

# Prospecção Tecnológica do Uso Industrial de Amilases Produzidas por Fungos do Gênero *Aspergillus* sp.

*Technological Prospecction of the Industrial Use of Amylases Produced by Fungi of the Genre *Aspergillus* sp.*

Ana Clara Santos Silva<sup>1</sup>, Fernanda Jeniffer Lindoso Lima<sup>1</sup>, Maria do Desterro Soares Brandão Nascimento<sup>1</sup>,  
Mayara Cristina Pinto da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil

## Resumo

Os fungos apresentam ampla distribuição ambiental, sendo considerados organismos ubíquos, com destaque para os classificados como anemófilos. A composição da microbiota fúngica varia conforme a atmosfera regional, influenciando suas múltiplas aplicações industriais. A prospecção tecnológica orientada por patentes surge como uma ferramenta estratégica para a identificação de tecnologias inovadoras e decisões informadas. Este estudo teve como objetivo explorar o emprego do gênero *Aspergillus* sp. e suas enzimas, especialmente amilases, reconhecidas por sua relevância científica e industrial. Para tanto, foram consultadas bases de patentes e periódicos entre 2010 e 2023, aplicando descritores específicos, e a Classificação Internacional de Patentes (CIP). Os resultados indicam um avanço biotecnológico expressivo na aplicação de metabólitos fúngicos em variados setores. Devido à sua adaptabilidade a diferentes condições, as amilases de *Aspergillus* sp. despontam como alternativas sustentáveis e inovadoras. Essa versatilidade promove pesquisas e amplia as aplicações industriais, estabelecendo essas enzimas como elementos fundamentais para atender às demandas setoriais, contribuindo para o progresso da biotecnologia e a promoção da sustentabilidade.

Palavras-chave: *Aspergillus*; Amilase; Indústria.

Áreas Tecnológicas: Prospecção Tecnológica. Fungos Filamentosos.

## Abstract

Fungi exhibit a broad environmental distribution, being considered ubiquitous organisms, with particular emphasis on those classified as anemophilic. The composition of fungal microbiota varies according to regional atmospheric conditions, influencing its diverse industrial applications. Patent-oriented technological prospecting emerges as a strategic tool for identifying innovative technologies and supporting informed decision-making. This study aimed to explore the use of the genus *Aspergillus* sp. and its enzymes, especially amylases, recognized for their scientific and industrial relevance. To this end, patent databases and scientific journals were consulted from 2010 to 2023, applying specific descriptors and the International Patent Classification. The results indicate significant biotechnological advancements in the application of fungal metabolites across various sectors. Due to their adaptability to different conditions, *Aspergillus* sp. amylases stand out as sustainable and innovative alternatives. This versatility drives research and broadens industrial applications, establishing these enzymes as fundamental elements to meet sectoral demands, thus contributing to the progress of biotechnology and the promotion of sustainability.

Keywords: *Aspergillus*; Amylase; Industry.



## 1 Introdução

Conforme estabelece a classificação dos seres vivos por Whittaker (1969), o Reino Fungi é composto de organismos que detêm diferentes composições e, conseqüentemente, apresentam metabolismos distintos (Zagatto; Weiser, 2022). O Brasil, detentor de 15 a 20% da diversidade biológica mundial, abriga cerca de 99.000 espécies descritas de fungos, representando aproximadamente 14% da diversidade fúngica global (Farjalla *et al.*, 2021; Mongabay, 2023). Segundo Teixeira, Matsuura e Soares (1999), os fungos são organismos eucariontes heterotróficos que se destacam pela capacidade de absorver nutrientes e utilizar glicogênio como reserva energética.

Em decorrência da capacidade de se apresentar em diversos ambientes, os fungos são considerados seres ubíquos, posto que habitam diferentes ecossistemas (Vilela *et al.*, 2023). Apesar de normalmente associados a processos deteriorativos, os fungos também apresentam importância para a vida humana (Guimarães *et al.*, 2021, p. 30). O organismo dos seres vivos é composto de colônias de microrganismos que juntas formam a microbiota normal, sendo formada por bactérias e fungos de diversos gêneros e espécies. Os fungos mais comuns que compõem o microbioma intestinal são do gênero *Aspergillus sp.* e *Candida spp.* e, normalmente, estão associados a patologias. Desse modo, percebe-se que, apesar da capacidade prejudicial à saúde humana, esses fungos também colaboram para a homeostasia do corpo (Caetano *et al.*, 2023).

A diversidade climática do Brasil influencia as características das espécies de fungos, facilitando sua dispersão, especialmente dos filamentosos, devido à presença de esporos. Esses fungos, como os do gênero *Aspergillus*, produzem metabólitos secundários com diversas propriedades biológicas, como atividades antimicrobiana e antioxidante que são essenciais para as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia, incluindo enzimas hidrolíticas (Terkar; Borde, 2021; Cairns *et al.*, 2021; Araújo *et al.*, 2023).

As amilases, enzimas hidrolíticas importantes para a degradação do amido, têm diversas aplicações industriais, destacando-se nas indústrias alimentícia, têxtil, de papel, farmacêutica e médica (De Souza Oliveira, 2019; Pellegrini *et al.*, 2020; Gendi *et al.*, 2021). O avanço no conhecimento enzimático tem impulsionado o uso industrial de fungos, proporcionando melhores condições aos produtos finais (Heimel, 2014).

Fungos do gênero *Aspergillus*, especialmente *Aspergillus niger*, são reconhecidos por sua produção de enzimas alimentares e pela segurança alimentar proporcionada (Li *et al.*, 2020). As amilases são consideradas as enzimas industriais mais importantes

por causa das suas vantagens e da estabilidade frente aos processos aos quais são submetidas (Yahya *et al.*, 2021).

