

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDO SUPERIOR DE PARINTINS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

PERFIL ENZIMÁTICO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS
ASSOCIADOS À PLANTAS MEDICINAIS NO MUNICÍPIO
DE PARINTINS (AM)

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC

PARINTINS - AM

2026

Eduardo Marinho Batalha

**PERFIL ENZIMÁTICO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS
ASSOCIADOS À PLANTAS MEDICINAIS NO MUNICÍPIO
DE PARINTINS (AM)**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Centro de Estudos Superiores de Parintins, da Universidade do Estado do Amazonas como requisitos obrigatórios ao Trabalho de Conclusão de Curso e obtenção de grau de Licenciado em Ciências Biológicas .

Orientador: Prof. Dr. Ademir Castro e Silva

PARINTINS – AM

2026

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

M337p

Marinho Batalha, Eduardo

PERFIL ENZIMÁTICO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS
ASSOCIADOS À PLANTAS MEDICINAIS NO MUNICÍPIO DE
PARINTINS (AM) / Eduardo Marinho Batalha. Manaus : [s.n], 2026.
72 f.: il., color.; 21.0 cm.

TCC - Graduação em Ciências Biológicas- Licenciatura-
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2026.

Inclui Bibliografia.

Orientador: Ademir Castro e Silva.

1. Fungos endofíticos. 2. Amilase. 3. Lipase. 4. Bioprospecção
amazônica. I. Ademir Castro e Silva (Orient.) II. Universidade do
Estado do Amazonas. III. Título

CDU(1997)57

Eduardo Marinho Batalha

PERFIL ENZIMÁTICO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS ASSOCIADOS À PLANTAS MEDICINAIS NO MUNICÍPIO DE PARINTINS (AM)

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Centro De Estudos Superiores de Parintins, da Universidade do Estado do Amazonas como requisito obrigatório ao Trabalho de Conclusão de Curso e obtenção do grau de licenciado em Ciências Biológicas.

ORIENTADOR (A): Ademir Castro e Silva

Aprovado em 15 de junho de 2026 pela Comissão Examinadora.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ADEMIR CASTRO E SILVA
Data: 18/06/2026 19:12:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ademir Castro e Silva Presidente



Documento assinado digitalmente
JORGE PONTES KOIDE
Data: 18/06/2026 21:18:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jorge Pontes Koide Membro Titular



Documento assinado digitalmente
ADRIANA DA SILVA NUNES
Data: 18/06/2026 17:01:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adriana da Silva Nunes Membro Titular

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades concedidas ao longo desta jornada. Por ter me sustentado nos momentos de dificuldade, fortalecido minha fé diante das incertezas e me dado perseverança para seguir firme na caminhada acadêmica até a conclusão desta etapa tão importante da minha vida.

À minha família, expesso minha profunda gratidão pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Obrigada por sempre acreditarem em meu potencial, por me encorajarem a buscar a educação como instrumento de transformação e por estarem ao meu lado nos momentos mais desafiadores dessa trajetória.

Agradeço a todos os professores do Curso de Ciências Biológicas e aos docentes de outros cursos que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, compartilhando conhecimentos, experiências e ensinamentos que levarei para toda a vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ademir Castro e Silva, agradeço a orientação, paciência, confiança e pelos valiosos momentos de partilha durante a construção deste trabalho. Sua dedicação e contribuição foram fundamentais para a realização desta pesquisa.

À Profa. Dra. Adriana da Silva Nunes, minha sincera gratidão pelo apoio constante nas atividades laboratoriais, pela disposição em ensinar e pelas contribuições que enriqueceram significativamente meu aprendizado e crescimento científico.

Ao Laboratório de Estudos Fúngicos (LABEF), que se tornou minha segunda casa dentro da universidade, agradeço por proporcionar experiências que marcaram profundamente minha formação acadêmica. Neste espaço, tive a oportunidade de aprender, crescer e construir laços de amizade que levarei para a vida.

Agradeço de forma especial às minhas amigas Solane Oliveira da Silva e Nádia Sofia Oliveira Cunha, com quem compartilhei inúmeros momentos de aprendizado, desafios, conquistas e amizade ao longo dessa caminhada. Ao meu amigo Gabriel da Silva Sousa, que ingressou comigo na universidade e no laboratório, agradeço a parceria, companheirismo e por tornar essa jornada mais leve e significativa.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação e para a realização deste trabalho. Cada apoio, incentivo e gesto de confiança foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Muito obrigado!

RESUMOS PORTUGUES/INGLÊS

O presente estudo isolou fungos endofíticos de folhas de nove espécies de plantas medicinais em Parintins (AM) e avaliou sua produção de amilase e lipase. Vinte isolados (EMF1 a EMF20) foram obtidos e submetidos a ensaios qualitativos em meios sólidos específicos. Todos os isolados (100%) apresentaram atividade lipolítica, enquanto apenas quatro (20%) produziram amilase. Os isolados EMF17, EMF11 e EMF16 destacaram-se para lipase (índice enzimático máximo de 4,40; 3,93 e 3,60, respectivamente), e EMF6 e EMF15 para amilase (alta atividade). Quatro isolados (EMF6, EMF13, EMF14, EMF15) exibiram dupla atividade. Conclui-se que os fungos endofíticos de plantas medicinais de Parintins são fontes promissoras de enzimas extracelulares, com potencial biotecnológico.

Palavras-chave: Fungos endofíticos. Amilase. Lipase. Bioprospecção amazônica.

Abstract

This study isolated endophytic fungi from leaves of nine medicinal plant species in Parintins (AM, Brazil) and evaluated their production of amylase and lipase. Twenty isolates (EMF1 to EMF20) were obtained and subjected to qualitative assays on specific solid media. All isolates (100%) exhibited lipolytic activity, whereas only four (20%) produced amylase. Isolates EMF17, EMF11 and EMF16 stood out for lipase (maximum enzymatic index of 4.40, 3.93 and 3.60, respectively), and EMF6 and EMF15 for amylase (high activity). Four isolates (EMF6, EMF13, EMF14, EMF15) displayed dual enzymatic activity. It is concluded that endophytic fungi from medicinal plants of Parintins are promising sources of extracellular enzymes with biotechnological potential.

Keywords: Endophytic fungi. Amylase. Lipase. Amazonian bioprospecting.

Lista de figuras

Figura 1. Estrutura molecular da amilase.....	25
Figura 2. Estrutura molecular da lipase.....	26
Figura 3. Espécies de Plantas Medicinais utilizadas no cultivo dos Fungos Endofíticos.....	30
Figura4. Assepsia das folhas das plantas medicinais (A e B)	31
Figura 5. Fragmento de folhas nas placas de petri.....	31
Figura 6. Procedimento de repicagem e purificação.....	32
Figura 7. Armazenamento dos Fungos Endofíticos.....	32
Figura 8. Colonias de fungos endofíticos em fragmento de folhas.....	35
Figura 9. Fungos endofíticos isolados de folhas de plantas medicinais.....	35
Figura 10. Distribuição do número de isolados por planta hospedeira.....	36
Figura 11. Placas testes de lipase verso a reverso EMF8 (A e B), EMF1 (C e D) ...	40
Figura 12. Placas testes de amilase verso a reverso EMF15 (A e B), EMF13 (C e D)	41
Figura 13. Crescimento micelial (cm) diário de quatro isolados de fungos endofíticos em meio de produção de amilase.....	43
Figura 14. Média do crescimento micelial em teste de amilase.....	44
Figura 15. Crescimento micelial diário (cm) de 20 isolados de fungos endofíticos em meio de produção de lipase.....	46
Figura 16. Crescimento micelial médio (cm) de 20 isolados de fungos endofíticos em meio de produção de lipase.....	47
Figura 17. Índice enzimático (IE) para amilase de quatro isolados de fungos endofíticos, medido diariamente durante quatro dias.....	48
Figura 18. Índice enzimático (IE) para lipase de 20 isolados de fungos endofíticos (média) medido diariamente durante quatro dias.....	51

Lista de tabelas

Tabela 1. Espécies de Plantas Medicinais utilizadas no cultivo dos Fungos Endofíticos.....	29
Tabela 2. Isolados de fungos endofíticos obtidos de cada espécie vegetal. (X indica isolamento da respectiva planta.)	38
Tabela 3. Fungos endofíticos que testaram positivo para a produção de amilase e lipase.....	39
Tabela 4. Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação para os fungos que reagiram a amilase.....	44
Tabela 5. Valores de média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação.....	48
Tabela 6. Variação diária do índice enzimático.....	49
Tabela 7. Classificação de isolados quanto ao índice enzimático (amilase).....	50
Tabela 8. Variação diária do índice enzimático.....	52
Tabela 9. Classificação de isolados quanto ao índice enzimático (lipase).....	53

Sumário

1. Introdução	10
2. Justificativa.....	13
3. Objetivos.....	14
3.1 Objetivo geral	14
3.2 Objetivos específicos	14
4. Referencial teórico	15
4.1 Plantas Medicinais.....	15
4.2 Fungos endofíticos	18
4.3 Classificação dos fungos endofíticos	22
4.4 Enzimas extracelulares produzidas pelos fungos endofíticos	24
4.4.1 Produção de amilase por fungos endofíticos	25
4.4.2 Produção de lipase por fungos endofíticos	26
4.5 Aplicações biotecnológicas de fungos endofíticos associados a plantas medicinais.....	27
5. Metodologia	29
5.1 Coleta de amostra foliar	29
5.2 Tratamento das amostras e isolamento	31
5.3 Teste de avaliação de enzimas extracelulares	32
5.3.1 Atividade amilolítica (Amilase)	32
5.3.2 Atividade lipolítica (Lipase).....	33
5.3.3 Índice enzimático e atividade enzimática	33
5.3.4 Análise de dados	34
6. Resultados	35
6.1 Frequencia dos fungos endofíticos isolados de plantas medicinais	35
6.1.1 Isolados com múltiplos hospedeiros	36
6.1.2 Considerações sobre a diversidade.....	37
6.2 Fungos endofíticos que testaram positivo para a produção de amilase e lipase 	39
6.2.1 Produção de lipase.....	39
6.2.2 Produção de amilase.....	40
6.2.3 Isolados com dupla atividade enzimática	41
6.3 Crescimento micelial para amilase.....	42
6.3.1 Dispersão e forma da distribuição.....	43

6.4 Crescimento micelial em meio de produção de lipase.....	45
6.4.1 Dispersão e forma de distribuição.....	46
6.5 Índice enzimático.....	48
6.5.1 Índice enzimático para amilase	48
6.5.2 Classificação dos isolados para amilase.....	49
6.5.3 Índice Enzimático para lipase	50
6.5.4 Evolução temporal da atividade lipolítica	51
6.5.6 Classificação dos isolados quanto ao potencial lipolítico.....	52
7. Discussão.....	54
8. Conclusão.....	56
9. Referências bibliográficas	57
10. Publicações referentes ao trabalho	63

1. Introdução

Os fungos endofíticos são microrganismos que habitam os tecidos internos de plantas sem causar sintomas de doença ao hospedeiro durante parte de seu ciclo de vida. Essa associação, que pode ser obrigatória ou facultativa, representa um dos mais complexos e difundidos exemplos de interação micro-organismo-planta nos ecossistemas terrestres. Ao colonizar os espaços intercelulares e, em alguns casos, as células do hospedeiro, os endofíticos estabelecem um equilíbrio dinâmico regulado por mecanismos moleculares de reconhecimento e sinalização, ainda parcialmente elucidados. Essa relação, de caráter simbiótico ou comensal, pode proporcionar benefícios ao vegetal, como maior tolerância a estresses bióticos e abióticos, além da produção de metabólitos bioativos e enzimas com potencial biotecnológico (PARDO *et al.*, 2022).

Entre os mecanismos que conferem tais benefícios, destacam-se a indução de resistência sistêmica contra fitopatógenos, a produção de fitormônios que estimulam o crescimento radicular e a modulação da expressão gênica relacionada a respostas de defesa. Adicionalmente, esses fungos podem secretar enzimas que degradam compostos estruturais da parede celular vegetal, facilitando a penetração e a nutrição, sem desencadear resposta hipersensível no hospedeiro. Uma das áreas mais promissoras na pesquisa com fungos endofíticos é a produção de enzimas extracelulares — incluindo amilases, proteases, lipases, celulasas e pectinases — que apresentam ampla aplicação industrial nos setores alimentício, têxtil, de papel e celulose, de biocombustíveis, de biorremediação, entre outros (CUZZI, 2011). Essas enzimas atuam como biocatalisadores em condições brandas, reduzindo o consumo energético e o impacto ambiental em comparação aos processos químicos convencionais.

No contexto amazônico, a elevada biodiversidade vegetal confere grande potencial para a descoberta de endofíticos com propriedades inéditas. A região Amazônica abriga cerca de 30 mil espécies de plantas superiores, muitas das quais ainda não foram investigadas quanto à sua microbiota endofítica. Essa megadiversidade, aliada a fatores edafoclimáticos únicos — como altas temperaturas, pluviosidade intensa e baixa disponibilidade de nutrientes nos solos —, favorece a seleção de fungos com adaptações metabólicas singulares. Estudos realizados em plantas medicinais da Amazônia já demonstraram que fungos endofíticos a elas associados podem expressar atividades enzimáticas expressivas. Por exemplo, em *Calycophyllum spruceanum* e *Himatanthus*

sucuuba, isolados apresentaram atividades de celulase, protease, lipase e amilase (MENDONÇA *et al.*, 2023). Tais achados reforçam a hipótese de que o bioma amazônico constitui um reservatório estratégico de cepas fúngicas com elevado potencial biocatalítico.

Conforme relatado por Zhang *et al.* (2006) e Strobel (2000), fungos endofíticos que se alojam em plantas medicinais contribuem para a adaptação do hospedeiro a condições climáticas extremas. Essa adaptação envolve a produção de compostos osmoprotetores, enzimas antioxidantes e proteínas de choque térmico, cuja expressão é modulada pela interação fungo-planta. Sob estresse hídrico, por exemplo, endofíticos podem alterar o balanço hormonal do vegetal, aumentando os níveis de ácido abscísico e reduzindo a perda de água por transpiração. As comunidades fúngicas vivem no interior dos tecidos saudáveis dessas plantas, aumentando a absorção de nutrientes do solo e alterando o ciclo de nutrientes (KRISHNAMURTHY *et al.*, 2008). Especificamente, a solubilização de fosfatos, a fixação biológica de nitrogênio e a produção de sideróforos são mecanismos frequentemente atribuídos a fungos endofíticos, ampliando a disponibilidade de nutrientes essenciais para o hospedeiro em solos oligotróficos.

Ademais, esses fungos constituem fontes importantes para a produção de diversos metabólitos secundários e compostos bioativos, úteis tanto para a indústria farmacêutica (STROBEL, 2002; KRISHNAMURTHY *et al.*, 2008; KHAN *et al.*, 2010) quanto para uma ampla gama de outros setores industriais. Dentre esses metabólitos, incluem-se alcaloides, terpenoides, policetídeos e peptídeos não ribossômicos, muitos dos quais apresentam atividades antimicrobiana, antitumoral, anti-inflamatória e inseticida.

As enzimas de origem fúngica apresentam vantagens significativas para a produção em larga escala, incluindo alta especificidade, estabilidade e atividade em condições brandas de temperatura e pH, o que as torna biocatalisadores eficientes e ambientalmente sustentáveis. Denti *et al.* (2022) destacam que o emprego de enzimas em processos industriais se alinha aos princípios da química verde, minimizando danos ao meio ambiente e promovendo a segurança alimentar.

A bioprospecção de fungos endofíticos na Amazônia ainda é incipiente, mas o número de publicações sobre o tema tem crescido de forma consistente, especialmente entre 2017 e 2020. Uma revisão sistemática conduzida por Mendoza *et al.* (2022) identificou 31 trabalhos de produção bibliográfica sobre aplicações biotecnológicas de

fungos na Amazônia brasileira no período de 2010 a 2020, evidenciando o crescente interesse da comunidade científica por esse bioma. No entanto, a região permanece subexplorada, e o potencial biotecnológico de sua diversidade fúngica endofítica representa uma fronteira de conhecimento ainda em fase inicial de investigação.

Diante do exposto, a presente pesquisa isolou e agrupou as cepas de colônias semelhantes devidamente codificadas; incluiu também a triagem de fungos endofíticos dominantes selecionados, submetendo-os a dois diferentes ensaios de enzimas extracelulares: amilase e lipase.

2. Justificativa

A busca por fungos endofíticos em ambientes tropicais tem se mostrado particularmente promissora para a descoberta de novas cepas produtoras de enzimas com características diferenciadas, como robustez térmica, atividade em pH extremo e tolerância a altas concentrações salinas. Essas propriedades são altamente valorizadas em processos industriais inovadores, nos quais condições operacionais severas demandam biocatalisadores estáveis e eficientes.

Do ponto de vista econômico e ambiental, a relevância deste projeto justifica-se pelo papel central que as enzimas extracelulares de origem microbiana desempenham em setores estratégicos como alimentos, detergentes, papel e celulose, e biocombustíveis. A identificação de cepas nativas da Amazônia com alta expressão enzimática representa uma oportunidade concreta para redução de custos logísticos associados à importação de insumos biotecnológicos, além de fomentar a consolidação de uma bioeconomia de base regional, alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável.

Adicionalmente, este estudo contribuirá de forma significativa para o avanço do conhecimento científico na região, ao gerar dados inéditos sobre a diversidade de fungos endofíticos associados a plantas medicinais locais, bem como parâmetros enzimáticos quantitativos e possíveis correlações entre a origem vegetal e o perfil enzimático produzido. Esses achados poderão subsidiar publicações em periódicos especializados, a formação de bancos de cepas com potencial biotecnológico e o delineamento de novos projetos de inovação, ampliando assim o protagonismo da Amazônia na pesquisa em microbiologia aplicada.

