7–33. <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v17n315-01>.

- Baptista, S. G., & Cunha, M. (2007). Estudo de Usuarios: Visao Global dos Metodos de Coleta de Dados. *Perspectivas em Ciências da Informação*, 12(2), 168-184.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-99362007000200011>.
- Becker, B. K. (2005). Geopolítica da Amazônia . *Estudos Avançados*, 19(53), 71-86.  
<https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100005>.
- Canhos, V. P.; Manfio, G. P. *Recursos Microbiológicos para Biotecnologia*. Campinas, 2010.
- Cavalcante, F. S. Campos, M. C. C. Lima, J. P. S. (2021). Diversidade de Fungos da Família Marasmiaceae no Sudoeste Da Amazônia. *Revista EDUCAmazônia*, 13(2), 61-79. ISSN 1983-3423.
- Capobianco, J. P. R.; Veríssimo, A.; Moreira, A.; Sawyer, D.; Santos, I. P.; Pinto, L. P. (2017). *Biodiversidade na Amazônia brasileira: avaliação e ações prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios*. Estação Liberdade: Instituto Sócio ambiental.
- Cruz, C. B. N. (2010). Seleção dos clones produtores de amilases e proteases presentes na biblioteca Metanogênica de Terra Preta de Índio [Dissertação de mestrado em Diversidade Biológica, Universidade Federal do Amazonas – UFAM].
- Dannielle, N.; Sousa, C.; ribeiro, M. B. (2016). Prospecção tecnológica da utilização da lipase obtida por fermentação de leveduras. *Prospection technology use of lipase obtained by yeast fermentation*. (6), p. 3329–3342.
- Silva, L. L., Moreira, I. C., Silva, T. M., Silva, L. B., Santos, T. A. A., Oliveira, L. M., Souza, D. F., Brito, A. O., Santos, S. X. (2018). Bioprospecção de Fungos de um Fragmento de Cerrado no Brasil Central para Aplicações Biotecnológicas. *Fronteiras. Journal of Social, Technological and Environmental Scienc*, 7(1), p. 288–305. DOI: 10.21664/2238-8869.2018v7i1.288-305.
- Dias, R. F., Filho, C. A. A. C. (2017). Bioeconomia no Brasil e no Mundo: Panorama Atual e Perspectivas. *Revista Virtual de Química*, 9(1), p. 1-21. DOI: 10.21577/1984-6835.20170023.
- Durazzini, A. M. S. (2009). Fungos micorrízicos arbusculares em solos sob diferentes cultivos. *Revista Agrogeoambiental. Inconfidentes*, 1(1), p. 1-7.
- Fonseca, T. R. B. (2013). Avaliação do Crescimento, Produção de Basidioma e Determinação da Atividade Proteolítica Em Resíduos Agroindustriais [Dissertação Mestrado em Biotecnologia]. *Universidade Federal do Amazonas (UFAM) - Instituto de Ciências Biológicas*, Manaus.
- Giroto, M. J., Aquino, L. F. B., Perez, R. B., Sacco, M. F., Neves, M. F., Sacco, S. R. O Uso De Fungos Nematófagos No Controle Biológico De Nematóides Parasitas: Revisão De

- Literatura. *Revista Científica Eletônica de Medicina Veterinária*. 6(10) p. 1-7, 2008. ISSN: 1679-7353.
- Gonçalves, B., Bastos, E., Hanna, S. (2017). *Prospecção Tecnológica de Fungos Endófitos e Aplicações na Indústria Farmacêutica*. p. 56–67. DOI.: dx.doi.org/10.9771/ cp.v10i1.20114.
- Gusmão, A. O. M., Silva, A. R., Medeiros, M. O. (2017). A Biotecnologia e os Avanços da Sociedade. *Biodiversidade*. 16(1), p. 135.
- Graminha, E. B. N., Monteiro, A. C., Silva, H. C., Oliveira, G. P., Costa, A. J. (2005). Controle de nematóides parasitos gastrintestinais por *Arthrobotrys musiformis* em ovinos naturalmente infestados mantidos em pastagens. *Pesq. Agropec*, 40(9), p. 927-933.
- Grumach, A. S., Ferraroni, N. R. (2006). O Papel da Penicilina Na Medicina Moderna. *J bras Doenças Sex Transm*, 18(1), p. 7-13. ISSN: 0103-0465.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades.  
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/atalaia-do-norte/panorama>.
- Ikeda, M. K., Jenson, H. B. (s. n.) Evaluation and treatment of congenital syphilis. *J Pediatr*, 117, p. 843-52, 1990. DOI: 10.1016/S0022-3476(05)80120-9.
- Ingraham, N. R. (1951). The value of penicillin alone in the prevention and treatment of congenital syphilis. *Acta Derm Venereol Suppl*. 24(12). p. 60-88.
- Kathi, S., Khan, A. B. (2011). Phytoremediation approaches to PAH contaminated soil. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(1).
- Lima, N., Mota, M. (2003). *Biotecnologia: fundamentos e aplicações*. Lidel.
- Maia L. C., Peixoto, A. L., Canhos, D. (2010). Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - INCT Herbário Virtual da Flora e dos Fungos: missão e funcionamento. *VI Congresso Brasileiro De Micologia*. Brasília, p. 587-594.
- Mascarin, G. M., Quintela, E. D. (2013). Técnica de Produção do Fungo Entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* para Uso em Controle Biológico. *Embrapa Arroz e Feijão*, (21º ed.), p. 17. ISSN 1678-9644.
- Manzur, A., Sapna, K., Rekha, M., Bhat, S. G., Chandrasekaran, M., Elyas, K. (2014). Trypsin Inhibitor from Edible Mushroom *Pleurotus florida* Active against Proteases of Microbial Origin. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. (173) p. 167–178. DOI 10.1007/s12010-014-0826-1.
- Markoni, M.A., Lakatos, E.M. (2010). *Fundamentos de metodologia científica*. (7º ed.). Atlas.
- Mota, M. A.; Campos, A. K.; Araújo, J. V. (2003). Controle biológico de helmintos parasitos de animais: estágio atual e perspectivas futuras. *Pesq. Vet*, 23(3), p. 93-100.