Uma das metodologias preferidas para a produção de amilases é o processo de Fermentação em Estado Sólido, devido ao baixo custo e à alta produtividade. Essa técnica apresenta bom desempenho em diversas indústrias, superando barreiras estruturais e melhorando o desempenho produtivo (Karam *et al.*, 2017). A tecnologia é essencial para o desenvolvimento da pesquisa científica e proteção de criações intelectuais, sendo a prospecção tecnológica uma ferramenta crucial para identificar tecnologias relevantes, parceiros e concorrentes (Brasil, 1996; Amparo; Ribeiro; Guarieiro, 2012; Chamas; Pimenta; Curi, 2021).

Este artigo tem como objetivo apresentar inovações biotecnológicas relacionadas ao uso de amilases no âmbito industrial, com base em pesquisas e patentes relevantes ao tema.

## 2 Metodologia

Para a realização desta prospecção tecnológica, foi necessário realizar uma busca por dados em bases de patentes nacionais e internacionais, incluindo o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), o European Patent Office (Espacenet) e a World Intellectual Property Organization (WIPO). Nessas bases, foram aplicados filtros específicos, como ano de depósito e país, para direcionar os resultados a um padrão de análise preestabelecido, permitindo uma organização objetiva e estruturada dos dados.

O período de busca foi delimitado para patentes depositadas e concedidas entre 2010 e 2023. Com o intuito de aumentar a precisão, foram selecionados os países com maior volume de patentes relevantes ao tema, quais sejam Brasil, Estados Unidos e China. As pesquisas foram realizadas nos campos “título” e “resumo” de cada base de dados, utilizando palavras-chave combinadas com operadores booleanos. Os descritores escolhidos para a prospecção foram: “*Aspergillus*” and enzymes, “*Aspergillus*” and amylase, e “*Aspergillus*” and industry, além de classes e subclasses da Classificação Internacional de Patentes (CIP) pertinentes ao tema.

Além dos dados de patentes, artigos e periódicos foram analisados em bases de dados entre janeiro e julho de 2024, como Google Acadêmico, Google Patents, SciElo e PubMed, para fundamentar e fortalecer as ideias desenvolvidas ao longo da prospecção.

Para a organização das tabelas e gráficos, foram utilizadas ferramentas como Planilha Docs e Google Docs, cujos resultados são apresentados na seção de Resultados e Discussão. Desse modo, os dados foram organizados para comparação e análise nos seguintes pontos: 1) Busca por

patentes nas bases de dados com as palavras-chave; 2) Patentes identificadas por país com o maior número de resultados; 3) Patentes depositadas por ano e análises cumulativas; e 4) Correlações com os códigos internacionais de patentes.

### 3 Resultados e Discussão

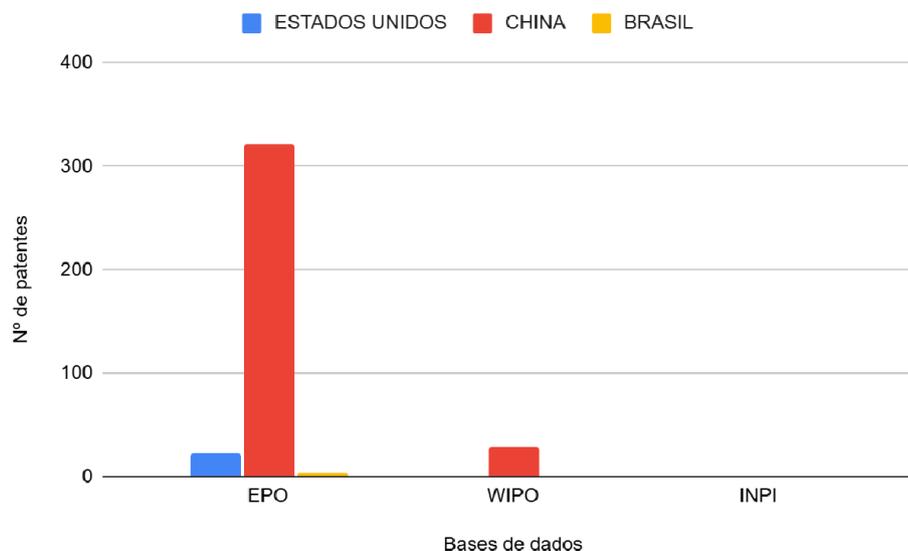
A elaboração de uma prospecção tecnológica tende a buscar, mediante um mapeamento sistemático, o desenvolvimento de tecnologias que apresentem possibilidades revolucionárias para a sociedade, evidenciando suas particularidades relevantes às instituições públicas em geral (Barros; Porto Júnior, 2021). Nas buscas realizadas, a palavra-chave “*Aspergillus and enzymes*” apresentou um total de 362 registros, divididos entre as seguintes bases: Espacenet, com 330 resultados; WIPO, com 32 resultados; e INPI, com nenhuma correspondência. Tais informações estão indicadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Busca por patentes nas bases de dados EPO, INPI e WIPO por palavras-chave

BASES DE DADOS				
Palavras-chave	EPO	INPI	WIPO	Total
“ <i>Aspergillus and enzymes</i> ”	330	0	32	362
“ <i>Aspergillus and amylase</i> ”	279	2	27	308
“ <i>Aspergillus and industry</i> ”	214	0	3	217

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2024)

**Gráfico 1** – Resultados de patentes da palavra-chave “*Aspergillus and enzymes*” por país



Fonte: Elaborado pelas autoras deste artigo (2024)

Essa disparidade pode ser atribuída a diversos fatores. Primeiramente, a base de dados Espacenet da EPO abrange um espectro mais amplo de patentes, incluindo documentos de patentes europeias e de outros países. Isso reflete um maior investimento e desenvolvimento tecnológico na Europa e em outras regiões cobertas pela EPO (Jiang; Shi; Jefferson, 2020). Em contraste, a WIPO, embora tenha alcance internacional, possui uma cobertura mais limitada em comparação à base Espacenet (Huang *et al.*, 2021).