3. Objetivos

3.1 Objetivo geral

Isolar fungos endofíticos de plantas medicinais ocorrentes no município de Parintins (AM) e avaliar o perfil de produção de enzimas extracelulares.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar coleta de tecidos vegetais (folhas) de plantas saudáveis na região de estudo.
- Realizar assepsia superficial e isolamento de fungos endofíticos em meio de cultura apropriado.
- Avaliar qualitativamente a produção de enzimas extracelulares (ex: amilase e lipase) em meio semissólido.
- Selecionar cepas com maior potencial para novos projetos no que diz respeito a otimização de produção enzimática.

4. Referencial teórico

4.1 Plantas Medicinais

As plantas medicinais e os fitoterápicos são compostos por inúmeras substâncias com diferentes efeitos, que agem em conjunto para obtenção da ação terapêutica (ANVISA, 2022). Essa complexidade química faz com que os extratos vegetais apresentem, muitas vezes, um perfil de atividade farmacológica distinto daquele obtido com compostos isolados, o que pode resultar em efeitos sinérgicos entre os constituintes e, consequentemente, em maior eficácia terapêutica.

O uso de plantas medicinais tem sido uma prática consagrada em diversas épocas da história da humanidade, sendo encontrados registros sobre a sua utilização em diferentes civilizações antigas, onde os únicos recursos em medicamentos disponíveis eram, em grande parte, provenientes dos vegetais (MOREIRA, 2025).

Plantas medicinais são utilizadas pela humanidade para o tratamento de doenças há milhares de anos, mas seu uso deve ser feito com responsabilidade e conhecimento, pois se forem utilizadas de modo errado, podem apresentar mais efeitos negativos do que positivos (ANVISA, 2022). Determinadas utilizações de plantas medicinais podem causar malefícios, mulheres grávidas por exemplo podem ser ocasionadas por esses malefícios. Como relata PIRES *et. al.*, (2020), apesar da percepção de segurança, o uso de plantas medicinais na gestação pode acarretar riscos, como efeitos abortivos e tóxicos para o feto, exigindo cautela e orientação profissional. Portanto, a fitoterapia, embora ancorada em um saber tradicional milenar, requer o mesmo rigor de avaliação de risco e benefício que os medicamentos sintéticos, especialmente em populações vulneráveis.

As plantas medicinais possuem grande importância cultural, econômica e terapêutica em diversas regiões do mundo. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2002), grande parte da população mundial utiliza plantas medicinais como parte dos cuidados primários de saúde. Essa realidade é particularmente evidente em países em desenvolvimento, onde o acesso aos medicamentos industrializados é limitado e a medicina tradicional representa a primeira linha de atenção à saúde. Dessa forma, a valorização e a validação científica das plantas medicinais tornam-se estratégicas para a saúde pública global.

No Brasil, a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos incentiva a pesquisa e o uso sustentável dessas espécies vegetais (BRASIL, 2006). De acordo com

Lorenzi e Matos (2008), o país possui grande diversidade de plantas medicinais, muitas das quais ainda apresentam potencial biotecnológico pouco explorado. Essa riqueza biológica, aliada ao conhecimento tradicional de comunidades indígenas e quilombolas, coloca o Brasil em posição privilegiada para liderar iniciativas de bioprospecção, desde que conduzidas de forma ética e com repartição justa dos benefícios.

As políticas públicas, embora bem estruturadas, enfrentam barreiras econômicas e regionais que limitam o acesso aos fitoterápicos pelo SUS, revelando desigualdades na implementação (Flores *et al.*, 2023). A produção científica concentra-se na validação farmacológica, sendo necessário ampliar estudos sobre a incorporação desses saberes nos serviços de saúde e na formação profissional (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Superar essas barreiras exige não apenas investimentos em pesquisa, mas também a capacitação de profissionais de saúde e a integração efetiva da fitoterapia nos currículos universitários, garantindo que o conhecimento científico e tradicional dialoguem dentro do sistema de saúde.

Os benefícios farmacológicos das plantas medicinais já são bastante explorados no país. As espécies nativas *Maytenus ilicifolia*, *Bauhinia forficata* e *Curcuma longa* apresentam relevante potencial farmacológico, sendo amplamente utilizadas na medicina popular brasileira para distúrbios gástricos, diabetes e inflamações (SOUZA, 2023). A espécie *Cyperus rotundus* destacou-se pelo amplo uso medicinal, especialmente para o tratamento de inflamações, em 15 estados brasileiros (SILVA; MARTINS *et al.*, 2022). Esses exemplos ilustram a abrangência geográfica e a solidez do conhecimento etnobotânico nacional, que muitas vezes antecipa descobertas farmacológicas que a ciência posteriormente válida.

O Brasil é uma fonte extremamente rica de germoplasma com potencial medicinal, que pode ser utilizado na cura de várias doenças; porém, com a exploração indiscriminada da flora brasileira, as plantas medicinais estão em perigo de extinção (MOREIRA, 2025). A perda de espécies vegetais implica não apenas a extinção de recursos terapêuticos em potencial, mas também o desaparecimento de microrganismos endofíticos associados, cujo potencial biotecnológico permanecerá desconhecido se não houver esforços coordenados de conservação e estudo.

De acordo com Gonçalves (2013), as plantas medicinais exercem importância fundamental para a humanidade, sendo utilizadas pela medicina clássica e popular como

fitoterápicos, em substituição aos medicamentos sintéticos e apresentam elevados teores de óleos essenciais, os quais são empregados nas indústrias. Os óleos essenciais, em particular, são exemplos emblemáticos de produtos naturais com propriedades antimicrobianas e anti-inflamatórias que encontram aplicações que vão da aromaterapia à formulação de cosméticos e alimentos.

As pesquisas com plantas têm aumentado, uma vez que a busca não é apenas sobre as aplicações das plantas medicinais, mas também, o interesse em descobrir quais microrganismos vivem nelas de forma mutualística e quais compostos de interesse biotecnológico eles podem produzir. Assim, muitas plantas amplamente utilizadas como remédio por muito tempo, como a *Aloe vera*, ainda não possuem as funções bioquímicas sistematicamente investigadas (ROSA, 2025). Essa lacuna ressalta a importância de estudos integrativos que considerem a planta como um holobionte, ou seja, uma unidade composta pelo vegetal e sua microbiota associada, cujas interações podem ser responsáveis por parte das atividades terapêuticas observadas.

Quase todas as espécies vegetais investigadas em pesquisas apresentam microrganismos endofíticos e, portanto, acredita-se que muitas das propriedades medicinais de algumas plantas podem estar relacionadas a eles, sugerindo que as propriedades terapêuticas de uma planta podem estar na interação entre ambos (ROSA, 2025). Essa hipótese tem impulsionado uma mudança de paradigma na farmacognosia, que passa a buscar não apenas os princípios ativos do vegetal, mas também as moléculas bioativas produzidas pelos endófitos que colonizam seus tecidos.

Endófitos são isolados de todas as espécies de plantas investigadas até o momento, de modo que a coevolução do metabólita tem afetado o uso etnobotânico, especialmente terapêutico, das plantas (microbiota) (CARUSO *et al.*, 2020). A coevolução do metabólita entre planta e endófito pode explicar por que certas plantas desenvolvem perfis químicos únicos em determinados ambientes, conferindo-lhes propriedades medicinais que variam geograficamente, um fenômeno bem documentado pela etnofarmacologia.

Neste sentido, a presença de endófitos já foi constatada em inúmeras plantas medicinais e plantas de interesse econômico, entre elas *Taxus brevifolia*, *Artemisia annua* e *Artemisia mongólica* (SANTOS *et al.*, 2013). Essas plantas são notórias produtoras de fármacos anticancerígenos e antimaláricos, o que sugere que os fungos

endofíticos podem desempenhar um papel direto na biossíntese desses compostos ou na modulação de sua produção pela planta.

Ao longo de um extenso período de evolução, alguns endófitos coexistentes e suas plantas hospedeiras estabeleceram uma relação especial uns com os outros, a qual pode influenciar significativamente a formação de produtos metabólicos nas plantas, afetando então a qualidade e a quantidade de fármacos brutos derivados de plantas medicinais (JIA et al., 2016). Compreender os mecanismos moleculares dessa relação abre caminho para a manipulação controlada da microbiota endofítica, visando aumentar a produção de fármacos de forma sustentável e independente do cultivo extensivo da planta hospedeira. O que é mais preponderante, portanto, é investigar esse mundo endofítico das plantas medicinais a fim de que possam ser caracterizados como produtores de fármacos.

4.2 Fungos endofíticos

Os fungos endofíticos constituem um grupo de microrganismos que colonizam os tecidos internos de plantas vivas sem causar sintomas aparentes de doença durante pelo menos uma parte do seu ciclo de vida (PETRINI, 1991; STONE; BACON; WHITE, 2000).

Tais organismos podem ser encontrados em diferentes estruturas vegetais – folhas, caules, raízes e sementes –, estabelecendo com seus hospedeiros associações ecológicas complexas que variam do mutualismo ao comensalismo, ou que permanecem em estado latente, a depender das condições ambientais e do estado fisiológico da planta (SCHULZ; BOYLE, 2005). Essa plasticidade ecológica é uma das características mais notáveis do grupo, pois permite que um mesmo fungo possa alternar entre um estilo de vida benéfico e um potencialmente patogênico, dependendo de sinais ambientais ou genéticos do hospedeiro. Tal fenômeno, conhecido como “*continuum* endofítico”, desafia classificações rígidas e demonstra a natureza dinâmica das interações planta-microrganismo.

A colonização endofítica inicia-se quando os fungos penetram os tecidos vegetais por meio de aberturas naturais, como estômatos, ou por microlesões na superfície da planta. Uma vez no interior do hospedeiro, esses microrganismos interagem fisiológica e metabolicamente com as células vegetais, desempenhando múltiplas funções ecológicas (RODRIGUEZ et al., 2009).

O sucesso da colonização depende não apenas da capacidade do fungo em superar barreiras físicas e químicas impostas pelo vegetal, mas também de um intrincado reconhecimento molecular entre as duas partes. Durante esse processo, a planta modula respostas de defesa, evitando uma reação de hipersensibilidade que eliminaria o invasor, enquanto o fungo ajusta seu metabolismo ao microambiente interno do hospedeiro. Destaca-se que os fungos endofíticos, justamente por habitarem os tecidos vegetais sem provocar danos, possuem reconhecido potencial multifuncional: podem atuar no controle biológico de pragas, na promoção do crescimento vegetal e na produção de compostos bioativos de interesse industrial e farmacêutico (Flores *et al.*, 2023).

Embora as funções exatas desses microrganismos ainda não estejam completamente elucidadas, especula-se que eles exercem papéis fundamentais na aquisição de nutrientes, melhorando o crescimento da planta, conferindo imunidade vegetal e promovendo resistência a estresses de natureza biótica e abiótica (LIAO *et al.*, 2025).

Estudos clássicos demonstram, por exemplo, que fungos endofíticos podem proteger as plantas contra patógenos, aumentar a tolerância a seca, salinidade e temperaturas extremas, além de sintetizar metabólitos secundários com propriedades biológicas relevantes (STROBEL; DAISY, 2003). A proteção contra patógenos pode ocorrer por diferentes mecanismos: competição direta por espaço e nutrientes, produção de compostos antimicrobianos, indução de resistência sistêmica na planta ou mesmo micoparasitismo.

Já a tolerância a estresses abióticos frequentemente está associada à produção de fitohormônios, como auxinas e giberelinas, que promovem o desenvolvimento radicular e a absorção de água, ou à síntese de osmólitos que protegem as células vegetais contra danos oxidativos. A interação entre esses fungos e seus hospedeiros é, portanto, crucial para a sobrevivência vegetal, e muitos dos compostos produzidos nessa associação apresentam significativo potencial biotecnológico (COERTJENS; MASCARENHAS; BATISTOTE, 2023).

Tais microrganismos são capazes de gerar compostos antimicrobianos, antioxidantes e enzimas que auxiliam diretamente na defesa da planta ou na adaptação a condições adversas. A comunicação química que sustenta essa simbiose é especialmente sofisticada: os fungos endofíticos atuam como elicitores bióticos, modulando o

metabolismo secundário da planta e, ao mesmo tempo, respondendo a sinais do hospedeiro para ativar seus próprios *clusters* de genes biossintéticos (BGCs), que frequentemente permanecem silenciosos em cultura de laboratório (CHEN; JIANG, 2026). Essa sinalização bidirecional explica por que muitos compostos bioativos de interesse farmacológico só são produzidos na interação planta-fungo e não quando o microrganismo é cultivado isoladamente. Consequentemente, estratégias de co cultura ou de adição de elicitores químicos têm sido empregadas para mimetizar o ambiente natural e desbloquear vias metabólicas crípticas, ampliando as chances de descoberta de novas moléculas.

A diversidade de fungos endofíticos é amplamente influenciada pela espécie vegetal hospedeira, pelas condições climáticas, pelo tipo de tecido analisado e pela localização geográfica. Praticamente todas as plantas examinadas até o momento apresentam algum tipo de associação com microrganismos endofíticos (RODRIGUEZ *et al.*, 2009). Essa onipresença sugere que a associação endofítica é uma regra na natureza, e não uma exceção, tendo evoluído repetidamente ao longo da história das plantas terrestres.

Estudos de filogenia molecular indicam que a capacidade de colonizar endofiticamente surgiu independentemente em diversas linhagens fúngicas, o que reforça a vantagem adaptativa conferida por esse modo de vida. Esses fungos impactam também as propriedades do solo, facilitando a absorção e a translocação de nutrientes e, consequentemente, impulsionando o crescimento vegetal. Estudos de filogenia molecular indicam que a capacidade de colonizar endofiticamente surgiu independentemente em diversas linhagens fúngicas (Hu *et al.*, 2024), o que reforça a vantagem adaptativa conferida por esse modo de vida

Contudo, o estudo dos endófitos enfrenta desafios metodológicos expressivos, pois muitos não são facilmente cultiváveis, o que dificulta sua identificação por técnicas tradicionais (ABDULLAHI, 2025). Para contornar essa limitação, abordagens independentes de cultivo, como a metagenômica e a análise de DNA ambiental, têm sido fundamentais para revelar a verdadeira diversidade das comunidades endofíticas. Além disso, o sequenciamento de última geração permite acessar o potencial metabólico total desses microrganismos, identificando genes biossintéticos mesmo naqueles fungos que ainda não foram cultivados.

Em regiões tropicais como a Amazônia, a elevada biodiversidade vegetal reflete-se em uma notável riqueza de fungos endofíticos. Strobel (2000) já apontava esses ecossistemas como importantes reservatórios de microrganismos produtores de compostos bioativos e enzimas de interesse biotecnológico. A lógica por trás dessa afirmação é que, em ambientes de alta competição e pressão seletiva, como as florestas tropicais, os organismos desenvolveram estratégias químicas sofisticadas de defesa e comunicação, tornando a microbiota associada uma fonte particularmente rica de novas moléculas.

Estudos recentes corroboram essa perspectiva: Barros *et al.* (2023) verificaram que isolados endofíticos obtidos de espécies vegetais amazônicas e seus extratos exibem atividades antibacteriana, antifúngica, citotóxica e biossurfactante, além de potencial para o controle biológico de pragas e aplicações no diagnóstico de doenças. Tal diversidade metabólica não se restringe aos trópicos.

Zhang, Song e Tan (2006) já haviam enfatizado a grande variedade de metabólitos secundários e enzimas extracelulares produzidos por endófitos, com funções ecológicas diversas e potenciais aplicações industriais. Dentre essas enzimas, destacam-se celulasas, xilanases e lacases, que encontram uso na indústria de biocombustíveis, papel e celulose, além de proteases e lipases com aplicações na produção de detergentes e alimentos.

O interesse pela produção de metabólitos secundários desses fungos intensificou-se com o reconhecimento de seu valor biotecnológico. Zakariyah *et al.* (2024) investigaram o vasto repertório metabólico dos endófitos e os métodos mais recentes para despertar *clusters* gênicos biossintéticos silenciosos, possibilitando a descoberta de novas moléculas naturais; os autores também discutem os avanços das plataformas de metabolômica empregadas para traçar o perfil desses compostos.

Na agricultura, Canuto *et al.* (2023) destacam que os fungos endofíticos representam uma fonte promissora de novos compostos bioativos para o desenvolvimento de bioprodutos como bioinseticidas, biofungicidas e bioherbicidas. A substituição de agroquímicos sintéticos por bioprodutos derivados de endófitos alinha-se aos princípios da agricultura sustentável, reduzindo a contaminação ambiental e os riscos à saúde humana, ao mesmo tempo em que diversifica as opções de manejo integrado de pragas e doenças.

Na indústria farmacêutica, o potencial dos endófitos tornou-se evidente no século XX com a descoberta da produção do diterpenoide taxol – potente agente anticancerígeno – pelo fungo endofítico *Taxomyces andreanae*, originalmente isolado de espécies do gênero *Taxus* (SPECIAN *et al.*, 2014).

Posteriormente, Santos *et al.* (2013) isolaram substâncias bioativas de fungos endofíticos que apresentavam constituição química idêntica à de compostos produzidos pelos hospedeiros vegetais. Entre esses compostos destacam-se os alcaloides vincristina (obtido de *Mycelia sterilia* associado a *Catharanthus roseus*), a camptotecina (isolada de endófitos de *Nothapodytes foetida*), a podofilotoxina (de *Podophyllum hexandrum*) e a hipericina (de *Hypericum perforatum*). Essas evidências confirmam a capacidade metabólica singular dos fungos endofíticos e reforçam o crescente interesse científico pela prospecção biotecnológica de microrganismos associados a plantas.

Ademais, a semelhança estrutural entre metabólitos de endófitos e de suas plantas hospedeiras sugere transferência horizontal de genes ou coevolução. Independentemente do mecanismo, os fungos endofíticos consolidaram-se como alternativa sustentável para produção de fármacos, pois podem ser cultivados em biorreatores em larga escala. Conforme apontam Chen e Jiang (2026), traduzir os mecanismos dessa 'sinalização química' em estratégias biotecnológicas oferece uma via sustentável para a bioprodução de produtos farmacêuticos de alto valor, reduzindo assim a dependência da coleta predatória de plantas medicinais.