- Mullick, S., Watson-Jones D., Beksinska, M., Mabey, D. (2005). Sexually transmitted infections in pregnancy: prevalence, impact on pregnancy outcomes, and approach to treatment in developing countries. *Sex Transm Infect.* 81(4), p. 294-302. DOI: 10.1136/sti.2002.004077.
- Muro, L. F. F.; Azevedo, F. F.; Marques, M. E. O.; Boralli, I. C.; Bottura, C. R. P.; negri, D.; Pereira, D. M. (2009). Farmacocinética e dinâmica da penicilina. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, 7(12), p. 1-5. ISSN: 1679-7353.
- Oliveira, J. C. *Tópicos em Micologia Médica*, 2014.
- Orlandelli, R. C.; Specian, V.; Felber, A. C.; Pamphile, J. A. (2012). Enzimas de interesse industrial: produção por fungos e aplicações. *SaBios-Revista de Saúde e Biologia*, 7(3) p. 97-109. ISSN:1980-0002.
- Pamphile, J. A. Costa A. T.; Rosseto, P.; Polonio, J. C.; Pereira, J. O.; Azevedo, J. L. (2017, julho – setembro). Aplicações Biotecnológicas de Metabólitos Secundários Extraídos de Fungos Endofíticos: O Caso do *Colletotrichum* Sp. *Revista Uningá*, 53(1) , p.113-119. ISSN online: 2318-0579.
- Patrício, A. S.; Mendoza, A. Y. G.; Cavalcante, F. S.; Santos, V. S.; Lima, R. A. (2021). Levantamento de Macrofungos na Reserva Natural de Palmari, Atalaia do Norte, Amazonas, Brasil. *Revista Biodiversidade*, 20(3), p. 91.
- Pereira, J. O., Souza, A. Q. L., Souza, A. D. L., França, S. C., Oliveira, L. A. Overview on Biodiversity, Chemistry, and Biotechnological Potencial of Microorganisms from the Brazilian Amazon. IAZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. *Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics*. Springer Internatcional Publishing AG, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-55804-2\_5.
- Peixoto, A. L., Barbosa, M. R.V., Canhos, D. A. L., Maia, L. C. (2009). Coleções Botânicas: Objetos e Dados para a Ciência. Granato, M., Rangel, M. (Ed.). (2009). *Cultura material e patrimônio da Ciência e Tecnologia. Museu da Astronomia e Ciência Afins*.
- Rivas, P. E. C. (2006). Influencia de la cobertura vegetal sobre la diversidad y estructura de las comunidades de hongos micorrizicos y sus efectos em la estabilización de suelos degradados [Tese Doutorado] - *C.S.I.C. da Universidade de Granada*. 2006. DOI:10481/1008. <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/1008/1/16154952.pdf>.
- Romano, A. E. E., Marinho, S. C. O. (2021). Universidade e Inovação: A Importância das Universidades como Potenciais Centros de Difusão do Conhecimento. Porto J., Gilson, F. Marinho, S. C. O. (Ed.). *Universidade e inovação: Olhares sobre Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia*. Editora EdUFT, p. 13-31. ISBN – 978-85-60487-97-4.
- Rolim, C. F. C.; Serra, M. A. (2010). Universidade e desenvolvimento regional: o apoio das instituições de ensino superior ao desenvolvimento regional. Juruá.



- Santos, F. S., Magalhães, M. O. L., Mazur, N., Sobrinho, N. M. B. A. (2007). Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd. *Sci. Agric.*, 64(5), p. 506-512.
- Silva, C. J. A., Malta, D. J. N. (2016). A Importância dos Fungos na Biotecnologia. *Ciências biológicas e da saúde*, 2(3) p. 49-66. ISSN online: 2316-3151.
- Sousa, K. A., Santoyo, A. H., Junior, W. F. R., Matos, M. R., Silva, A. C. (2016). Bioeconomia na Amazônia: uma análise dos segmentos de fitoterápicos & fitocosméticos, sob a perspectiva da inovação. *Revista: Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 5(3), p. 151-171.
- Strobel, G. (2014). The story of mycodiesel. *Curreat Opinion in Microbiology*, 19(1), p. 52-28, 2014. DOI: 10.1016/j.mib.2014.06.003.
- Rajasekaran, R. (2008). "Microbial biotechnology Rapid Advances in an area of massive impact." *Microbial biotechnology Rapid Advances in an area of massive impact*, 7(05) p. 19-25.
- Nigam, P. S. (2009). "Production of bioactive secondary metabolites." *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation. Springer Netherlands*. p. 129-45.
- Takahashi, J. A., Lucas, E. M. F. (2008). Ocorrência e diversidade estrutural de metabólitos fúngicos com atividade antibiótica. *Química Nova*, 31(7), p. 1807-1813.