A ausência de correspondências na base de dados do INPI pode ser explicada pela menor quantidade de depósitos de patentes relacionados ao gênero *Aspergillus* e suas enzimas no Brasil. Esse fato evidencia a necessidade de maior desenvolvimento e investimento em pesquisa e inovação na área de biotecnologia fúngica no país.

As enzimas extracelulares produzidas pelos fungos do gênero *Aspergillus* detêm um enorme potencial e impacto tecnológico devido à alta procura e à utilização desses metabólitos. Normalmente, esses produtos metabólicos estão associados aos procedimentos alimentares, mas seu uso em outras modalidades não é excluído (Gholami-Shabani *et al.*, 2021).

Para a análise da quantidade de depósitos de patentes por país, foram selecionados Estados Unidos, China e Brasil. Observou-se que a China lidera no desenvolvimento de pesquisas e patentes sobre o assunto. A palavra-chave que obteve mais resultados permitiu a elaboração de um gráfico correlacionando os países elencados e seus respectivos valores.

De acordo com o gráfico, a China teve o maior número de correspondências, com 322 registros na base da EPO e 29 na WIPO. Os Estados Unidos apresentaram 22 patentes pela EPO e nenhuma pela WIPO. Em contrapartida, o Brasil, apesar de suas diversas pesquisas com microrganismos e seus metabólitos, não apresentou valores tão altos quanto os dois primeiros países, sendo uma área a ser melhorada em termos de desenvolvimento de patentes.

Essa diferença pode ser explicada pelo aumento do depósito de patentes chinesas devido ao desenvolvimento tecnológico, quando comparado a outros países como os Estados Unidos, algumas nações europeias, Japão e Coreia do Sul. O crescimento tecnológico, juntamente com fatores populacionais, geográficos e temporais, colabora para a vantagem da China em relação ao patenteamento (Jiang; Shi; Jefferson, 2020).

Por representar uma das maiores potências mundiais, a China possui níveis elevados de pesquisa e desenvolvimento. O país atrai indústrias e incentiva modelos revolucionários nas áreas científica e tecnológica, apesar de certas lacunas quanto à qualidade patentária (Huang *et al.*, 2021). Nesse sentido, é possível observar quantitativamente a majoritária reputação chinesa nas bases de patentes consultadas.

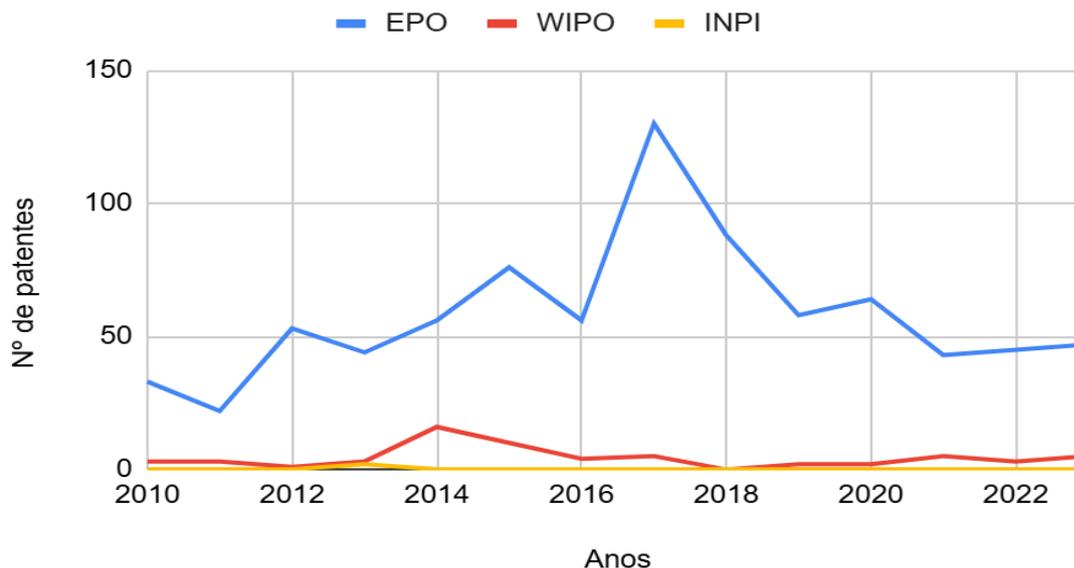
Nos Estados Unidos, observa-se um aumento considerável de processos colaborativos para a disseminação de conhecimento, resultando no crescente número de invenções e de patentes ao longo dos anos. Grande parte

dessa colaboração está associada aos incentivos fiscais e tecnológicos, valorizando a cadeia produtiva local e elevando o potencial econômico do país. Um dos polos regionais mais importantes é o Vale do Silício, considerado um dos maiores centros de inovação do mundo, combinando alta tecnologia com cuidado ambiental (Van der Wouden, 2019; Jaeger, 2023).

Nas bases de dados, não foram somente consideradas as palavras-chave e a seleção por países, mas também foi feita uma observação temporal. Para tanto, considerou-se um período igual a 13 anos (2010-2023) com o objetivo de atingir uma quantidade considerável de informações preferencialmente atuais e universais. No geral, fez-se uma coleta total das palavras-chave explicitadas na presente prospecção em cada uma das bases de dados consultadas mediante os anos selecionados. Tais dados são apresentados no Gráfico 2.

Com base nos dados do Gráfico 2, observa-se a prevalência do depósito de patentes na base de dados da EPO-Espacenet. Em segundo plano, encontra-se a base de dados da WIPO, apesar da diferença abrupta, observa-se uma constância entre os anos de desenvolvimento patentário. Com relação ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), infelizmente, a quantidade de patentes não apresenta um nível considerável de comparação às outras duas bases, evidenciando, essencialmente, a necessidade no desenvolvimento de pesquisas e depósito de patentes no Brasil.