4.3 Classificação dos fungos endofíticos

Os fungos endofíticos podem ser classificados de diferentes maneiras, considerando aspectos ecológicos, filogenéticos e funcionais. Uma das classificações mais amplamente utilizadas divide esses microrganismos em dois grandes grupos: os endófitos da família Clavicipitaceae (C-endófitos) e os não-Clavicipitaceae (NC-endófitos) (RODRIGUEZ *et al.*, 2009).

Os C-endófitos estão associados principalmente a gramíneas e apresentam uma relação altamente especializada com suas plantas hospedeiras. Esses fungos geralmente são transmitidos verticalmente, ou seja, passam da planta-mãe para as sementes, garantindo sua permanência nas gerações seguintes. Essa forma de transmissão favorece relações mutualísticas, nas quais tanto o fungo quanto a planta obtêm benefícios (RODRIGUEZ *et al.*, 2009).

Entre os benefícios proporcionados por esses endófitos às plantas hospedeiras estão o aumento da resistência contra herbívoros, patógenos e condições ambientais adversas. Além disso, esses fungos podem contribuir para a produção de metabólitos que atuam na defesa química da planta. Tais benefícios são corroborados por Rana *et al.* (2020), que destacam a "maior capacidade competitiva e aumento da resistência a herbívoros, patógenos e vários estresses abióticos", além de apontarem os endófitos como "um dos grupos mais criativos de produtores de metabólitos secundários"

Por outro lado, os NC-endófitos apresentam maior diversidade taxonômica e ecológica. Esses microrganismos podem colonizar uma grande variedade de plantas, incluindo briófitas, samambaias, coníferas e angiospermas. Diferentemente dos C-endófitos, a transmissão ocorre principalmente de forma horizontal, por meio de esporos presentes no ambiente (RODRIGUEZ *et al.*, 2009).

De acordo com Schulz e Boyle (2005), os NC-endófitos formam um continuum de interações com as plantas, podendo atuar como mutualistas, comensais ou até mesmo patógenos latentes dependendo das condições ambientais. Essa plasticidade ecológica contribui para a grande diversidade funcional desses microrganismos.

Estudos em diversas espécies vegetais demonstram que a composição da comunidade de fungos endofíticos não é homogênea pela planta, podendo variar significativamente entre diferentes tecidos. Essa plasticidade é apontada como uma resposta adaptativa a microambientes e funções específicas em cada órgão (HARDOIM *et al.*, 2015; AZEVEDO *et al.*, 2000).

Silva *et al.* (2006), por exemplo, ao estudarem o gênero da planta *Annona*, observaram que folhas, caules e raízes abrigam comunidades microbianas distintas. Corroborando essa ideia, Souza *et al.* (2004) verificaram que as comunidades de fungos endofíticos em plantas da Amazônia variavam conforme o tecido hospedeiro, com raízes e folhas apresentando composições fúngicas diferenciadas.

Essa diversidade ecológica e metabólica torna os fungos endofíticos uma importante fonte de compostos naturais e enzimas com potencial biotecnológico (STROBEL; DAISY, 2003).

4.4 Enzimas extracelulares produzidas pelos fungos endofíticos

As enzimas são proteínas que atuam como catalisadores biológicos, acelerando reações químicas essenciais para o metabolismo celular (NELSON; COX, 2014). Nos microrganismos, muitas enzimas são secretadas para o meio extracelular, permitindo a degradação de compostos complexos presentes no ambiente e facilitando a absorção de nutrientes.

Nos fungos, a produção de enzimas extracelulares está diretamente relacionada à sua capacidade de decompor materiais orgânicos, especialmente polímeros complexos como proteínas, lipídios e carboidratos. Essas moléculas são inicialmente degradadas no meio externo por enzimas secretadas pelo microrganismo, gerando compostos menores que podem ser absorvidos pelas células fúngicas. Fungos endofíticos são reconhecidos por sua elevada capacidade de produzir enzimas extracelulares, muitas das quais estão envolvidas na degradação de componentes da parede celular vegetal ou de substâncias presentes nos tecidos hospedeiros (CUZZI *et al.*, 2011).

Entre as enzimas frequentemente investigadas em estudos com fungos endofíticos destacam-se amilases, lipases e proteases, que desempenham papéis importantes no metabolismo desses microrganismos e apresentam amplo interesse biotecnológico (AMARAL, 2020).

Segundo Valério *et al.* (2025), a análise da produção de enzimas extracelulares por fungos endofíticos constitui uma importante ferramenta para avaliar o potencial biotecnológico desses microrganismos, uma vez que muitas dessas enzimas podem ser utilizadas em processos industriais.

4.4.1 Produção de amilase por fungos endofíticos

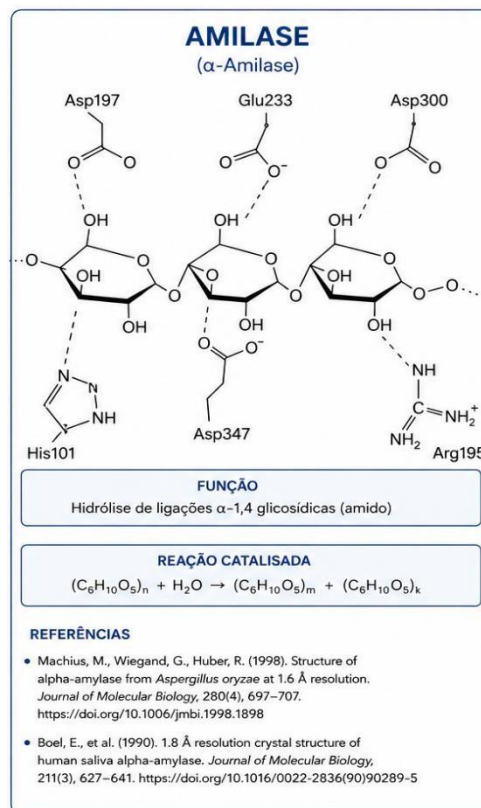
As amilases são enzimas pertencentes ao grupo das hidrolases responsáveis pela degradação do amido, um dos principais polissacarídeos de reserva encontrados em plantas. Essas enzimas catalisam a quebra das ligações glicosídicas presentes nas moléculas de amido, liberando açúcares menores como maltose, glicose e dextrinas (NELSON; COX, 2014).

A produção de amilases por microrganismos é um fenômeno amplamente explorado em estudos biotecnológicos, especialmente em fungos filamentosos, que possuem elevada capacidade de secreção de enzimas extracelulares. No caso dos fungos endofíticos, a produção dessas enzimas pode estar relacionada à utilização de carboidratos presentes nos tecidos vegetais ou na adaptação metabólica desses microrganismos ao ambiente interno das plantas (CUZZI *et al.*, 2011).

Estudos realizados com fungos endofíticos isolados de diferentes espécies vegetais demonstram que muitos desses microrganismos apresentam atividade amilolítica significativa. Cuzzi *et al.* (2011), por exemplo, ao investigarem fungos endofíticos isolados de *Baccharis dracunculifolia*, observaram que diversos isolados foram capazes de produzir enzimas hidrolíticas, incluindo amilases, evidenciando o potencial metabólico desses organismos.

Além disso, Amaral (2020) ressalta que fungos endofíticos isolados de clones de seringueira apresentaram produção de enzimas extracelulares com diferentes níveis de atividade, incluindo enzimas envolvidas na degradação de carboidratos. Esses resultados reforçam a importância desses microrganismos como fontes potenciais de enzimas com aplicações biotecnológicas.

Figura 1. Estrutura molecular da amilase



As amilases microbianas apresentam ampla aplicação industrial, sendo utilizadas principalmente nos setores alimentício, farmacêutico e de biotecnologia industrial. Entre suas principais aplicações destacam-se a produção de xaropes de glicose, processamento de alimentos, fermentação alcoólica e produção de biocombustíveis (VALÉRIO *et al.*, 2025). Dessa forma, a identificação de fungos endofíticos capazes de produzir amilases contribui significativamente para a prospecção de novas enzimas de interesse industrial.

4.4.2 Produção de lipase por fungos endofíticos

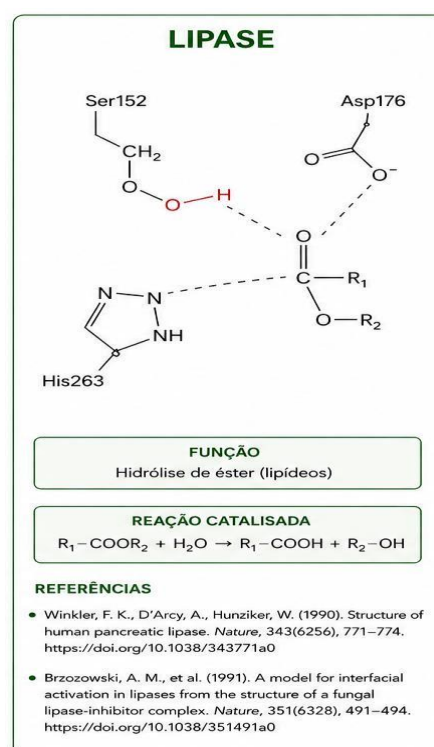
As lipases são enzimas pertencentes à classe das hidrolases que catalisam a quebra de lipídios, especialmente triglicerídeos, resultando na formação de ácidos graxos e glicerol (NELSON; COX, 2014). Essas enzimas desempenham papel fundamental no metabolismo de organismos capazes de utilizar lipídios como fonte de energia e carbono.

Nos fungos, as lipases podem ser secretadas para o meio extracelular, permitindo a degradação de compostos lipídicos presentes no ambiente. Em fungos endofíticos, a produção dessas enzimas pode estar relacionada à interação metabólica com os tecidos vegetais, bem como à adaptação desses microrganismos às condições nutricionais do hospedeiro (CUZZI *et al.*, 2011).

Diversos estudos têm demonstrado que fungos endofíticos apresentam elevada capacidade de produzir lipases com potencial aplicação biotecnológica. Mendonça *et al.* (2023) por exemplo, ao avaliarem a atividade enzimática de fungos endofíticos isolados de plantas medicinais amazônicas, observaram que vários isolados apresentaram atividade lipolítica significativa, indicando sua capacidade de degradar compostos lipídicos.

De acordo com Amaral (2020), a diversidade metabólica observada em fungos endofíticos está diretamente relacionada à variedade de substratos presentes nos tecidos

Figura 2. Estrutura molecular da lipase



vegetais, o que favorece a produção de diferentes enzimas extracelulares, incluindo lipases.

As lipases microbianas são amplamente utilizadas em diferentes setores industriais, incluindo a produção de biodiesel, síntese de compostos farmacêuticos, indústria alimentícia e formulação de detergentes. Essas enzimas apresentam vantagens importantes, como alta especificidade catalítica, estabilidade em diferentes condições ambientais e capacidade de atuar em diversos tipos de substratos (VALÉRIO *et al.*, 2025).

Dessa forma, a investigação da produção de lipases por fungos endofíticos contribui para a identificação de novos microrganismos com potencial aplicação em processos industriais e biotecnológicos.

4.5 Aplicações biotecnológicas de fungos endofíticos associados a plantas medicinais

Fungos endofíticos associados a essas plantas têm sido amplamente investigadas devido à sua capacidade de produzir compostos bioativos e enzimas com diferentes aplicações industriais e farmacológicas (STROBEL; DAISY, 2003).

Estudos realizados com fungos endofíticos isolados de plantas medicinais amazônicas demonstram que esses microrganismos podem apresentar elevada diversidade metabólica e significativa produção de enzimas extracelulares (MENDONÇA *et al.*, 2023). Dessa forma, a investigação da atividade enzimática desses microrganismos contribui para ampliar o conhecimento sobre a diversidade microbiana e identificar novas fontes de enzimas com potencial aplicação industrial.

Segundo Pardo *et al.* (2022), a prospecção biotecnológica de fungos endofíticos tem se destacado como uma estratégia promissora para a descoberta de novos produtos naturais, incluindo enzimas, antibióticos, antioxidantes e outras moléculas bioativas.

Os resultados mostraram que compostos bioativos secretados por fungos endofíticos têm propriedades antibacterianas, antioxidantes, anticancerígenas, inseticidas etc., indicando também sua utilidade em aplicações biotecnológicas, como na agricultura ou na fabricação de medicamentos. (ABD-ELSALAM *et al.*, 2025)

Esses produtos bioativos estão relacionados a sistemas de produção sustentáveis e ao desenvolvimento de novas substâncias com fortes propriedades farmacológicas, como antiviral, antifúngica, anti-inflamatória, antitumoral e antiparasitária, antidiabética

e imunossupressora, incluindo resposta a micro-organismos resistentes. (SILVA *et al.*, 2022).

Nesse sentido os fungos endofíticos também atuam como biocontrole em plantações como afirma Sá (2024), o uso de fungos endofíticos para biocontrole de patógenos na cultura do tomate apresenta-se como uma alternativa promissora no cenário da agricultura sustentável.

No campo da pesquisa por novas alternativas de tratamento do câncer, compostos de fontes naturais estão sendo explorados, como fungos endofíticos, que possuem potencial significativo devido ao seu crescimento rápido e produção escalável de baixo custo... Vários dos compostos avaliados superaram os resultados de fármacos relacionados à quimioterapia, de modo que se espera que vários deles possam prosseguir para as próximas fases, a fim de obter melhores terapias contra o câncer. (RIVERA-CAZAÑO *et al.*, 2025).

Segundo Goma *et al.* (2023) expõe que, nesta revisão fungos endofíticos e seus compostos bioativos e aplicações biomédicas foram discutidos. Endófitos, uma nova categoria de fonte microbiana que pode produzir uma variedade de componentes biológicos, tem grande valor para estudo e amplas perspectivas de desenvolvimento.

5. Metodologia

5.1 Coleta de amostra foliar

Foram selecionadas 9 espécies de plantas medicinais (tabela 1), essas saudáveis (sem sintomas visíveis de doença) e coletadas folhas, para garantir diversidade de nichos microbianos.

A coleta das amostras foi realizada com material estéril (tesouras, luvas, sacos estéreis), no viveiro do campus do Centro de Estudos Superior de Parintins-UEA, sendo todas coletadas no mesmo dia.

Tabela 1. Espécies de Plantas Medicinais utilizadas no cultivo dos Fungos Endofíticos.

ESPÉCIES DE PLANTAS MEDICINAIS

NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO
1. VASSOURINHA	<i>Supermacoce verticillata</i>
2. HORTELÃ	<i>Menta spicata</i>
3. BOLDO	<i>Peumus boldos</i>
4. PIÃO ROXO	<i>Jatropha gassypifolial</i>
5. ALFAVACA	<i>Ocimum basilicum L.</i>
6. SARA TUDO.	<i>Justice acuminatissima</i>
7. CAPIM SANTO	<i>Cymbopogon citratus</i>
8. MASTRUZ	<i>Dysphania ambrosioeide</i>
9. CORAMA	<i>Kalanchoe pinnata</i>

		
1. <i>Suparmacoe verticillata</i>	2. <i>Menta spicata</i>	3. <i>Peumus boldos</i>
		
4. <i>Jatropha gassypifolia</i>	5. <i>Ocimum basilicum L.</i>	6. <i>Justice acuminatissima</i>
		
7. <i>Cymbopogon citratus</i>	8. <i>Dysphania ambrosioide</i>	9. <i>Kalanchoe pinnata</i>

Figura 3. Espécies de plantas medicinais utilizadas no cultivo dos Fungos Endofíticos.

5.2 Tratamento das amostras e isolamento

As amostras (folhas) foram lavadas inicialmente em água corrente seguida de assepsia superficial; posteriormente as amostras sofreram secagem superficial em papel estéril e em seguida seccionadas em fragmentos quadrados de 5 mm. A assepsia dos fragmentos se deu por imersão em etanol 70 % por 1 minuto, hipoclorito de sódio a 1–2 % 3 minutos e em etanol 70% por 1 minuto, seguido de sucessivas lavagens em água destilada. (Figura 4)

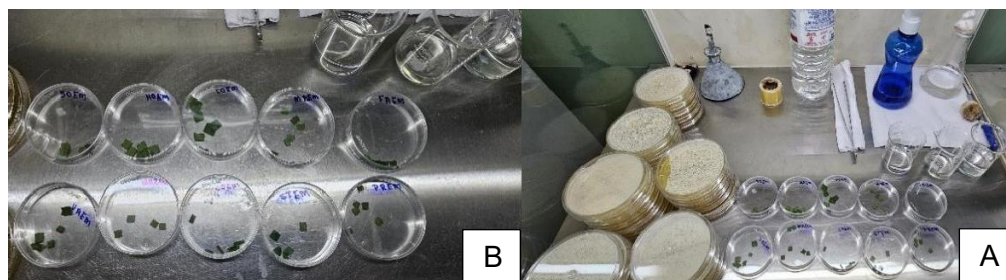


Figura 4. Assepsia das folhas das plantas medicinais (A e B)

Os fragmentos foram colocados em placas de Petri contendo meio de cultura BDA – Batata Dextrose e Agar ou meios enriquecidos suplementados com antibiótico (para inibir crescimento de bactérias) como mostra a figura 5. Incubação foi feita em condições de temperatura ambiente e estufa com 28-30°C até surgimento de micélio.

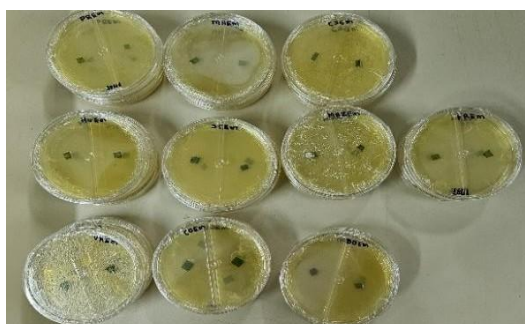


Figura 5. Fragmento de folhas nas placas de petri.