Gráfico 2 – Patentes depositadas nas bases da EPO, INPI E WIPO por ano (2010-2023)

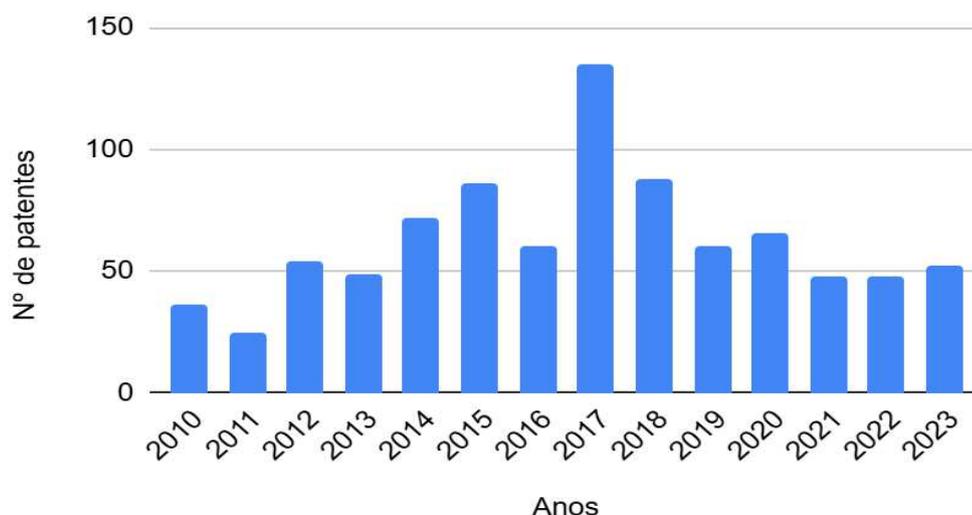


Fonte: Elaborado pelas autoras deste artigo (2024)

A prevalência do depósito de patentes na base de dados da EPO-Espacenet destaca-se significativamente em comparação com outras bases de dados internacionais. Essa superioridade pode ser atribuída à abrangência e ao detalhamento técnico proporcionado pela Espacenet, que abrange um vasto espectro de patentes europeias e de outros países. Em segundo plano, a base de dados da WIPO, apesar da diferença abrupta em termos de quantidade, mantém uma constância ao longo dos anos de desenvolvimento patentário, refletindo um padrão mais estável de depósito de patentes. No entanto, o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) do Brasil ainda apresenta uma quantidade de patentes consideravelmente menor em comparação às duas outras bases de dados, evidenciando a necessidade urgente de impulsionar o desenvolvimento de pesquisas e o depósito de patentes no país. Esse cenário sugere que o Brasil deve investir mais intensamente em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para aumentar sua competitividade global no campo da biotecnologia fúngica.

De modo cumulativo, observa-se um crescimento quase exponencial no depósito de patentes ao longo dos anos, considerando o somatório das três bases de dados (Gráfico 3). Entre 2010 e 2017, houve um crescimento significativo no número de patentes registradas nas bases da EPO, WIPO e INPI. Contudo, de 2018 a 2023, particularmente em pesquisas relacionadas ao uso de *Aspergillus* e suas enzimas na indústria, o padrão de crescimento não se manteve uniforme, com o ano de 2018 destacando-se pelo maior desenvolvimento de patentes.

Gráfico 3 – Análise Anual de Patentes nas bases EPO, INPI e WIPO (2010-2023)



Fonte: Elaborado pelas autoras deste artigo (2024)

Esse comportamento variável pode ser explicado por flutuações nos investimentos em P&D, mudanças nas políticas de incentivo à inovação e variações econômicas globais. Para fortalecer a posição do Brasil no cenário mundial de patentes, é crucial que sejam adotadas políticas eficazes de incentivo à inovação e ao depósito de patentes, especialmente em áreas emergentes como a biotecnologia fúngica (Corbu *et al.*, 2023; Farjalla *et al.*, 2021).

Em decorrência dos avanços tecnológicos capazes de auxiliar na coleta de dados e na propagação de informações, é visível o aumento da quantidade de pesquisas, artigos e patentes no decorrer dos anos. Com o advento de novas ferramentas de pesquisas, como *softwares* para análise de dados e maior acesso às plataformas de publicação, os sistemas para a elaboração e compartilhamento de pesquisas científicas se tornaram mais dinâmicos (Cioffi *et al.*, 2020).

Mediante a explanação dos Gráficos 2 e 3, percebe-se que, a partir do ano de 2017, são indicados mais números de patentes referentes às palavras-chave selecionadas. Tal parâmetro é explicado devido ao avanço para as oportunidades tecnológicas e à associação com as diferentes conjunturas temporais. Com a ampliação do alcance de pesquisas, o avanço tecnológico substancial possibilita o acesso à informação, a democratização para a colaboração científica e, conseqüentemente, enriquece a produção científica global (Corrocher; Malerba; Morrison, 2021).

Por envolver uma prospecção tecnológica, o uso da Classificação Internacional de Patentes (CIP) é essencial para que haja um monitoramento técnico e tecnológico das pesquisas disponíveis nas bases de dados, além de auxiliar nas buscas mediante suas divisões e classificações de temas e subtemas. Para isso, a CIP é organizada por uma combinação de letras e números que são gerados por intermédio de seção, classe, subclasse, grupo e subgrupo, seguindo uma configuração de especificidade crescente (Brasil, 2021).

Nesse sentido, foi realizada uma busca para os códigos que obtiveram relação ao tema proposto, relacionando o uso do fungo do gênero *Aspergillus* e suas enzimas ao contexto da indústria. Sendo assim, para se obter um resultado concreto, buscou-se o código C12, que aborda questões relacionadas à bioquímica, ao uso de enzimas e à engenharia química, e as subclasses referentes ao uso de enzimas, como C12N, C12P, C12Q, C12N 9/00, C12N 14/09 e C12N 9/62. Consultando a World Intellectual Property Organization (WIPO), identificou-se os respectivos significados de cada código:

- 1) C12N – uso e composição de microrganismos ou enzimas; propagação, preservação ou manutenção de microrganismos; atividades voltadas para a mutação ou engenharia genética; meios de cultura utilizados.
- 2) C12N 9/00 – uso de enzimas, proenzimas e suas composições; preparações para ativação, inibição, separação ou purificação de enzimas.
- 3) C12N 14/09 – uso de hidrolases.
- 4) C12N 9/62 – enzimas derivadas de *Aspergillus*.
- 5) C12P – processos de fermentação ou uso de enzimas para síntese de um composto ou composição química

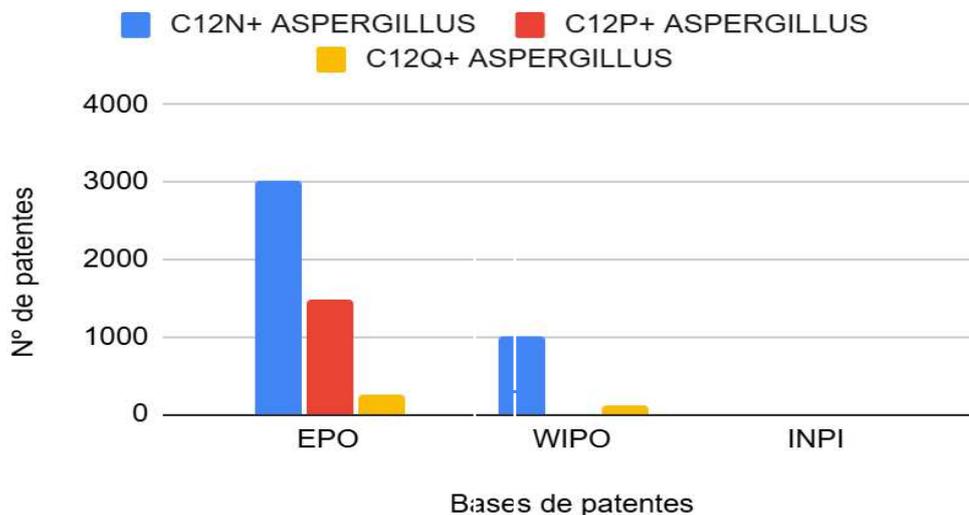
desejada ou para separar isômeros ópticos de uma mistura racêmica.

- 6) C12Q – processos de medição ou teste envolvendo enzimas, ácidos nucleicos ou microrganismos; composições ou papéis de teste para as enzimas; processos de preparação de tais composições; controle responsivo à condição em processos microbiológicos ou enzimológicos.

O uso de enzimas, microrganismos e seus derivados para diversas atividades tem sido um campo muito explorado, seja para as áreas industriais ou científicas (Vachher *et al.*, 2021). Nesse sentido, buscou-se analisar, conjuntamente, as associações das patentes com o gênero fúngico em questão, com o intuito de investigar a utilização do fungo e seus derivados no setor industrial. Apesar de limitar mais as informações relacionadas ao assunto, a classe C12N apresentou elevadas correspondências, principalmente na base de dados da EPO. Tais resultados podem ser observados no Gráfico 4.

Em decorrência do desenvolvimento biotecnológico, o uso de enzimas derivadas de fungos e bactérias tem sido largamente valorizado no mercado industrial, tendo múltiplas aplicações como: produção de bebidas, alimentos, cosméticos, medicamentos e tecidos. Como auxílio tecnológico, a abordagem *in silico* dessas enzimas microbiológicas tem sido um parâmetro essencial para o aumento da eficiência e da produtividade industrial, visto que a predição feita por intermédio computacional viabiliza as possibilidades de aplicação sem muito desperdício e descaso com o meio ambiente. Assim, a biotecnologia se mostra uma importante aliada nas metodologias referentes ao uso enzimático em processos industriais (Fasim; Mais; Mais, 2021).

Gráfico 4 – Códigos internacionais de patentes referentes à enzimologia



Fonte: Elaborado pelas autoras deste artigo (2024)

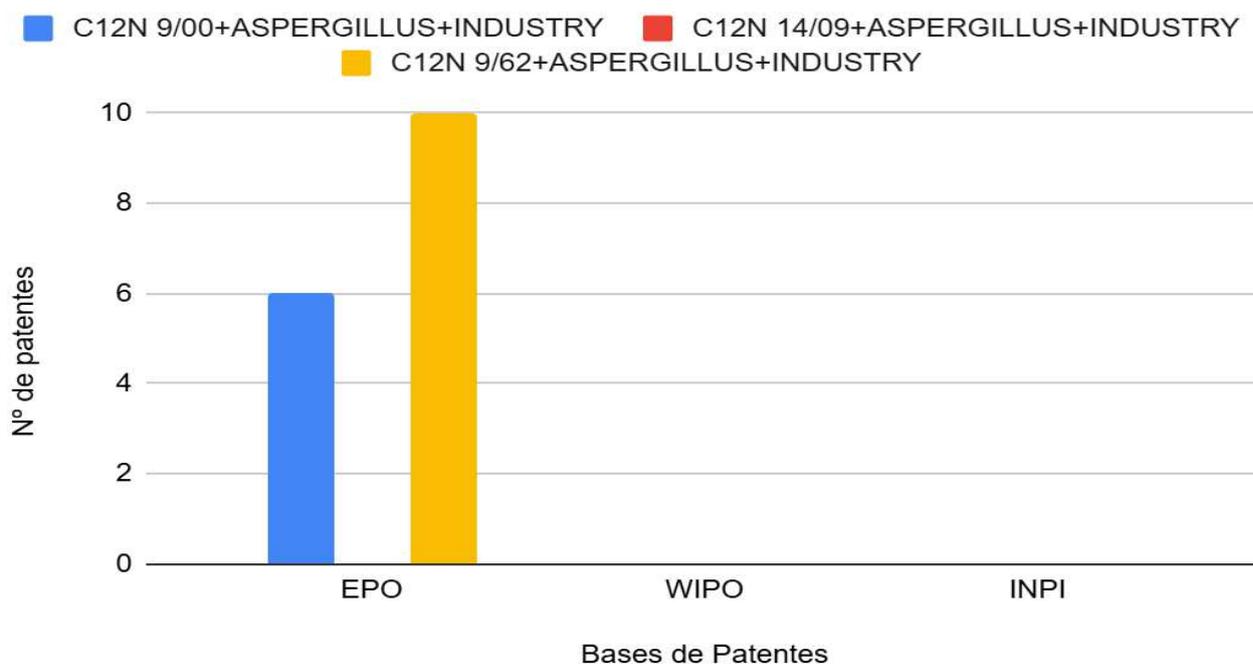
Com relação às subclasses ligadas ao assunto abordado, elencou-se os códigos que apresentaram maiores correlações ao uso de enzimas microbiológicas no âmbito industrial, mais especificamente as enzimas derivadas de fungos do gênero *Aspergillus*. Além disso, com o objetivo de filtrar mais as patentes referentes ao assunto, fez-se associação entre os códigos internacionais de patentes com as palavras-chave “*Aspergillus*” e “*Industry*”. Assim, foi possível observar que a base de dados da Espacenet apresentou mais correspondências para as associações feitas, se comparada às demais bases, tendo uma quantidade relativa de depósitos referentes ao uso de enzimas microbiológicas em geral, hidrolases e enzimas derivadas de *Aspergillus* no âmbito industrial.