Após o surgimento das colônias, os isolados fúngicos foram submetidos ao procedimento de repicagem e purificação como mostra a figura 6, com o objetivo de obter culturas axênicas para as análises subsequentes. Esse processo permitiu a seleção de isolados com características morfológicas distintas, garantindo maior confiabilidade nos ensaios realizados.



Figura 6. Procedimento de repicagem e purificação.

Estas foram armazenadas em método Castellani (Figura 7) em refrigerador com temperatura de 12°C até posterior uso na determinação das enzimas.

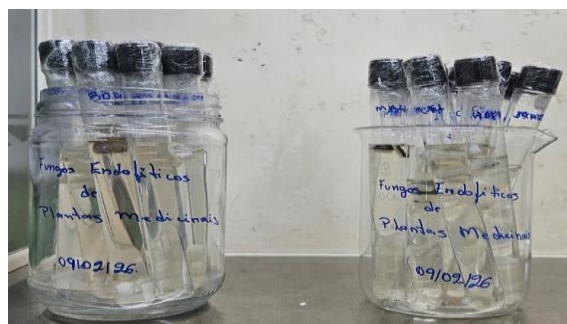


Figura 7. Armazenamento dos Fungos Endofíticos.

Posteriormente, os fungos endofíticos isolados foram submetidos à avaliação de seu potencial biotecnológico por meio de testes de produção de enzimas extracelulares. Foram realizados ensaios para detecção das atividades amilolítica e lipolítica, utilizando meios de cultura específicos para cada enzima. A capacidade de crescimento dos isolados nesses meios, associada à formação de halos de degradação dos substratos, permitiu avaliar o potencial dos fungos para a produção de amilases e lipases, enzimas amplamente utilizadas em processos industriais, biotecnológicos e ambientais.

5.3 Teste de avaliação de enzimas extracelulares

5.3.1 Atividade amilolítica (Amilase)

E para a enzima amilase, preparou-se o meio nutriente composto por 18 g de Ágar e 10 g de amido solúvel dissolvidos em 1000 mL de Tampão acetato de sódio 0,1 Molar (pH 5,0).

A revelação da atividade enzimática para amilase ocorre com a formação de halos translúcidos após aplicação de iodo ressublimado. Os halos foram aferidos com o auxílio de um paquímetro.

5.3.2 Atividade lipolítica (Lipase)

A análise da produção qualitativa de lipases foi realizada em duplicata, seguindo a metodologia descrita por Hankin e Anagnostakis (1975). Os fungos estudados foram pontualmente repicados, ao centro da placa de Petri, contendo 20 mL de meio de cultura sólido para lipases, pH 6,0, composto por 10 g.L⁻¹ de azeite extravirgem, 0,1 g.L⁻¹ de NaCl, 0,2 g.L⁻¹ de MgSO₄ e 15 g.L⁻¹ de ágar bacteriológico, previamente autoclavados à 120 °C, 1,5 atm durante 40 minutos.

Os fungos filamentosos após o repique pontual no meio foram incubados em estufa bacteriológica, à 30°C, por 115 horas. Posteriormente, os raios miceliais dos microrganismos foram determinados com o auxílio de um paquímetro para expressar o raio de crescimento fúngico em centímetros (cm). Os raios enzimáticos foram identificados pela formação de uma zona clara ao redor da colônia, resultante da acidificação do meio pela liberação de ácidos graxos contra a coloração rosa, revelados pela adição de solução reveladora (azul de metileno). Os raios enzimáticos da colônia foram medidos com o auxílio de um paquímetro e expresso em centímetros (cm).

Para isso, foi inserido 10 mL da solução reveladora às placas de Petri para a observação de halos transparentes ao redor do micélio fúngico, caracterizando a formação dos halos lipolíticos, os quais foram medidos com o auxílio de um paquímetro, obtendo a medida em centímetros.

5.3.3 Índice enzimático e atividade enzimática

A determinação do índice enzimático foi expresso mediante a relação do diâmetro médio do halo de degradação e o diâmetro médio da colônia.

$$IE = \frac{dh}{dc}$$

onde:

E: índice enzimático,

dh: diâmetro do halo e

dc: diâmetro da colônia.

Todas as atividades foram avaliadas em duplicata.

Os isolados que exibirem os maiores índices nos meios de cultivo avaliados são os que possuem maior potencial enzimático extracelular.

5.3.4 Análise de dados

Os dados coletados foram tabulados, e tabelas e gráficos feitos para análise através dos elementos que descrevem a distribuição desses dados, notadamente média e desvio padrão.

Utilizou-se o software estatística STATISTICA 3.0 para obtenção dos parâmetros descritivos.

6. Resultados

De acordo com a metodologia a partir do cultivo dos fragmentos foliares das plantas medicinais selecionadas para este estudo, foi observado o crescimento de colônias fúngicas endofíticas em todas as espécies vegetais analisadas como mostra o exemplo a Figura 8. Esse resultado demonstra a ampla ocorrência desses microrganismos nos tecidos internos das plantas investigadas, evidenciando sua capacidade de colonização sem causar sintomas aparentes de doença ao hospedeiro.



Figura 8. Colônias de fungos endofíticos em fragmento de folhas.

A obtenção de fungos endofíticos a partir de todas as plantas medicinais (Figura 9) estudadas reforça a elevada diversidade microbiana associada à flora amazônica e evidencia a importância desses microrganismos como fontes promissoras de compostos bioativos e enzimas de interesse biotecnológico.



Figura 9. Fungos endofíticos isolados de folhas de plantas medicinais.

6.1 Frequência dos fungos endofíticos isolados de plantas medicinais

Um total de 20 isolados de fungos endofíticos (codificados como EMF1 a EMF20) foram obtidos a partir de fragmentos foliares de nove espécies de plantas medicinais cultivadas no viveiro do Centro de Estudos Superiores de Parintins-UEA. A Figura 10 mostra a distribuição da quantidade de isolados para cada espécie vegetal analisada.

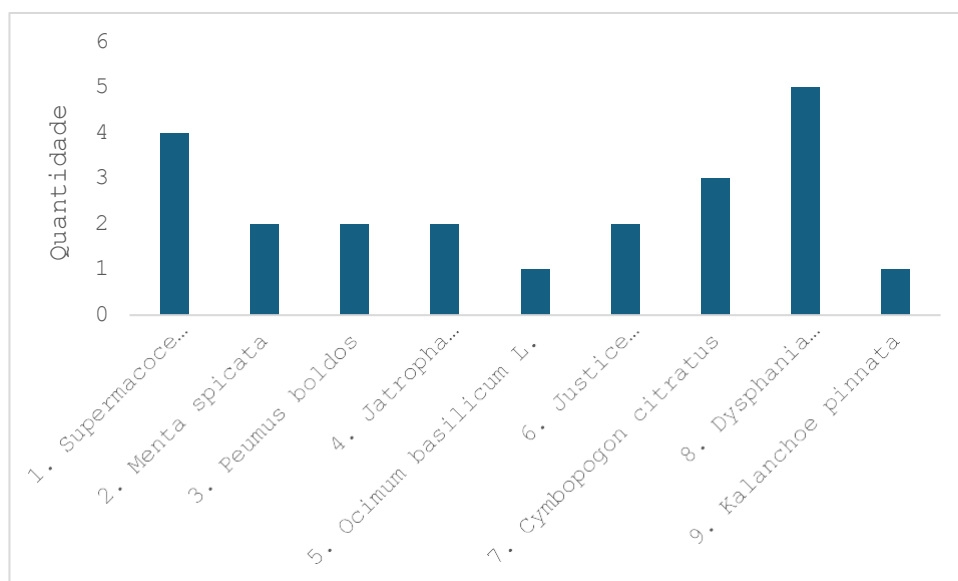


Figura 10. Distribuição do número de isolados por planta hospedeira.

As espécies *Dysphania ambrosioides* e *Supermacoce verticillata* foram a que apresentaram maior números de isolados endofíticos, respectivamente, enquanto, *Kalanchoe pinnata* e *Ocimum basilicum* L. foram as que apresentaram apenas 1 isolado (Figura 10).

A tabela 2 mostra quais os fungos endofíticos foram isolados por cada hospedeiro analisado. Para a espécie *Supermacoce verticillata*, por exemplo, foram isolados EMF8, EMF10, EMF11 e EM12. A espécie *Kalanchoe pinnata* foi a única na qual foi isolado somente um fungo endofítico (EMF15).

6.1.1 Isolados com múltiplos hospedeiros

Dois isolados apresentaram capacidade de colonizar mais de uma espécie vegetal (Tabela 2):

- **EMF8** foi isolado simultaneamente de *Supermacoce verticillata* e *Dysphania ambrosioides*.
- **EMF13** foi isolado de *Peumus boldos* e *Ocimum basilicum*.

Essa ocorrência sugere que certas cepas fúngicas possuem baixa especificidade por hospedeiro, podendo estabelecer associação endofítica com diferentes plantas medicinais no mesmo ambiente.

6.1.2 Considerações sobre a diversidade

A planta que apresentou o maior número de isolados foi *Dysphania ambrosioides* (Mastruz), com 5 isolados, seguida por *Supermacoce verticillata* (Vassourinha), com 4 isolados e *Cymbopogon citratus* (Capim Santo), 3 isolados. As demais espécies contribuíram com 1 ou 2 isolados cada. Essa variação pode refletir diferenças na composição química dos tecidos foliares, na arquitetura foliar ou na densidade de microrganismos endofíticos naturalmente associados a cada planta.

CÓDIGO FUNGO	1. <i>Supermacoce verticillata</i>	2. <i>Menta spicata</i>	3. <i>Peumus boldos</i>	4. <i>Jatropha gassypifolia</i>	5. <i>Ocimum basilicum L.</i>	6. <i>Justice acuminatissima</i>	7. <i>Cymbopogon citratus</i>	8. <i>Dysphania ambrosioides</i>	9. <i>Kalanchoe pinnata</i>
EMF1		X							
EMF2		X							
EMF3						X			
EMF4						X			
EMF5								X	
EMF6								X	
EMF7								X	
EMF8	X							X	
EMF9								X	
EMF10	X								
EMF11	X								
EMF12	X								
EMF13			X		X				
EMF14			X						
EMF15									X
EMF16				X					
EMF17				X					
EMF18							X		
EMF19							X		
EMF20							X		

Tabela 2. Isolados de fungos endofíticos obtidos de cada espécie vegetal. (X indica isolamento da respectiva planta.)

6.2 Fungos endofíticos que testaram positivo para a produção de amilase e lipase

A Tabela 3 sintetiza a capacidade dos 20 isolados (EMF1 a EMF20) em produzir as enzimas extracelulares amilase e lipase, conforme detectado em meios sólidos específicos, associada à planta de origem de cada fungo.

Das 9 espécies de vegetais analisadas 100% foi positiva para atividade lipolítica, enquanto 44,4% foi positiva para atividade amilolítica.

Tabela 3. Fungos endofíticos que testaram positivo para a produção de amilase e lipase.

Códigos dos fungos	Amilase	Lipase	Planta Hospedeira
EMF1		+	<i>Menta spicata</i>
EMF2		+	<i>Menta spicata</i>
EMF3		+	<i>Justice acuminatissima</i>
EMF4		+	<i>Justice acuminatissima</i>
EMF5		+	<i>Dysphania ambrosioide</i>
EMF6	+	+	<i>Dysphania ambrosioide</i>
EMF7		+	<i>Dysphania ambrosioide</i>
EMF8		+	<i>Dysphania ambrosioide</i> / <i>Supermacoce verticillata</i>
EMF9		+	<i>Dysphania ambrosioide</i>
EMF10		+	<i>Supermacoce verticillata</i>
EMF11		+	<i>Supermacoce verticillata</i>
EMF12		+	<i>Supermacoce verticillata</i>
EMF13	+	+	<i>Peumus boldos</i> / <i>Ocimum basilicum</i> L.
EMF14	+	+	<i>Peumus boldos</i>
EMF15	+	+	<i>Kalanchoe pinnata</i>
EMF16		+	<i>Jatropha gassypifolia</i>
EMF17		+	<i>Jatropha gassypifolia</i>
EMF18		+	<i>Cymbopogon citratus</i>
EMF19		+	<i>Cymbopogon citratus</i>
EMF20		+	<i>Cymbopogon citratus</i>

6.2.1 Produção de lipase

Todos os 20 isolados (100%) apresentaram atividade lipolítica positiva, evidenciada pela formação de halos de degradação nos meios contendo lipídio. Esse resultado indica que a capacidade de secretar lipase é uma característica amplamente distribuída entre os fungos endofíticos isolados das plantas medicinais de Parintins,

independentemente da espécie hospedeira. Não foi observada relação exclusiva entre a produção de lipase e uma determinada planta, uma vez que isolados provenientes de todas as nove espécies vegetais exibiram a enzima.

Exemplos de fungos produtores de lipase em placa de petri com presença do halo e corado com azul de metileno com o meio específico para essa enzima. (Figura 11)

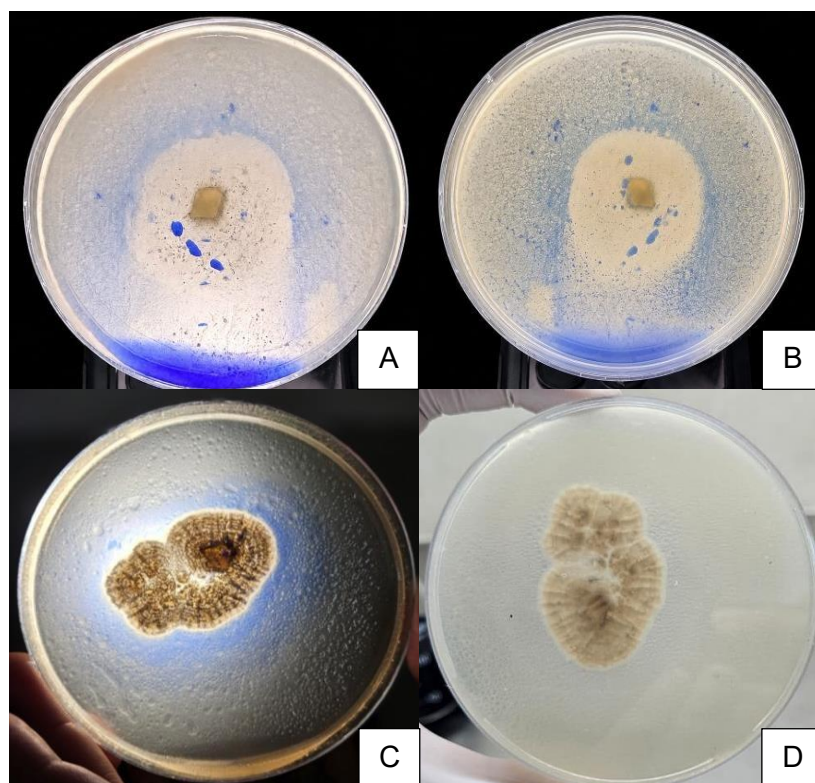


Figura 11. Placas testes de lipase verso a reverso EMF8 (A e B), EMF1 (C e D).

6.2.2 Produção de amilase

Do total de endofíticos isolados que testaram positivo para as enzimas analisadas, a produção de amilase foi observada em 20% dos isolados. Diferentemente da lipase, a produção de amilase foi restrita a 44,4% dos hospedeiros: EMF6, EMF13, EMF14 e EMF15. Esses fungos foram capazes de hidrolisar o amido presente no meio de cultura, conforme evidenciado pelos halos translúcidos após revelação com iodo. Os demais 16 isolados não apresentaram atividade amilolítica detectável nas condições testadas.

Os isolados produtores de amilase distribuíram-se entre as seguintes plantas hospedeiras:

- EMF6 – *Dysphania ambrosioides* (mastruz)
- EMF13 – *Peumus boldos* (boldo) e *Ocimum basilicum* (alfavaca)

- EMF14 – *Peumus boldos* (boldo)
- EMF15 – *Kalanchoe pinnata* (corama)

Destaca-se que a planta *Peumus boldos* forneceu dois isolados amilolíticos (EMF13 e EMF14), enquanto *Dysphania ambrosioides*, que foi a planta com maior número total de isolados (5), contribuiu com apenas um produtor de amilase (EMF6). *Kalanchoe pinnata*, apesar de ter fornecido um único isolado (EMF15), este mostrou-se positivo para amilase.

Exemplos de fungos produtores de amilase em placa de petri com presença do halo com o meio específico para essa enzima. (Figura 12)

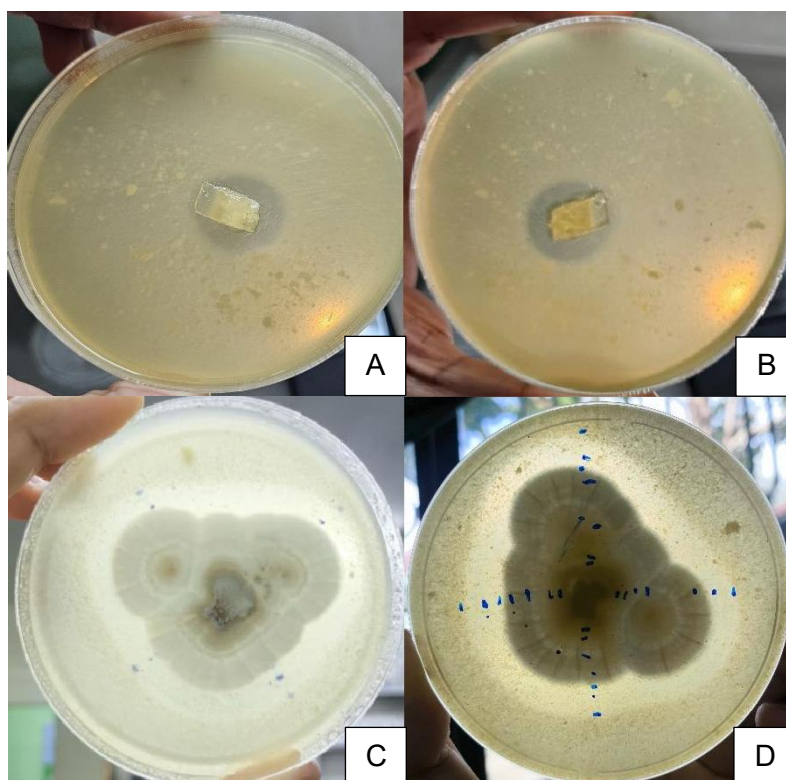


Figura 12. Placas testes de amilase verso a reverso EMF15 (A e B), EMF13 (C e D).