O processo de fermentação, ainda, é a técnica mais utilizada para a produção de enzimas, apesar dos avanços tecnológicos. Por se tratar de uma técnica vantajosa, é bastante procurada pelos diversos setores industriais. Sendo uma das importantes fontes de recursos para as necessidades humanas, as enzimas microbiológicas são derivadas, em sua maioria, pelos processos fermentativos. Para que sejam aproveitadas e extraídas ao máximo, esse processo passa por operações para a recuperação dos produtos como filtração, centrifugação, purificação entre outras. Nesse sentido, a biotecnologia atrelada a essas técnicas clássicas tem como propósito viabilizar melhor produção, reaproveitamento de matérias-primas, diminuição do ciclo de poluição e custo-benefício aos colaboradores (Embrapa, 2021; Leite *et al.*, 2021).

Por apresentarem propriedades específicas preferíveis aos produtores industriais, as amilases são enzimas que apresentam elevada demanda na área industrial (Lim; Oslan, 2021). As alfa-amilases, mais especificamente, são utilizadas em larga escala e cada vez mais otimizadas, com o intuito de serem adaptadas às diversas condições e aplicações industriais. Técnicas voltadas para o isolamento e a evolução produtiva são desenvolvidas pelos processos de engenharia genética, viabilizando o melhor aproveitamento desses metabólitos derivados de microrganismos (Sharma *et al.*, 2021).

Segundo os parâmetros dos modelos patentários, existem dois tipos de patentes: Patentes de Invenção e Patentes de Modelos de Utilidade, as quais se caracterizam mediante a inovação para soluções novas de modo inesperado e para o aprimoramento de técnicas e usos já existentes, respectivamente (Brasil, 2012). Nesse sentido, muitas patentes são produzidas conforme a necessidade em cada área, sendo de suma importância o modo de utilização dos resultados produzidos e a sua contribuição para o mercado e sociedade em geral. Em se tratando do uso de amilases derivadas de *Aspergillus* sp., o desenvolvimento de patentes evidencia a possibilidade de essas enzimas auxiliarem em diversos processos, como na indústria alimentícia, médica e têxtil, além da redução da poluição ambiental (Olakusehin; Oyedeji, 2022).

**Gráfico 5** – Códigos internacionais de patentes referentes ao uso de enzimas microbiológicas e de *Aspergillus* e hidrolases no âmbito industrial



Fonte: Elaborado pelas autoras deste artigo (2024)

A capacidade heterogênea das amilases quanto às suas aplicações industriais pode ser demonstrada como um parâmetro crucial de inovação. Com relação a essa afirmação, é possível observar a produção de patentes relacionadas ao setor de biocombustíveis, que focam em enzimas termoestáveis capazes de atuar em condições extremas, enquanto as utilizadas no mercado industrial de detergentes tendem a priorizar características como resistência à ação de solventes e potencial estabilidade térmica (Ferreira *et al.*, 2020). Desse modo, é possível evidenciar a relevância e a originalidade das produções patentárias quanto ao uso de amilases no âmbito industrial.

Mediante as buscas das patentes abordadas no presente trabalho, foi possível observar que elas revelam um crescente desenvolvimento na biotecnologia e engenharia genética de fungos do gênero *Aspergillus* para a produção de amilases com características específicas, como estabilidade em pH mais baixo e outros parâmetros desejados, potencializando, assim, a eficiência dos processos industriais (Ferreira *et al.*, 2020). Como considerado no Gráfico 1, a China lidera em registros de patentes nessa área, apontando uma tendência estável quanto à inovação e à aplicação tecnológica de amilases industriais.

As limitações da pesquisa em prospecção tecnológica, especialmente no contexto do uso de enzimas derivadas de *Aspergillus*, incluem vários desafios metodológicos e tecnológicos. Primeiramente, a disparidade na quantidade de depósitos de patentes entre diferentes bases de dados, como Espacenet, WIPO e INPI, reflete uma heterogeneidade na documentação e no acesso à informação tecnológica. A escassez de patentes registradas no INPI, por exemplo, destaca a necessidade de maior investimento em infraestrutura de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no Brasil.

Além disso, a variabilidade nos critérios de classificação e de catalogação das patentes pode dificultar a análise comparativa e a síntese dos dados obtidos. Outro fator limitante é a dependência de técnicas tradicionais de fermentação para a produção de enzimas, que, apesar de eficientes, podem ser aprimoradas por novas abordagens biotecnológicas para aumentar a produtividade e a sustentabilidade (Fasim; Mais; Mais, 2021).

## 4 Considerações Finais

Dada a crescente exploração dessas enzimas, as amilases fúngicas encontram aplicações diversificadas em setores industriais. A produção seguindo parâmetros biotecnológicos demonstra que a utilização de enzimas microbiológicas constitui uma alternativa inovadora e sustentável, alinhada às atuais mudanças e adaptações contemporâneas. Nesse contexto, a capacidade dos microrganismos do Reino Fungi de se adaptarem a variadas

condições ambientais promove o desenvolvimento de pesquisas focadas em suas potencialidades metabólicas e aplicações industriais.

Em decorrência de sua aplicabilidade, técnicas utilizadas, vantagens para o mercado e sustentabilidade, as amilases derivadas de fungos, tais quais as do gênero *Aspergillus*, consolidam-se como ferramentas biotecnológicas essenciais, influenciando na modalidade de pesquisa e desenvolvimento atrelados às crescentes demandas no setor industrial. Portanto, é de fundamental importância incentivar estudos e uma consequente produção nessa área para explorar plenamente as capacidades dos fungos e suas enzimas, contribuindo para avanços significativos na biotecnologia e sustentabilidade industrial.

## 5 Perspectivas Futuras

Apesar dos resultados limitados referentes à aplicação de enzimas fúngicas, o Brasil demonstra um potencial significativo para o desenvolvimento de pesquisas sobre o uso dessas biotecnologias em escala industrial. A diversidade biológica e o clima favorável à proliferação de uma vasta variedade de fauna microbiana representam um ponto forte do país. Portanto, é imperativo que as autoridades competentes aprimorem os incentivos para o investimento e o desenvolvimento de biotecnologias baseadas em microrganismos. Esse apoio pode impulsionar o potencial do Brasil na produção de amilases fúngicas e suas aplicações industriais, promovendo o crescimento econômico e tecnológico.

A produção de amilases em território brasileiro pode ser destacada pela exploração de matérias-primas nacionais ricas em amido, como a farinha de trigo e milho, amplamente disponíveis no cotidiano brasileiro. Além disso, a capacidade produtiva das amilases pode ser direcionada para atender às principais necessidades nacionais, como a aplicação dessas enzimas nas indústrias odontológica, farmacêutica e alimentícia. Ao focar nessas áreas estratégicas, o Brasil pode aumentar a quantidade de pesquisas e, conseqüentemente, de patentes no setor, fortalecendo sua posição no cenário global de biotecnologia. É essencial fomentar um ambiente colaborativo entre instituições de pesquisa, indústrias e órgãos governamentais para maximizar as oportunidades de inovação e de desenvolvimento tecnológico no uso de amilases fúngicas.

As perspectivas futuras para o desenvolvimento da área são promissoras, especialmente com a integração de tecnologias emergentes e abordagens multidisciplinares. A utilização de técnicas de bioinformática e engenharia genética para otimizar a produção de enzimas pode revolucionar o setor industrial, aumentando a eficiência e reduzindo o impacto ambiental (Sharma *et al.*, 2021).

Além disso, políticas públicas que incentivem a inovação e a proteção da propriedade intelectual são essenciais para fortalecer a competitividade global do Brasil no campo da biotecnologia. Investimentos em educação e capacitação profissional também são fundamentais para formar uma nova geração de cientistas e engenheiros aptos a enfrentarem os desafios tecnológicos do futuro. Por fim, a colaboração entre instituições de pesquisa, indústrias e agências governamentais pode fomentar um ambiente propício para avanços significativos na aplicação de enzimas derivadas de fungos em diversas áreas industriais (Vachher *et al.*, 2021).

## Referências

- AMPARO, K. K. dos S.; RIBEIRO, M. do C. O.; GUARIEIRO, L. L. N. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 17, n. 4, p. 195-209, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/pci/article/view/22815>. Acesso em: 21 abr. 2024.
- ARAÚJO, T. *et al.* Modulação Epigenética na Produção de Antimicrobianos Fúngicos: uma revisão sistemática. **Revista Foco**, v. 10, p. e3261, 2023. DOI: 10.54751/revistafoco.v16n10-161. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/3261>. Acesso em: 17 maio 2024.
- BARROS, M. C.; PORTO JÚNIOR, F. G. R. **Prospecção Tecnológica**: O que é e para que serve? A prospecção tecnológica como ferramenta de planejamento estratégico na gestão pública. Palmas: EdUFT, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/2685/1/Cartilha%20de%20prospe%C3%A7%C3%A3o%20tecnol%C3%B3gica.pdf>. Acesso em: 18 maio 2024.
- BIAZUS, J. P. M. *et al.* Production and characterization of amylases from *Zea mays* malt. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 4, p. 991-1.000, 2009.
- BRASIL. **Lei n. 9.279, de 14 de maio de 1996**. Regula Direitos e Obrigações Relativos à Propriedade Industrial. Brasília, DF: Senado Federal, 1996.
- BRASIL. Ministério da Economia. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuito Integrado. **Manual Básico para Proteção por Patentes de Invenções, Modelos de Utilidade e Certificados de Adição**. Brasília, DF: MEC, INPI, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/guia-basico/ManualdePatentes20210706.pdf>. Acesso em: 27 maio 2024.
- BRASIL. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. **Diretriz de Exame de Patentes de Modelo de Utilidade (DIRPA)**. 2012. Disponível em: [https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/consultas-publicas/arquivos/diretriz\\_de\\_mu\\_versao\\_2\\_original.pdf](https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/consultas-publicas/arquivos/diretriz_de_mu_versao_2_original.pdf). Acesso em: 30 jul. 2024.
- CAETANO, C. F. *et al.* The Role of Yeasts in Human Health: A Review. **Journal Life**, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-1729/13/4/924>. Acesso em: 25 jul. 2024.
- CAIRNS, T. C. *et al.* Turning Inside Out: Filamentous Fungal Secretion and Its Applications in Biotechnology, Agriculture, and the Clinic. **Journal of Fungi**, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2309-608X/7/7/535>. Acesso em: 17 maio 2024.
- CHAMAS, C.; PIMENTA, F.; CURI, R. **Prospecção tecnológica**: caminhos para a ciência translacional. Brasília, DF: Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS). Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz Antonio Ivo de Carvalho. 2021. Disponível em: <https://cee.fiocruz.br/?q=prospeccao-tecnologica-caminhos-para-a-ciencia-translacional>. Acesso em: 20 abr. 2024.
- CIOFFI, R. *et al.* Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Smart Production: Progress, Trends, and Directions. **Sustainability**, v. 12, n. 2, p. 492, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/492>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- COERTJENS, Nicole Carneiro; MASCARENHAS, Maria do Socorro; BATISTOTE, Margareth. Endophytic Fungi: A Natural Source of Bioactive Compounds and Biotechnological Applications. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 12, n. 3, p. 163-176, 2023. DOI: 10.21664/2238-8869.2023v12i3.p163-176. Disponível em: <https://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/6838>. Acesso em: 16 maio 2024.
- CORBU, V. M. *et al.* Current Insights in Fungal Importance – A Comprehensive Review. **Microorganisms**, v. 11, p. 1384, 2023. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061384>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/6/1384>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- COSTA, M. S. **Influência de Alfa Amilases Fúngicas na Textura de Pão de Forma**. 2022. 54p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Instituto Federal de Minas Gerais, Bambuí, 2022. Disponível em: [https://www.bambui.ifmg.edu.br/portal/images/PDF/Biblioteca/TCCs/Engenharia\\_de\\_Alimentos/2022/COSTA\\_Maria\\_Silveira.\\_Influ%C3%Aancia\\_de\\_alfaamilases\\_f%C3%B4ngicas\\_na\\_textura\\_de\\_p%C3%A3o\\_de\\_forma.pdf](https://www.bambui.ifmg.edu.br/portal/images/PDF/Biblioteca/TCCs/Engenharia_de_Alimentos/2022/COSTA_Maria_Silveira._Influ%C3%Aancia_de_alfaamilases_f%C3%B4ngicas_na_textura_de_p%C3%A3o_de_forma.pdf). Acesso em: 30 jun. 2024.