6.2.3 Isolados com dupla atividade enzimática

Quatro isolados – EMF6, EMF13, EMF14 e EMF15 – foram capazes de produzir simultaneamente amilase e lipase (Tabela 3). Esses fungos apresentam, portanto, um perfil enzimático mais versátil, sendo candidatos prioritários para estudos de otimização e aplicações biotecnológicas que exijam a degradação de diferentes classes de substratos (amido e lipídios).

Os demais 16 isolados produziram exclusivamente lipase, não sendo detectada atividade amilolítica. Nenhum isolado produziu apenas amilase sem produzir lipase.

6.3 Crescimento micelial para amilase

Os isolados que apresentaram atividade amilolítica (EMF6, EMF13, EMF14 e EMF15) foram avaliados seu crescimento micelial em meio sólido contendo amido como única fonte de carbono, onde a Figura 13 mostram o crescimento diário do micélio.

A análise da produção diária de amilase (ou crescimento micelial) ao longo de quatro dias revelou perfis distintos entre os isolados. O EMF13 destacou-se por uma produção precoce e rapidamente estabilizada: partiu do maior valor inicial (1,30 no 1º dia) e atingiu um platô entre o 3º e o 4º dia (2,26 e 2,28, respectivamente), indicando intensa atividade inicial seguida de saturação metabólica.

Em contraste, o EMF6 apresentou um padrão de crescimento progressivo e tardio, com valor inicial baixo (0,67), porém com aceleração acentuada a partir do 2º dia, especialmente entre o 3º e o 4º dia (incremento de 0,74), alcançando o maior valor final (2,74) entre todos os isolados – sugerindo um perfil de produção mais lento, porém de alta intensidade ao final do período.

O EMF14 exibiu aumento contínuo e moderado, atingindo 2,24 no 4º dia, mas manteve-se sistematicamente abaixo do EMF13 até o 3º dia. Por fim, o EMF15 apresentou o desempenho mais modesto em todos os tempos, com crescimento constante, porém com os menores valores absolutos (de 0,46 a 1,80), indicando baixa eficiência de produção nas condições testadas.

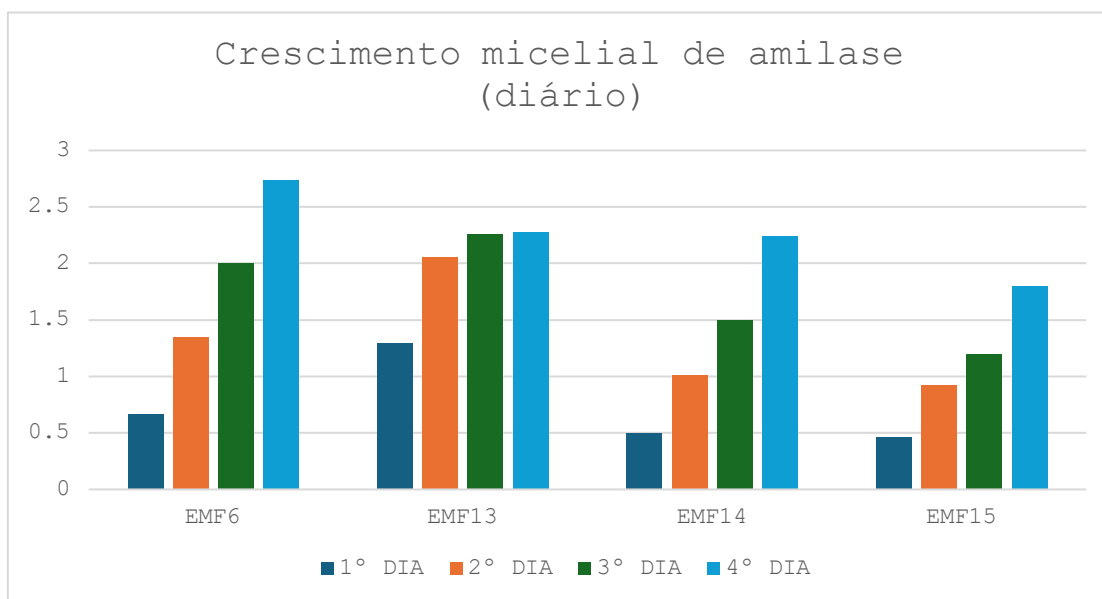


Figura 13. Crescimento micelial (cm) diário de quatro isolados de fungos endofíticos em meio de produção de amilase.

6.3.1 Dispersão e forma da distribuição

Como mostra a figura 14 e a tabela 4, o isolado **EMF13** apresentou a maior média de crescimento micelial (1,98) e o menor coeficiente de variação (23,33%), indicando não apenas maior biomassa produzida, mas também alta homogeneidade e reprodutibilidade entre as repetições. Esse comportamento é desejável para processos biotecnológicos que exigem produção estável de amilase.

Os isolados **EMF6** ($CV = 52,42\%$), **EMF14** ($56,45\%$) e **EMF15** ($51,17\%$) exibiram alta variabilidade relativa, com CV acima de 50%. Isso sugere menor estabilidade do crescimento ou maior sensibilidade a variações ambientais no meio de cultivo.

O isolado **EMF6**, embora tenha média intermediária (1,69), apresentou o maior desvio padrão (0,89), refletindo baixa precisão e grande dispersão dos dados. O isolado **EMF15** apresentou a menor média (1,1), com variabilidade ainda considerável.

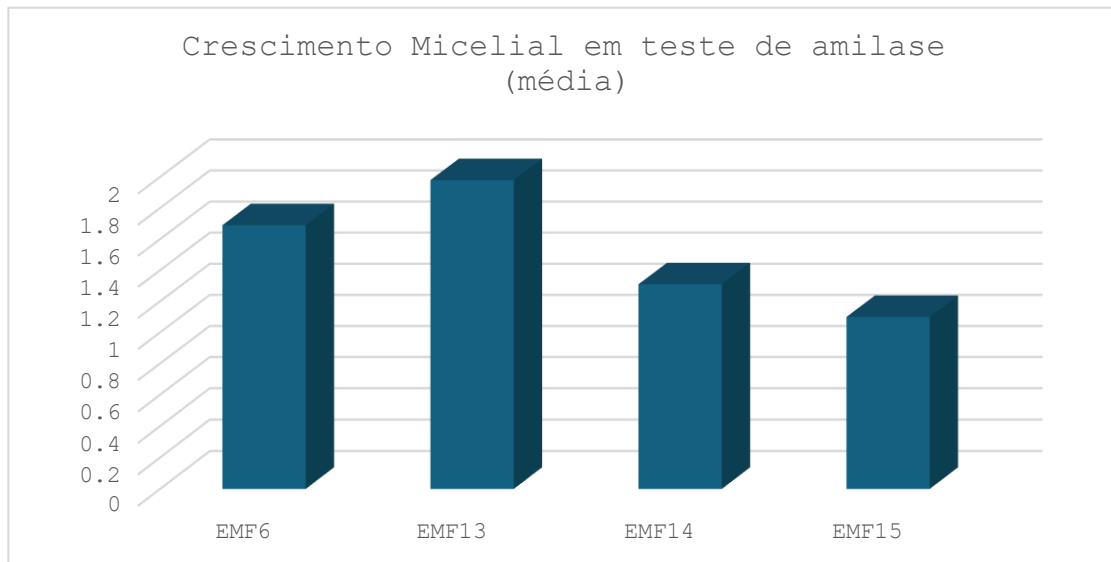


Figura 14. Média do crescimento micelial em teste de amilase

Tabela 4. Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação para os fungos que reagiram a amilase.

	EMF6	EMF13	EMF14	EMF15
MÉDIA ARITMÉTICA	1,69	1,98	1,31	1,1
DESVIO PADRÃO	0,89	0,46	0,74	0,56
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	52,42%	23,33%	56,45%	51,17%

6.4 Crescimento micelial em meio de produção de lipase

O crescimento micelial de 20 isolados fúngicos (EMF1 a EMF20) foi monitorado diariamente durante quatro dias em meio específico para indução de lipase. Para cada dia, calculou-se a média aritmética do crescimento considerando todos os isolados, permitindo avaliar a tendência geral da população ao longo do tempo (Figura 15).

Observa-se uma clara tendência de aumento progressivo ao longo dos dias. Do primeiro para o segundo dia, o crescimento médio mais que duplica (acréscimo de 0,67), indicando uma rápida resposta adaptativa dos isolados ao meio. Os incrementos subsequentes foram menores: 0,60 entre o segundo e o terceiro dia e 0,45 entre o terceiro e o quarto dia, sugerindo uma desaceleração gradual do ritmo de crescimento, possivelmente associada a limitações nutricionais ou acúmulo de produtos metabólicos.

Quando se analisa individualmente cada fungo, as médias acumuladas nos quatro dias variam consideravelmente — de 0,65 (EMF9) a 2,81 (EMF17). Os isolados mais promissores, com as maiores médias, foram EMF17 (2,81), EMF11 (2,48), EMF16 (1,97) e EMF3 (1,93), indicando maior capacidade de crescimento e, potencialmente, maior produção de lipase. Em sentido oposto, EMF9 (0,65), EMF7 (0,73), EMF20 (0,76) e EMF2 (0,77) apresentaram os menores valores médios, revelando baixo desempenho nas condições testadas. Os demais isolados situaram-se em faixa intermediária, com médias entre 1,03 e 1,80, podendo ser considerados em análises complementares dependendo de outros critérios, como variabilidade.

Em síntese, a progressão diária das médias gerais confirma um aumento consistente do crescimento micelial ao longo do tempo, e os isolados EMF17 e EMF11 destacam-se como os mais promissores para processos biotecnológicos voltados à produção de lipase.

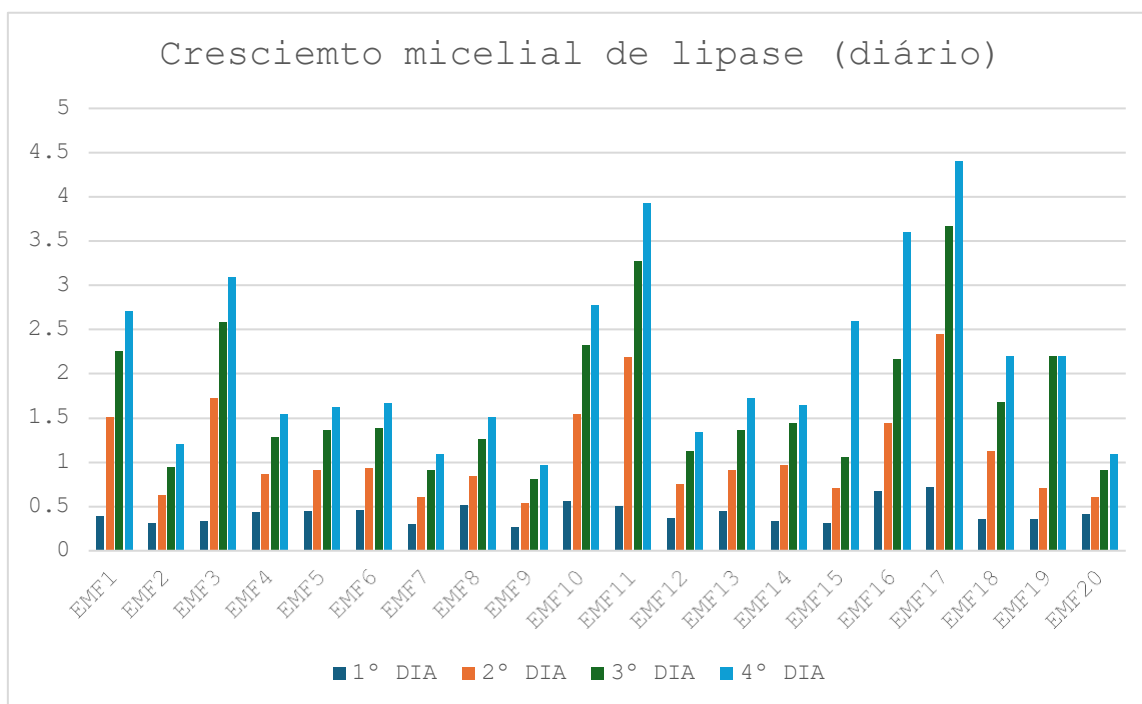


Figura 15. Crescimento micelial diário (cm) de 20 isolados de fungos endofíticos em meio de produção de lipase.

6.4.1 Dispersão e forma de distribuição

Na figura 16 observa-se uma ampla variação no desempenho médio, que oscila entre 0,65 (EMF9) e 2,81 (EMF17).

Os maiores valores concentram-se em EMF17 (2,81), EMF11 (2,48), EMF16 (1,97), EMF3 (1,93) e EMF10 (1,81), indicando maior produção acumulada de amilase ou crescimento micelial ao longo do período experimental.

Em contrapartida, os menores desempenhos médios foram registrados para EMF9 (0,65), EMF7 (0,73), EMF2 (0,77), EMF20 (0,76) e EMF12 (0,90), sugerindo baixa eficiência metabólica ou limitada capacidade de produção nas condições testadas. A maioria dos isolados situa-se em faixas intermediárias (entre aproximadamente 1,0 e 1,4), como EMF4, EMF5, EMF6, EMF8, EMF13, EMF14, EMF15, EMF18 e EMF19, representando um desempenho mediano.

Entretanto, a interpretação isolada da média aritmética não é suficiente; é necessário confrontá-la com o desvio padrão e o coeficiente de variação. Por exemplo, embora EMF17 apresente a maior média, seu coeficiente de variação de 57,26% indica dispersão considerável, o que pode comprometer a previsibilidade do processo. Já isolados com médias mais modestas, como EMF20 (média 0,755), exibem o menor CV (40,20%), denotando consistência – ainda que em nível baixo de produção.

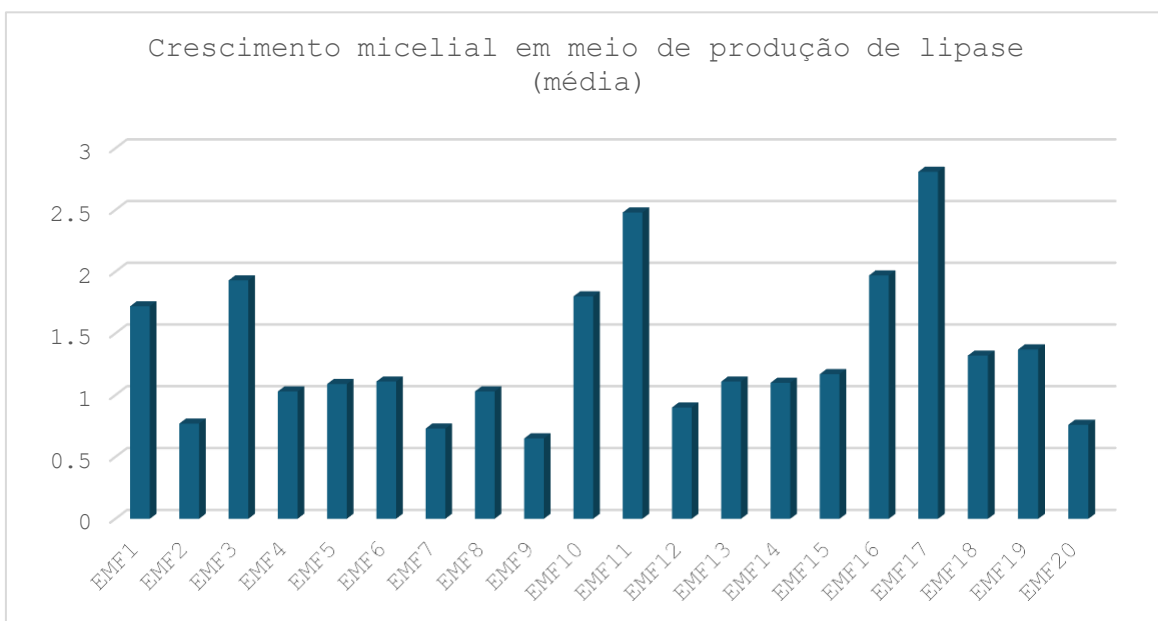


Figura 16. Crescimento micelial médio (cm) de 20 isolados de fungos endofíticos em meio de produção de lipase.

O coeficiente de variação (CV) evidenciou elevada heterogeneidade intra-isolado (Tabela 5). Os isolados EMF20, EMF8 e EMF4 apresentaram coeficiente de variação de 40,20%, 42,57% e 47,45 % respectivamente. Em contraste, os isolados EMF15, EMF19 e EMF16 apresentaram maiores valores para o coeficiente de variação de 85,36%, 71,45% e 63,37% respectivamente.

Os valores de desvio padrão (DP) acompanharam a magnitude das médias: isolados com maiores médias tenderam a apresentar maiores DP, como observado para EMF17 e EMF 11 com DP médio de 1,61 e 1,50 respectivamente. Isso sugere que o crescimento mais vigoroso não é necessariamente mais uniforme.

Assim, para fins de seleção de linhagens promissoras, recomenda-se priorizar aqueles que aliam média elevada a moderada a baixa variabilidade, como EMF10 (média 1,8025; CV 53,89%) ou, em análises complementares, EMF3 (média 1,93; CV 62,55%) requer maior cautela devido à alta dispersão. (Tabela 5)

Tabela 5. Valores de média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação.

	EMF1	EMF2	EMF3	EMF4	EMF5	EMF6	EMF7	EMF8	EMF9	EMF10
Média Aritmética	1.72	0.77	1.93	1.03	1.09	1.11	0.73	1.03	0.65	1.80
Desvio Padrão	1.01	0.39	1.21	0.49	0.52	0.53	0.34	0.44	0.31	0.97
Coeficiente de Variação	59.04%	50.02%	62.55%	47.45%	47.68%	47.55%	47.70%	42.57%	47.56%	53.89%
	EMF11	EMF12	EMF13	EMF14	EMF15	EMF16	EMF17	EMF18	EMF19	EMF20
Média Aritmética	2.48	0.90	1.11	1.10	1.17	1.97	2.81	1.32	1.37	0.76
Desvio Padrão	1.50	0.43	0.55	0.58	1.00	1.25	1.61	0.78	0.98	0.30
Coeficiente de Variação	60.59%	47.64%	49.62%	53.01%	85.36%	63.37%	57.26%	59.34%	71.45%	40.20%

6.5 Índice enzimático

6.5.1 Índice enzimático para amilase

Quatro isolados (EMF6, EMF13, EMF14 e EMF15) produtores de amilase foram submetidos ao ensaio de atividade amilolítica, com medição do Índice Enzimático (IE = diâmetro do halo / diâmetro da colônia) ao longo de quatro dias (Figura 17).

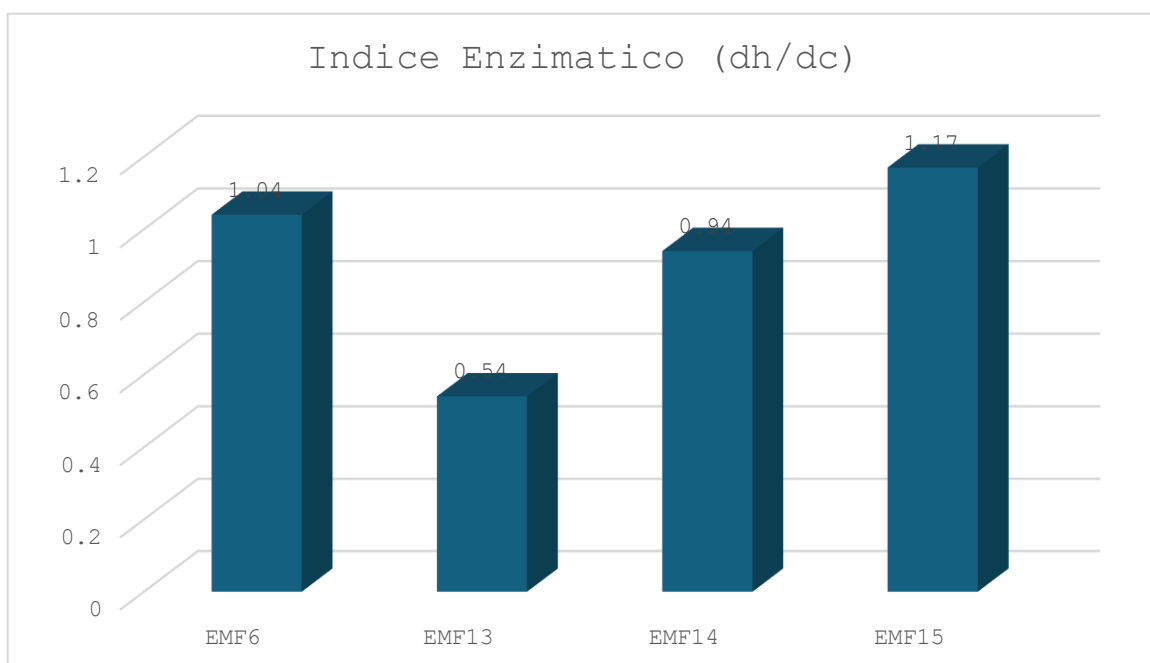


Figura 17. Índice enzimático (IE) para amilase de quatro isolados de fungos endofíticos, medido diariamente durante quatro dias.

O Índice enzimático variou em média de 0,54 (EMF13) a 1,17 (EMF15). O isolado EMF15 apresentou o melhor desempenho, com IE constante de 1,00 nos dois primeiros dias, elevando-se para 1,33 no 3º e 4º dias. (Tabela 6). O EMF6 também mostrou um bom índice, cuja variabilidade diária foi de 0,93 para 1,20 ao longo do período. Por outro lado, o isolado EMF14 apresentou evolução gradual (0,80 → 1,08), enquanto o isolado EMF13 foi o que apresentou a menor valor do índice enzimático inicial (0,25) atingindo valor de 0,94 no último dia. O isolado EMF13 foi o que apresentou uma média de IE inferior a 0,90.

Assim como observado para lipase, houve tendência de aumento do IE com o tempo, exceto para EMF13 que, embora tenha crescido, partiu de um patamar muito inferior. O EMF15 manteve-se estável nos primeiros dias e depois atingiu o maior pico (1,33). (Tabela 6)

Tabela 6. Variação diária do índice enzimático.

ISOLADO	Índice Enzimático diário			
	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia
EMF6	0,93	0,93	1,10	1,20
EMF13	0,32	0,65	1,5	2,15
EMF14	0,4	0,81	1,46	1,6
EMF15	0,46	0,92	1,6	2,4

6.5.2 Classificação dos isolados para amilase

Para a classificação dos isolados em relação ao índice enzimático, adotou-se a seguinte classificação:

- Alta atividade ($IE > 1,0$)
- Média atividade ($0,90 \leq IE < 1,0$)
- Baixa atividade ($IE < 0,90$)

Os isolados EMF 15 e EMF 6 apresentaram alta atividade amilolítica (Tabela 7). O isolado EMF 14 apresentou uma atividade amilolítica média, enquanto o isolado EMF 13 foi o que apresentou uma baixa atividade amilolítica.

Tabela 7. Classificação de isolados quanto ao índice enzimático.

Fungo endofítico	Atividade amilolítica	Planta hospedeira
EMF6	Alta	<i>Dysphania ambrosioides</i>
EMF13	Baixa	<i>Peumus boldos</i> / <i>Ocimum basilicum</i> L.
EMF14	Média	<i>Peumus boldos</i>
EMF15	Alta	<i>Kalanchoe pinnata</i>

6.5.3 Índice Enzimático para lipase

A Figura 18 apresenta os valores médios do índice enzimático para os fungos endofíticos isolados.

O índice enzimático médio (ao longo de 4 dias) variou entre os isolados de 0,65 (EMF9) a 2,81 (EMF17). Os isolados com menores médias foram EMF9 (0,65), EMF7 (0,73), EMF20 (0,76) e EMF2 (0,77). O maior valor máximo de índice enzimático registrado em um único dia foi de 4,40 para o isolado EMF17 no quarto dia, seguido por EMF11 com 3,93 no quarto dia e EMF16 com 3,60 também no quarto dia. Apenas 25% dos isolados (5 de 20) apresentaram média do índice enzimático inferior a 1,0, notadamente EMF2, EMF7, EMF9, EMF12 e EMF20. Os demais isolados (75%) mantiveram-se acima desse limite, sugerindo atividade lipolítica de moderada a alta.

Dentre todos os isolados, o fungo EMF17 destacou-se nitidamente como o melhor produtor de lipase, apresentando valor máximo de 4,40 para o índice enzimático no quarto dia de crescimento. Ressalta-se que os isolados fúngicos EMF11 e EMF16 também apresentaram excelentes índices, com valores máximos de 3,93 e 3,60 respectivamente. Em contraste, os isolados EMF9 (média 0,65), EMF7 (média 0,73) e EMF20 (média 0,76) apresentaram os menores valores médios de índice enzimático, indicando menor atividade lipolítica.

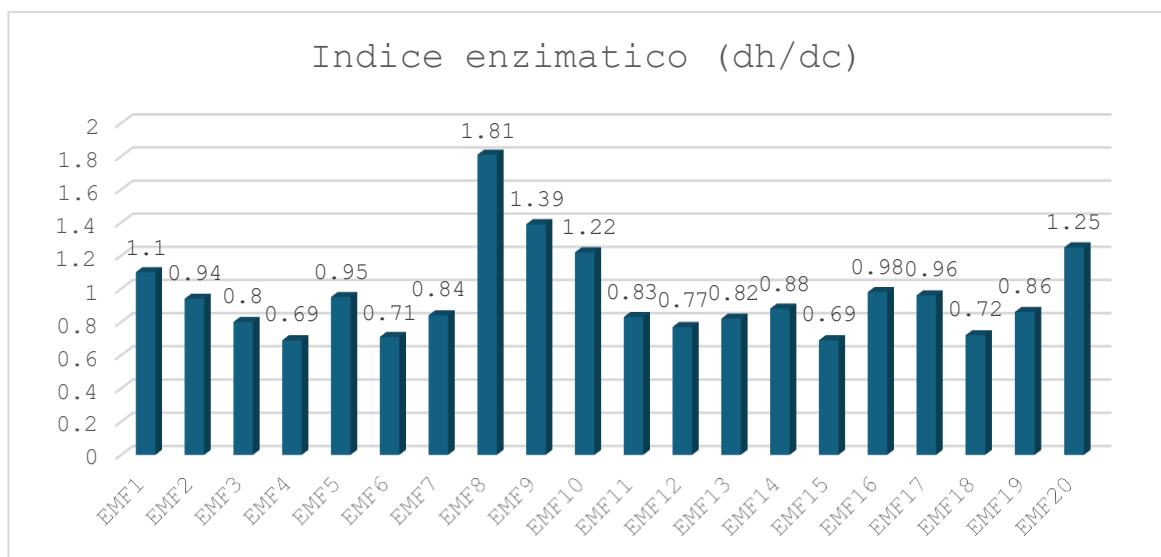


Figura 18. Índice enzimático (IE) para lipase de 20 isolados de fungos endofíticos (média) medido diariamente durante quatro dias.

6.5.4 Evolução temporal da atividade lipolítica

De modo geral, observou-se um padrão de aumento do IE ao longo dos dias, conforme mostra a Tabela 8. Nos dois primeiros dias, a maioria dos isolados apresentou valores entre 0,30 e 0,70, indicando que a secreção de lipase ocorre de maneira gradual no início da produção. A partir do 3º dia, já melhor adaptados ao meio, ocorre um aumento na produção enzimática para a maioria dos fungos, com destaque para os isolados EMF17, EMF11 e EMF16, que atingiram índices de 3,67, 3,28 e 2,16 no 3º dia, respectivamente. No 4º dia, a atividade lipolítica continuou intensa, com valores de 4,40 (EMF17), 3,93 (EMF11), 3,60 (EMF16) e 3,09 (EMF3).

Ressalta-se, por outro lado, que o isolado EMF14 mostrou um padrão diferente de adaptação ao meio, onde apresentou um acréscimo no valor do índice enzimático no 2º dia (de 0,34 para 0,96). Os isolados EMF9 e EMF20 mantiveram valores de índice enzimático num patamar baixo ($<1,0$) ao longo de todos os dias, sugerindo baixa produção de lipase.

Tabela 8. Variação diária do índice enzimático.

ÍNDICE ENZIMÁTICO DIÁRIO				
	1º DIA	2º DIA	3º DIA	4º DIA
EMF1	0,39	1,51	2,26	2,71
EMF2	0,31	0,63	0,94	1,2
EMF3	0,33	1,72	2,58	3,09
EMF4	0,43	0,86	1,29	1,54
EMF5	0,45	0,91	1,36	1,63
EMF6	0,46	0,93	1,39	1,66
EMF7	0,3	0,61	0,91	1,09
EMF8	0,52	0,84	1,26	1,51
EMF9	0,27	0,54	0,81	0,97
EMF10	0,56	1,55	2,32	2,78
EMF11	0,5	2,19	3,28	3,93
EMF12	0,37	0,75	1,12	1,34
EMF13	0,45	0,91	1,36	1,72
EMF14	0,34	0,96	1,44	1,65
EMF15	0,31	0,71	1,06	2,59
EMF16	0,67	1,44	2,16	3,6
EMF17	0,72	2,45	3,67	4,4
EMF18	0,35	1,12	1,68	2,2
EMF19	0,35	0,71	2,2	2,2
EMF20	0,41	0,61	0,91	1,09

6.5.6 Classificação dos isolados quanto ao potencial lipolítico

Para a classificação dos isolados em relação ao índice enzimático, adotou-se a seguinte classificação:

- Alta atividade ($IE > 1,0$)
- Média atividade ($0,90 \leq IE < 1,0$)
- Baixa atividade ($IE < 0,90$)

De modo geral, observou-se um padrão de aumento do IE ao longo dos dias, conforme mostra a Tabela 8. Nos dois primeiros dias, a maioria dos isolados apresentou valores entre 0,30 e 0,70, indicando que a secreção de lipase ocorre de maneira gradual no início da produção. A partir do 3º dia, ocorre um aumento acentuado para a maioria

dos fungos, com destaque para os isolados EMF17 (3,67), EMF11 (3,28) e EMF16 (2,16). No 4º dia, a atividade lipolítica continuou intensa, com valores de 4,40 (EMF17), 3,93 (EMF11), 3,60 (EMF16) e 3,09 (EMF3).

Ressalta-se que os isolados EMF2, EMF7, EMF9, EMF12 e EMF20 mantiveram índices enzimáticos majoritariamente abaixo de 1,0 ao longo de todo o período, sugerindo baixa produção de lipase.

Tabela 9. Classificação de isolados quanto ao índice enzimático

Fungo endofítico	Atividade Lipolítica	Planta Hospedeira
EMF 1	Alta	<i>Menta spicata</i>
EMF 2	Média	<i>Menta spicata</i>
EMF 3	Baixa	<i>Justice acuminatissima</i>
EMF 4	Baixa	<i>Justice acuminatissima</i>
EMF 5	Média	<i>Dysphania ambrosioide</i>
EMF 6	Baixa	<i>Dysphania ambrosioide</i>
EMF 7	Baixa	<i>Dysphania ambrosioide</i>
EMF 8	Alta	<i>Dysphania ambrosioide / Supermacoce verticillata</i>
EMF 9	Alta	<i>Dysphania ambrosioide</i>
EMF 10	Alta	<i>Supermacoce verticillata</i>
EMF 11	Baixa	<i>Supermacoce verticillata</i>
EMF 12	Baixa	<i>Supermacoce verticillata</i>
EMF 13	Baixa	<i>Peumus boldos / Ocimum basilicum L.</i>
EMF 14	Baixa	<i>Peumus boldos</i>
EMF 15	Baixa	<i>Kalanchoe pinnata</i>
EMF 16	Média	<i>Jatropha gassypifolial</i>
EMF 17	Média	<i>Jatropha gassypifolial</i>
EMF 18	Baixa	<i>Cymbopogon citratus</i>
EMF 19	Baixa	<i>Cymbopogon citratus</i>
EMF 20	Alta	<i>Cymbopogon citratus</i>

7. Discussão

Os resultados obtidos demonstram que os fungos isolados de plantas medicinais de Parintins apresentam comportamento metabólico diversificado, refletindo a riqueza funcional das comunidades endofíticas amazônicas. Conforme destacado por Hardoim *et al.* (2015), a interação entre microrganismos endofíticos e plantas hospedeiras influencia diretamente a expressão de características fisiológicas, incluindo crescimento, colonização e produção de enzimas extracelulares.

De maneira geral, os isolados avaliados apresentaram crescimento satisfatório nos meios de produção de lipase e amilase, indicando potencial para estudos posteriores de caracterização enzimática e aplicações biotecnológicas. Esses resultados reforçam a importância da biodiversidade amazônica como fonte de microrganismos promissores para os setores farmacêutico, ambiental e industrial.

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que os fungos endofíticos isolados de plantas medicinais apresentaram capacidade de crescimento em meios específicos para avaliação da atividade lipolítica e amilolítica, evidenciando seu potencial para produção de enzimas extracelulares. Esses resultados corroboram os achados de Cuzzi *et al.* (2011), que observaram a produção de enzimas hidrolíticas por fungos endofíticos isolados de *Baccharis dracunculifolia*, destacando a importância desses microrganismos como fontes promissoras de biocatalisadores.

No teste de lipase, verificou-se que os isolados apresentaram crescimento progressivo ao longo do período de incubação, acompanhado pela formação de halos enzimáticos. A presença desses halos indica a degradação de compostos lipídicos presentes no meio de cultura, demonstrando a capacidade dos fungos em secretar enzimas extracelulares para obtenção de nutrientes. Segundo Mendonça *et al.* (2023), a atividade lipolítica é frequentemente observada em fungos endofíticos associados a plantas medicinais amazônicas, sugerindo que esses microrganismos possuem elevada plasticidade metabólica e potencial para aplicações industriais.

Os índices enzimáticos observados para lipase revelam que alguns isolados apresentaram desempenho superior aos demais, indicando maior eficiência na degradação do substrato. Essa diferença pode estar relacionada às características fisiológicas de cada fungo e à adaptação ao hospedeiro vegetal. De acordo com Rodriguez *et al.* (2009), a

interação entre fungos endofíticos e plantas hospedeiras influencia diretamente a expressão de características metabólicas, incluindo a produção de enzimas extracelulares.

Em relação à atividade amilolítica, os resultados também evidenciaram a capacidade dos isolados em degradar amido, demonstrada pela formação de halos de hidrólise. Esse comportamento confirma a produção de amilases, enzimas importantes para a utilização de carboidratos complexos como fonte de carbono. Resultados semelhantes foram relatados por Amaral (2020), que identificou atividade amilolítica em fungos endofíticos isolados de seringueira, destacando o potencial desses organismos para aplicações biotecnológicas.

A variação observada entre os isolados quanto ao índice enzimático sugere que nem todos os fungos apresentam a mesma eficiência metabólica. Essa diversidade funcional é esperada em comunidades endofíticas, uma vez que fatores como espécie hospedeira, tecido vegetal e condições ambientais influenciam a composição e o comportamento metabólico dos microrganismos associados (HARDOIM *et al.*, 2015). Além disso, Rodriguez *et al.* (2009) destacam que a diversidade de fungos endofíticos representa uma importante estratégia adaptativa das plantas, favorecendo a ocupação de diferentes nichos ecológicos.

Os resultados obtidos reforçam ainda a relevância da biodiversidade amazônica como fonte de microrganismos com potencial biotecnológico. Strobel e Daisy (2003) afirmam que ecossistemas tropicais constituem importantes reservatórios de fungos produtores de enzimas e metabólitos secundários de interesse industrial. De forma semelhante, Barros *et al.* (2023) destacam que fungos endofíticos associados a espécies vegetais amazônicas apresentam potencial para aplicações nas indústrias farmacêutica, alimentícia, agrícola e ambiental.

Reconhecem-se limitações: ausência de identificação molecular (Petrini, 1991), ensaios qualitativos e alta variabilidade ($CV > 50\%$). Ainda assim, os fungos endofíticos de plantas medicinais de Parintins constituem fonte promissora de amilases e lipases. Estudos futuros com identificação molecular, quantificação enzimática e otimização das condições de cultivo ampliarão o conhecimento sobre seu potencial biotecnológico e o aproveitamento sustentável da biodiversidade amazônica.

8. Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que as plantas medicinais ocorrentes no município de Parintins (AM) abrigam uma diversidade de fungos endofíticos com potencial metabólico diferenciado. Foram isolados 20 fungos endofíticos a partir de nove espécies vegetais, confirmando a ampla ocorrência desses microrganismos nos tecidos foliares sadios da flora amazônica.

A produção de enzimas extracelulares revelou-se significativa para ambas as atividades investigadas. A totalidade dos isolados (100%) apresentou capacidade de secretar lipase, evidenciando que a degradação de compostos lipídicos constitui uma estratégia metabólica amplamente distribuída entre os endófitos analisados. Em contraste, a produção de amilase foi observada em apenas quatro isolados (20%), indicando uma via metabólica mais restrita e possivelmente associada a linhagens ou condições específicas de interação com o hospedeiro.

Entre os isolados, destacam-se aqueles que exibiram dupla atividade enzimática (EMF6, EMF13, EMF14 e EMF15), com potencial para aplicações que demandem a degradação simultânea de amido e lipídios. A análise dos índices enzimáticos revelou que, para lipase, os isolados EMF8, EMF9, EMF10 e EMF20 apresentaram alta atividade, sendo os mais promissores para processos biotecnológicos. Para amilase, os isolados EMF15 e EMF6 foram classificados como de alta atividade, enquanto EMF14 apresentou atividade média e EMF13, baixa.

Em síntese, os fungos endofíticos isolados de plantas medicinais de Parintins constituem uma fonte relevante de enzimas extracelulares, especialmente lipases, com potencial para aplicações nos setores industrial, farmacêutico e ambiental. Estudos futuros voltados à identificação molecular dos isolados, à quantificação enzimática e à otimização das condições de cultivo são necessários para viabilizar o aproveitamento sustentável desse patrimônio biológico amazônico.

9. Referências bibliográficas

ABD-ELSALAM, K. A.; ABUQAMAR, S. F. (ed.). **Fungal Endophytes, Volume I: Biodiversity and Bioactive Materials**. Singapore: Springer, 2025.

ABDULLAHI, M. B. A review of the diversity, distribution, and metagenomic analysis of endophytic fungal communities in different ecosystems. **Journal of Pure and Applied Sciences (Science Forum)**, v. 25, n. 3, p. 22-31, 2025.

AMARAL, A. O. **Diversidade de fungos endofíticos de clones de seringueira e seu potencial para produção de enzimas extracelulares e biocontrole de fungos fitopatogênicos**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Orientações sobre o uso de fitoterápicos e plantas medicinais**. Brasília: ANVISA, 2022.

AZEVEDO, J. L.; MACCHERONI JR., W.; PEREIRA, J. O.; ARAÚJO, W. L. Endophytic microorganisms: a review on insect control and recent advances on tropical plants. **Electronic Journal of Biotechnology**, Valparaíso, v. 3, n. 1, p. 40-65, 2000. Disponível em: <https://www.ejbiotechnology.info>. Acesso em: 26 maio 2026.

BARROS, B. N. D.; BENTES, V. S.; SANTOS, T. T.; BRITO, M. M.; CARVALHO, A. S. S. Avaliação do potencial biotecnológico de fungos endofíticos associados a espécies vegetais de ocorrência amazônica: uma revisão. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 11, p. 20779-20799, 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

CANUTO, K. M. et al. **Fungos endofíticos: perspectiva de descoberta e aplicação de compostos bioativos na agricultura**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2023.

CARUSO, G. et al. Linking endophytic fungi to medicinal plants therapeutic activity. A case study on Asteraceae. **Agriculture**, v. 10, n. 7, p. 286, 2020.

CHEN, Z.; JIANG, S. Chemical signaling and metabolomic crosstalk in endophytic fungi–medicinal plant symbioses for natural product discovery and sustainable bioproduction. **Metabolites**, v. 16, n. 3, p. 164, 2026.

COERTJENS, N. C.; MASCARENHAS, M. S.; BATISTOTE, M. Endophytic Fungi: A Natural Source of Bioactive Compounds and Biotechnological Applications. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 12, n. 3, p. 163-176, 2023.

CUZZI, C.; LINK, S.; VILANI, A.; ONOFRE, S. B. Enzimas extracelulares produzidas por fungos endofíticos isolados de *Baccharis dracunculifolia*. **Global Science and Technology**, v. 4, n. 2, p. 47-57, 2011.

DENTI, A. F. et al. Enzimas e suas aplicações com ênfase na indústria de alimentos. **Perspectiva**, Erechim, v. 46, n. 175, p. 51-68, set. 2022.

FLORES, A. C.; KADOWAKI, M. K.; SILVA, J. L. C.; BIANCHINI, I. A.; FELIPE, M. G. A.; SENE, L. Enzymatic potential of endophytic fungi: xylanase production by *Colletotrichum boninense* from sugarcane biomass. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 54, n. 4, p. 2705-2718, 2023.

GOMA, M. A.; KHODAIRA, M. A.; EMAM, A. E. et al. Bioactive compounds and biomedical applications of endophytic fungi: a recent review. **Microbial Cell Factories**, v. 22, 107, 2023.

GONÇALVES, Isabel Cristina Otto. **Diversidade e potencial biotecnológico de fungos endofíticos associados a plantas medicinais do cerrado**. 2013. Monografia (Graduação em Microbiologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

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

HARDOIM, P. R.; VAN OVERBEEK, L. S.; BERG, G.; PIRTILÄ, A. M.; COMPANT, S.; CAMPISANO, A.; DÖRING, M.; SESSITSCH, A. The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, v. 79, n. 3, p. 293-320, set. 2015.

HU, Y. et al. Endophytic fungi: Tracing the evolutionary roots and exploring the diversity of plant-fungal symbioses. **Current Research in Environmental & Applied Mycology**, v. 14, n. 1, p. 1-48, 2024.

JIA, M. et al. A friendly relationship between endophytic fungi and medicinal plants: a systematic review. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, artigo 906, 2016.

KHAN, A. L. et al. Biosynthetic potential of phylogenetically unique endophytic actinomycetes from tropical plants. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 76, n. 13, p. 4377-4386, 2010.

KRISHNAMURTHY, Y. L.; NAIK, S. B.; JAYARAM, S. Fungal communities in herbaceous medicinal plants from the Malnad region, Southern India. **Microbes and Environments**, Tokyo, v. 23, n. 1, p. 24-28, 2008.

LIAO, C. et al. Challenges and update on fungal endophytes: classification, definition, diversity, ecology, evolution and functions. **Fungal Diversity**, v. 131, p. 301-367, 2025.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

MENDONÇA, G. R. Q.; CORADIN, A. B. S.; ALMEIDA NETO, R. S.; ROMUALDO, M. S.; DINIZ, F. V.; CARVALHO, C. M. Atividade enzimática de fungos endofíticos das plantas medicinais amazonenses *Calycophyllum spruceanum* e *Himatanthus sucuuba*. **Scientia Plena**, v. 19, n. 9, 2023.

MENDOZA, A. Y. G. et al. Potencialidades biotecnológicas dos fungos da Amazônia brasileira: uma revisão sistemática. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 4, p. 2535-2551, 2022.

MOREIRA, P. A. Introdução. In: _____. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)**. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, 2025. p. 1.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

OLIVEIRA, F. Q.; GONÇALVES, L. A. Conhecimento sobre plantas medicinais e fitoterápicos e potencial de toxicidade por usuários de Belo Horizonte, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 123-140, 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Traditional Medicine Strategy 2002–2005**. Geneva: World Health Organization, 2002.

PARDO, S. N. F. et al. Avaliação do potencial biotecnológico de fungos endofíticos. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, p. 120-140, 2022.

PETRINI, O. Fungal endophytes of tree leaves. In: ANDREWS, J. H.; HIRANO, S. S. (ed.). **Microbial ecology of leaves**. New York: Springer-Verlag, 1991. p. 179-197.

PIRES, T. O. et al. O uso de plantas medicinais e fitoterápicos durante a gravidez: uma revisão integrativa. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 194-207, 2020.

RANA, Meenakshi et al. Role of endophytic microbes against plant pathogens: a review. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 19, n. 1, p. 54-62, 2020.

RIVERA-CAZAÑO, C. V.; DIAZ-BLAS, P. A.; QUIÑONES-LAVERIANO, D. M. Anticarcinogenic properties of metabolites extracted from endophytic fungi: a review of the literature. **NRFHH**, v. 5, n. 4, p. 686-704, 2025.

RODRIGUEZ, R. J. et al. Fungal endophytes: diversity and functional roles. **New Phytologist**, Cambridge, v. 182, n. 2, p. 314-330, 2009.

ROSA, Fernanda Costa. **Bioprospecção de metabólitos secundários produzidos por microrganismos endofíticos de plantas medicinais da Amazônia Legal**. 2025. 103 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) – Universidade Ceuma, São Luís, 2025.

SÁ, C. J. C. L.; SANTOS, L. C.; LIMA, R. P. Uso positivo de fungos endofíticos para biocontrole de patógenos na cultura do tomate. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 9, 2024.

SANTOS, L. S.; RHODEN, S. A.; BARROS, I. T.; TONINI, R. C. G.; MARQUES, R. M.; SOUZA, V. H. E.; PAMPHILE, J. A. A interação harmônica entre fungos e plantas: aspectos da relação endófito/hospedeiro. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, v. 17, n. 2, p. 93-98, 2013.

SCHULZ, B.; BOYLE, C. The endophytic continuum. **Mycological Research**, Cambridge, v. 109, n. 6, p. 661-686, 2005.

SILVA, J. P.; MARTINS, S. M. et al. Changes in light radiation and microclimatic conditions alter the pomegranate cuttings photomorphogenesis treated with aqueous extract of *Cyperus rotundus*. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 7, n. 2, p. 091-103, 2022. DOI: 10.24221/jeap.7.2.2022.4169.091-103. Disponível

em: <https://www.ead.codai.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/4169>. Acesso em: 26 maio 2026.

SILVA, S. G. M.; MELO, B. A.; SANTOS, M. T.; RIOS, R. R. S.; SANTOS, C. M. S.; RIBEIRO JÚNIOR, K. A. L.; MARANHÃO, F. C. A.; SANTOS, T. M. C.; FRAGA, A. B. Endophytic fungi: Benefits for plants and biotechnological potential. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, e4511427008, 2022.

SILVA, R. L. O. et al. Fungos endofíticos em *Annona* spp.: isolamento, diversidade e distribuição em tecidos vegetais. **Acta Botanica Brasilica**, 2006. (No prelo)

SOUZA, A. Q. L.; SOUZA, A. D. L.; ASTOLFI FILHO, S. Atividade antimicrobiana de fungos endofíticos isolados de plantas tóxicas da amazônia: *Palicourea longiflora* (aubl.) rich e *Strychnos cogens* bentham. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 2, p. 185-195, 2004.

SOUZA, M. C. **Plantas Medicinais: uma revisão bibliográfica sobre três espécies nativas do Brasil**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

SPECIAN, Vânia et al. Metabólitos secundários de interesse farmacêutico produzidos por fungos endofíticos. **Revista Brasileira de Farmácia**, Rio de Janeiro, v. 95, n. 2, p. 1-8, 2014.

STONE, J. K.; BACON, C. W.; WHITE, J. F. An overview of endophytic microbes: endophytism defined. In: BACON, C. W.; WHITE, J. F. (ed.). **Microbial endophytes**. New York: Marcel Dekker, 2000. p. 3-29.

STROBEL, G. A. Microbial gifts from rain forests. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 24, p. 14-20, 2000.

STROBEL, G. A. Rainforest endophytes and bioactive products. **Critical Reviews in Biotechnology**, Boca Raton, v. 22, n. 4, p. 315-333, 2002.

STROBEL, G.; DAISY, B. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, v. 67, n. 4, p. 491-502, 2003.

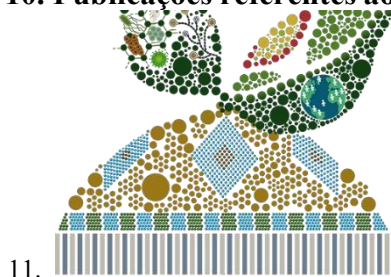
VALÉRIO, H. M.; RODRIGUES, J. K. L. A.; LIMA, T. E. S.; ALVES, J. M. S. Seleção de fungos endofíticos isolados de *Goniorrhachis marginata* Taub.

e *Cavanillesia arborea* para produção de enzimas com aplicação biotecnológica. **Ciência & Biosfera**, 2025.

ZAKARIYAH, R. F. et al. Progress in endophytic fungi secondary metabolites: biosynthetic gene cluster reactivation and advances in metabolomics. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 48, artigo 44, p. 1-18, 2024.

ZHANG, H. W.; SONG, Y. C.; TAN, R. X. Biology and chemistry of endophytes. **Natural Product Reports**, v. 23, p. 753-771, 2006.

10. Publicações referentes ao trabalho



1º CONGRESSO BRASILEIRO DE DIVERSIDADE MICROBIANA

PERSPECTIVAS E DESAFIOS FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

11.

Prévia para simples conferência. Destacamos na prévia abaixo figuras, tableas e equações para auxiliar no processo de revisão.

Avaliação lipolítica de fungos endofíticos isolados de plantas medicinais do Baixo Amazonas

Eduardo Marinho Batalha¹, Gabriel da Silva Sousa¹, Solane Hilloury Oliveira da Silva¹, Nádia Sofia Oliveira Cunha¹, Adriana da Silva Nunes¹, Ademir Castro e Silva¹

¹Universidade do Estado do Amazonas - CESP; E-mail: emb.bio20@uea.edu.br

Resumo - Fungos endofíticos são microrganismos que vivem no interior de tecidos vegetais sem causar danos à planta hospedeira, podendo produzir enzimas de interesse biotecnológico, como lipases. Este estudo avaliou qualitativamente a produção de lipase por fungos endofíticos isolados de dez espécies de plantas medicinais coletadas no herbário do Centro de Estudos Superior de Parintins – UEA. Após assepsia superficial das folhas, os fragmentos foram cultivados em meio BDA, e os fungos isolados foram submetidos a teste específico para produção de lipase em meio sólido contendo azeite de oliva como substrato. A atividade lipolítica foi detectada pela formação de halos translúcidos ao redor das colônias, revelados com solução de azul de metileno. Foram avaliadas 24 cepas fúngicas; todas apresentaram resultado positivo para lipase, com índices enzimáticos (relação halo/colônia) variando entre 1,04 e 1,85. Os resultados indicam que os fungos endofíticos das plantas medicinais amazônicas analisadas são promissores produtores de lipase, com potencial para aplicação em processos biotecnológicos industriais, como na produção de biodiesel, fármacos e detergentes.

Termos para indexação: Fungo endofítico, Atividade enzimática, Biotecnologia.

Introdução / Introduction

Os fungos endofíticos são microrganismos que habitam os tecidos internos de plantas sem causar sintomas de doença ao hospedeiro durante parte de seu ciclo de vida. Essa relação simbiótica ou comensal pode proporcionar benefícios à planta, como tolerância a estresses bióticos e abióticos, além da produção de metabólitos bioativos e enzimas com potencial biotecnológico (Pardo et al., 2022).

No contexto amazônico, caracterizado por sua alta biodiversidade vegetal, há grande potencial para a descoberta de fungos endofíticos com propriedades inéditas. Estudos com plantas medicinais amazônicas, como *Calycophyllum spruceanum* e *Himatanthus siccuba*, já demonstraram que os fungos endofíticos associados a essas plantas podem expressar atividades enzimáticas expressivas, incluindo celulase, protease, lipase e amilase (Mendonça et al., 2023). Além disso, Zhang et al. (2006) e Strobel (2002) relataram que fungos endofíticos alojados em plantas medicinais auxiliam o hospedeiro a se adaptar a condições climáticas extremas, aumentam a absorção de nutrientes do solo e alteram o ciclo de nutrientes (Krishnamurthy et al., 2008).

Diante do exposto, este estudo não apenas promoveu o isolamento de colônias de fungos endofíticos de plantas medicinais, mas também realizou a triagem desses fungos quanto à produção da enzima extracelular lipase, visando identificar cepas com potencial para aplicações biotecnológicas.

Material e métodos / Materials and Methods

1. Coleta de Amostras (Folhas).

Foram coletadas folhas de dez espécies de plantas medicinais (Tabela 1) que estavam depositadas no herbário do Centro de Estudos Superior de Parintins – UEA. As folhas foram escolhidas por não apresentarem sinais aparentes de doenças, a fim de garantir maior assertividade no isolamento dos endofíticos.

ESPECIES DE PLANTAS MEDICINAIS	
NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO
1. VASSORINHA	<i>Supermacoce verticillata</i>
2. HORTELÃ	<i>Menta spicata</i>
3. BOLDO	<i>Peumus boldos</i>
4. PIÃO ROXO	<i>Jatropha gossypifolia</i>
5. ALFAVACA	<i>Ocimum basilicum</i> L.
6. SARA TUDO.	<i>Justice acuminatissima</i>
7. CAPIM SANTO	<i>Cymbopogon citratus</i>
8. MASTRUZ	<i>Dysphania ambrosioides</i>
9. MANJERICÃO	<i>Ocimum basilicum</i>
10. CORAMA	<i>Kalanchoe pinnata</i>

Figura 2. Espécies de plantas medicinais utilizadas

2. Assepsia das amostras. As folhas foram inicialmente lavadas em água corrente. Em seguida, foram submetidas à assepsia superficial com imersão sequencial em: etanol 70% por 1 minuto, hipoclorito de sódio a 1,5% por 3 minutos e sucessivas lavagens em água destilada esterilizada (três vezes, 1 minuto cada). Posteriormente, as amostras foram secas superficialmente em papel estéril e seccionadas em fragmentos de 5 mm × 5 mm. Foram inoculados 5 fragmentos por placa de Petri contendo meio de cultura BDA (Batata-Dextrose-Ágar) suplementado com cloranfenicol (50 mg/L) para inibir o crescimento bacteriano. Não foram utilizados outros meios de cultura. As placas foram incubadas a 28–30 °C, e o crescimento fúngico foi observado diariamente; o

isolamento dos fungos foi realizado entre 5 e 10 dias, quando colônias visíveis surgiram.

3. Incubação, isolamento e armazenamento dos fungos Após o crescimento, cada colônia fúngica morfologicamente distinta foi repicada para uma nova placa com BDA para obtenção de culturas puras. Todas as colônias que cresceram nos fragmentos foram utilizadas, sem aplicação de critério seletivo adicional. A purificação foi realizada por repiques sucessivos até se obter micélio homogêneo. Os fungos isolados foram armazenados pelo método de Castellani (1939), que consiste em manter fragmentos miceliais em água destilada esterilizada a 4–8 °C.



Figura 3. Assepsia e cultivo dos fragmentos das folhas de plantas medicinais.

4. Teste de produção de lipase. Os fungos armazenados foram repicados pontualmente no centro de placas de Petri contendo 20 mL de meio sólido para lipase (pH 6,0), composto por: 10 g/L de azeite de oliva extravirgem, 0,1 g/L de NaCl, 0,2 g/L de $MgSO_4$ e 15 g/L de ágar bacteriológico, previamente autoclavado a 120 °C, 1,5 atm por 20 minutos. As placas foram incubadas a 30 °C até que o crescimento fúngico preenchesse completamente a superfície da placa. O tempo de incubação variou entre 5 e 12 dias, dependendo da velocidade de crescimento de cada isolado. Após o crescimento completo, adicionaram-se 10 mL da solução reveladora (azul de metileno) sobre a superfície do meio. A formação de halos translúcidos ao redor da colônia, indicativa da atividade lipolítica (acidificação do meio pela liberação de ácidos graxos), foi observada após 30 minutos. Foram medidos o diâmetro da colônia (Dc) e o diâmetro do halo enzimático (Dh) com auxílio de um paquímetro, ambos em centímetros. O índice de atividade enzimática foi calculado como $AS = Dh/Dc$.

5. Solução reveladora do halo A solução reveladora consistiu em azul de metileno a 0,1% (p/v) em água destilada. Foram adicionados 10 mL dessa solução sobre cada placa já colonizada. Após 30 minutos, o excesso de corante foi descartado, e os halos translúcidos foram medidos conforme descrito no item anterior.



Figura 4. Amostra de fungo na placa com solução reveladora para a análise do halo da produção de lipase.

Resultados e discussão/ Results Resultados e discussões.

Todas as dez espécies vegetais analisadas apresentaram crescimento de fungos endofíticos nos fragmentos foliares, totalizando 24 cepas isoladas. Esse resultado confirma a eficácia dos procedimentos de assepsia e evidencia a presença desses microrganismos nos tecidos vegetais sem causar danos aparentes. De acordo com Amaral (2020), a diversidade metabólica observada em fungos endofíticos está diretamente relacionada à variedade de substratos presentes nos tecidos vegetais, o que favorece a produção de diferentes enzimas extracelulares, incluindo lipases. O número de cepas isoladas por planta foi variável: *Dysphania ambrosioides* forneceu 5 cepas; *Supermacoce verticillata*, 4; *Jatropha gossypifolia*, 3; *Cymbopogon citratus*, 3; *Menta spicata*, 2; *Justicia acuminatissima*, 2; *Peumus boldos*, 2; *Ocimum basilicum* (alfavaca), 1; *Ocimum basilicum* (manjeriço), 1; *Kalanchoe pinnata*, 1.

Todas as 24 cepas apresentaram resultado positivo para produção de lipase, demonstrado pela formação de halos translúcidos ao redor das colônias após a adição do azul de metileno (Tabela 2). Os índices enzimáticos ($AS = Dh/Dc$) variaram de 1,04 a 1,85. Esses resultados indicam que os fungos endofíticos associados a plantas medicinais amazônicas são fontes promissoras de lipase, corroborando estudos anteriores que apontam a produção de metabólitos secundários e enzimas de interesse pelas indústrias farmacêutica e de biotecnologia (Strobel, 2002; Krishnamurthy et al., 2008; Khan et al., 2010).

Planta de Origem	CÓDIGO FUNGO	LIPASE	Atividade Enzimática (AS=Dh/Dc)
<i>Menta spicata</i>	HOEMF1	+	1,16
<i>Menta spicata</i>	HOEMF2	+	1,57
<i>Ocimum basilicum</i>	MAEMF1	+	1,10
<i>Justice acuminatissima</i>	STEMF1	+	1,09
<i>Justice acuminatissima</i>	STEMF2	+	1,18
<i>Dysphania ambrosioide</i>	MAZEMF1	+	1,30
<i>Dysphania ambrosioide</i>	MAZEMF2	+	1,26
<i>Dysphania ambrosioide</i>	MAZEMF3	+	1,27
<i>Dysphania ambrosioide</i>	MAZEMF4	+	1,31
<i>Dysphania ambrosioide</i>	MAZEMF5	+	1,69
<i>Supermacoce verticillata</i>	VAEMF1	+	1,52
<i>Supermacoce verticillata</i>	VAEMF2	+	1,73
<i>Supermacoce verticillata</i>	VAEMF3	+	1,11
<i>Supermacoce verticillata</i>	VAEMF4	+	1,13
<i>Peumus boldos</i>	BOEMF1	+	1,69
<i>Peumus boldos</i>	BOEMF2	+	1,19
<i>Ocimum basilicum L.</i>	FAEMF1	+	1,10
<i>Kalanchoe pinnata</i>	COEMF1	+	1,04
<i>Jatropha gossypifolia</i>	PREMF1	+	1,20
<i>Jatropha gossypifolia</i>	PREMF2	+	1,54
<i>Jatropha gossypifolia</i>	PREMF3	+	1,85
<i>Cymbopogon citratus</i>	CSEMF1	+	1,33
<i>Cymbopogon citratus</i>	CSEMF2	+	1,09
<i>Cymbopogon citratus</i>	CSEMF3	+	1,05
Total: 24 cepas			

Figura 4. Tabela de reação de produção de lipase.

A cepa **PREMF3** (isolada de *Jatropha gossypifolia*) apresentou o maior índice enzimático (AS = 1,85), seguida pela cepa **VAEMF2** (de *Supermacoce verticillata*), com AS = 1,73. A diferença entre a cepa PREMF3 e a cepa **COEMF1** (de *Kalanchoe pinnata*), que exibiu o menor índice (AS = 1,04), é estatisticamente significativa ($p < 0,0001$), indicando que a produção de lipase pela melhor cepa é superior de forma consistente, mesmo considerando a variabilidade experimental. A detecção de atividade lipolítica em todas as cepas avaliadas sugere que os fungos endofíticos associados a plantas medicinais amazônicas são fontes promissoras para aplicações biotecnológicas industriais,

como na síntese de biodiesel, formulação de detergentes e processamento de alimentos.

Conclusões / Conclusion

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que todas as 24 cepas de fungos endofíticos isoladas das plantas medicinais amazônicas apresentaram capacidade de produzir lipase, evidenciada pela formação de halos translúcidos nos meios de cultura específicos. A alta frequência de atividade lipolítica (100% dos isolados) sugere que essas plantas hospedeiras abrigam uma comunidade fúngica metabolicamente adaptada à degradação de lipídios, possivelmente relacionada a mecanismos de colonização ou defesa. Os índices enzimáticos variaram entre 1,04 e 1,85, com destaque para as cepas PREMF3 (1,85), VAEMF2 (1,73), BOEMF1 (1,69) e MAZEMF5 (1,69), que apresentaram os maiores potenciais para produção dessa enzima. Dessa forma, os fungos endofíticos isolados neste trabalho constituem fontes promissoras e de baixo custo para a obtenção de lipases com aplicabilidade biotecnológica, especialmente nas indústrias alimentícia, farmacêutica, de biocombustíveis e de detergentes. Estudos futuros devem contemplar a identificação taxonômica desses isolados, a otimização das condições de cultivo e a caracterização bioquímica das lipases produzidas.

Agradecimentos

/

Acknowledgement

Agradeço à **Universidade do Estado do Amazonas (UEA)** pelo suporte institucional e pela infraestrutura concedida para o desenvolvimento desta pesquisa. Ao **Laboratório de Estudo Fúngico**, expresse minha gratidão pelo espaço, pelos materiais e pelo acompanhamento técnico essencial para os ensaios microbiológicos. Ao CDMICRO pelo espaço cedido para apresentação do trabalho.

www.cbdmicro26.com.br

22 a 26 de junho de 2026 | Manaus - AM



1º CONGRESSO BRASILEIRO DE DIVERSIDADE MICROBIANA

PERSPECTIVAS E DESAFIOS FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Carta de Aceite



Assinado eletronicamente

A comissão científica do Congresso Brasileiro de Diversidade Microbiana informa que o trabalho intitulado **Avaliação lipolítica de fungos endofíticos isolados de plantas medicinais do Baixo Amazonas**, de autoria de *Eduardo Marinho Batalha; Gabriel da Silva Sousa; Solane Hilloury Oliveira da Silva; Nádia Sofia Oliveira Cunha; Adriana da Silva Nunes; Ademir Castro e Silva*; foi **APROVADO** para apresentação no referido evento.

A publicação do trabalho está condicionada ao pagamento de inscrição do autor responsável pela submissão e apresentação. A forma de apresentação será informada posteriormente no site do evento, bem como os dias e horários das apresentações.

Agradecemos o seu interesse no evento!



TÍTULO: Integração Teoria-Prática em Biossegurança e Procedimentos Laboratoriais: Relato de Minicurso sobre Cultivo de Fungos Endofíticos no Laboratório de Estudos Fúngicos (CESP-UEA).

Gabriel da Silva Sousa 1^a; Eduardo Marinho Batalha 2^b; Solane Hilloury Oliveira da Silva 3^c; Nádia Sofia Oliveira Cunha 4^d; Adriana da Silva Nunes 5^e; Ademir Castro e Silva 6^f

^a Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, gdss.bio20@uea.edu.br.

^b Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, ebm.bio20@uea.edu.br.

^c Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, shods.bio21@uea.edu.br.

^d Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, nsoc.bio24@uea.edu.br.

^e Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Docente, biotecs7@gmail.com.

^f Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Docente, adcastro-mao@hotmail.com.

Introdução, Contexto e Objetivo: A formação em microbiologia exige o domínio simultâneo dos fundamentos de biossegurança e da operação de equipamentos essenciais. Nesse sentido, o Laboratório de Estudos Fúngicos (LABEF) promoveu um minicurso com o objetivo de capacitar participantes na rotina de isolamento de fungos endofíticos, articulando os níveis de biossegurança NB-1 e NB-2 com a prática de esterilização e assepsia. O curso visou demonstrar a importância do controle de riscos biológicos e físicos (como calor e pressão) para a obtenção de culturas axênicas, utilizando como modelo o método de fragmentação foliar.

Metodologia: O minicurso foi estruturado em duas etapas. A primeira, teórica e conduzida pelo professor coordenador, abordou a classificação dos laboratórios segundo os Níveis de Biossegurança (NB-1 a NB-4), o uso correto de EPIs (luvas nitrílicas e de látex), a simbologia de risco GHS e o princípio de funcionamento de equipamentos como o bico de Bunsen e as pipetas automáticas (deslocamento de ar e positivo). A segunda etapa, prática e orientada por pesquisadores, focou no ciclo de esterilização da autoclave (121°C/1 atm) para meios de cultura e vidrarias, seguido do procedimento de assepsia: fragmentação de folhas, desinfecção superficial com hipoclorito de sódio e álcool 70% (devido à sua eficácia na desnaturação proteica e rompimento de membranas lipídicas) e subsequente inoculação em meio de cultura.

Resultados: A aula teórica elucidou a diferença crítica entre a chama azul do bico de Bunsen (combustão completa, ideal para esterilização de alças) e a chama amarela de segurança. Foi demonstrado que o álcool 70% é mais eficaz que o 92% devido à presença de água, que facilita a desnaturação proteica e a lise celular. Na prática, os participantes aplicaram os protocolos de segurança da NR-32 ao operar a autoclave, compreendendo a importância da exaustão do ar e do resfriamento para evitar acidentes. A assepsia com hipoclorito garantiu a eliminação da microbiota epifítica, viabilizando o isolamento dos fungos endofíticos do tecido vegetal.

Conclusão: A metodologia dual do minicurso mostrou-se eficaz para consolidar o conhecimento sobre biossegurança e procedimentos operacionais padrão. A experiência destacou a interdependência entre a teoria da esterilização (calor úmido vs. calor seco) e a prática laboratorial segura, comprovando que o uso correto da autoclave e a assepsia rigorosa são pré-requisitos indissociáveis para o sucesso do cultivo e pesquisa de microrganismos endofíticos em ambientes de NB-2.

Palavras-chave: Biossegurança Laboratorial; Autoclave; Fungos Endofíticos; Assepsia; Esterilização.



TÍTULO: Laboratório de Estudos Fúngicos (LABEF) como Ferramenta de Popularização da Ciência e Tecnologia em Parintins-AM: Relato de Visitas Técnicas e Interação entre Ensino Básico e Superior

Eduardo Marinho Batalha 1; Gabriel da Silva Sousa 2^b; Solane Hilloury Oliveira da Silva 3^c; Nádia Sofia Oliveira Cunha 4^d; Adriana da Silva Nunes 5^e; Ademir Castro e Silva 6^f

^a Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, ebm.bio20@uea.edu.br.

^b Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, gdss.bio20@uea.edu.br.

^c Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, shods.bio21@uea.edu.br.

^d Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, nsoc.bio24@uea.edu.br.

^e Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Docente, biotecs7@gmail.com.

^f Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Docente, adcastro-mao@hotmail.com.

Introdução, Contexto e Objetivo: O Laboratório de Estudos Fúngicos (LABEF) do CESP-UEA tem atuado como núcleo difusor de ciência e tecnologia no município de Parintins-AM, promovendo a interação multidisciplinar entre o ensino básico e o superior. Durante a Semana de Biologia do CESP-UEA, o LABEF recebeu instituições de ensino e órgãos municipais para visitas técnicas e atividades práticas. O objetivo foi popularizar o conhecimento sobre fungos endofíticos e carpóforos, bem como demonstrar rotinas laboratoriais de biossegurança e cultivo, aproximando estudantes e profissionais da realidade científica.

Metodologia: As visitas foram divididas conforme o período de realização e o público-alvo: Período 1 – Semana de Biologia do CESP-UEA: Foram recebidas as seguintes instituições com o intuito de conhecer as coleções científicas de fungos carpóforos e endofíticos, bem como as pesquisas realizadas pela equipe: SESI Parintins, Escola Municipal Cívico Militar "Tsukasa Uyetsuka", Escola Estadual Dom Gino Malvestio e a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (SEDEMA). As atividades consistiram em visita guiada ao laboratório, apresentação das coleções e explanação sobre os projetos de pesquisa. Período 2 – Visitas técnicas complementares: O laboratório recebeu a Escola Municipal de Tempo Integral Dídimo Rocy e os cursos de Estética e Cosmética (SENAC) e Farmácia (UNIGRANDE). Essas visitas seguiram um roteiro dividido em duas etapas: (1) aula teórica de microbiologia voltada para as respectivas áreas de ensino, abordando conceitos de biossegurança e aplicações dos fungos; (2) minicurso prático sobre assepsia e técnicas de cultivo de microrganismos, incluindo manuseio de materiais, esterilização e inoculação.

Resultados: Os participantes puderam conhecer as coleções científicas de fungos carpóforos e endofíticos mantidas pelo LABEF, bem como as pesquisas em andamento. As aulas teóricas proporcionaram entendimento sobre níveis de biossegurança e aplicações dos fungos nas respectivas áreas profissionais (estética, farmácia, meio ambiente). Na etapa prática, os visitantes executaram procedimentos de assepsia e cultivo sob supervisão, relacionando a teoria à rotina laboratorial. Houve interação produtiva entre alunos do ensino básico, graduandos, professores e técnicos, fortalecendo a percepção da ciência como atividade acessível e colaborativa.

Conclusão: A atuação do LABEF como ferramenta de popularização científica mostrou-se eficaz ao integrar diferentes níveis de ensino e setores da sociedade. O modelo de visita técnica com abordagem dual (teórico-prática) favoreceu a aprendizagem significativa e despertou interesse pela pesquisa em microbiologia. A experiência reforça o papel dos laboratórios de ensino superior na promoção da alfabetização científica e na redução da distância entre a universidade e a comunidade parintinense.

Palavras-chave: Popularização da Ciência; Fungos Endofíticos; Visitas Técnicas; Ensino Básico e Superior.