CORROCHER, N.; MALERBA, F.; MORRISON, A. Technological Regimes, Patent Growth, and Catching-up in Green Technologies. Industrial and Corporate Change. **Bocconi University Management Research Paper**. 2021. Disponível em: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3878922](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3878922). Acesso em: 30 jun. 2024.

DE SOUZA OLIVEIRA, R. P. **Purificação de enzimas e peptídeos antimicrobianos**: suas aplicações. Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos. São Paulo: Blucher, 2019.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Fermentação**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/fermentacao>. Acesso em: 6 jul. 2024.

EKEDEGBA, F. E. *et al.* Optimization of Amylase Production in Three Fungal Species. **Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology**, 2022. Disponível em: <https://journalajbgmb.com/index.php/AJBGMB/article/view/266/533>. Acesso em: 26 jun. 2024.

FARJALLA, V. F. *et al.* Turning Water Abundance Into Sustainability in Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, 2021. DOI: 10.3389/fenvs.2021.727051. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.727051/full>. Acesso em: 15 maio 2024.

FASIM, A.; MAIS, V. S.; MAIS, S. S. Large-scale production of enzymes for biotechnology uses. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 69, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958166920301890?via%3Dihub>. Acesso em: 6 jul. 2024.

FERREIRA, A. V. F. *et al.* Recent Patents on the Industrial Application of Alpha-amylases. **Recent Patents on Biotechnology**, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32703144/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

GOPINATH, S. C. B. *et al.* Biotechnological Processes in Microbial Amylase Production. **BioMed Research International**, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2017/1272193>. Acesso em: 30 jun. 2024.

GENDI, A. *et al.* A Comprehensive Insight into Fungal Enzymes: Structure, Classification, and Their Role in Mankind's Challenges. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 1, p. 23, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof8010023>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2309-608X/8/1/23>. Acesso em: 17 maio 2024.

GHOLAMI-SHABANI, M. *et al.* Prospective Application of *Aspergillus* Species: Focus on Enzyme Production Strategies, Advances and Challenges. **Natural Food Additives**, 2021. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/79883#B4>. Acesso em: 24 maio 2024.

GUIMARÃES, L. *et al.* Métodos de inativação de fungos filamentosos termorresistentes em frutas e sucos de frutas: uma revisão integrativa. In: MARTINS, Wiaslan Figueiredo. Título da obra organizada. 1. ed. Guarujá-SP: Editora Científica Digital, 2021, cap. 2. p. 30. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/210906247>. Acesso em: 17 maio 2024.

HEIMEL, K. Unfolded protein response in filamentous fungi – Implications in biotechnology. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 99, p. 121-132, 2014. DOI: 10.1007/s00253-014-6192-7. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25060881>. Acesso em: 16 maio 2024.

HUANG, K. J. *et al.* Assessing the value of China's patented inventions. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 170, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162521003000?via%3Dihub>. Acesso em: 6 jul. 2024.

JAEGER, A. Silicon Valley Goes Green: The Origin of California's Climate Regime. **Political Science, Environmental Science**, 2023. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Silicon-Valley-Goes-Green%3A-The-Origin-of-Climate-Jaeger/66e27b75f5f0c7bb86e7ead7a0e5e01b75b1671f>. Acesso em: 6 jul. 2024.

JIANG, R.; SHI, H.; JEFFERSON, G. H. Measuring China's International Technology Catch Up. **Journal of Contemporary, China**, v. 29, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10670564.2019.1677362>. Acesso em: 25 maio 2024.

KARAM, E. M. *et al.* Production, immobilization and thermodynamic studies of free and immobilized *Aspergillus awamori* amylase. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 102. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813016328100?via%3Dihub>. Acesso em: 26 jun. 2024.

LACAZ, C. S. **Micologia Médica**. 7. ed. São Paulo, SP: Sarvier, 1992. p. 557-568.

LEITE, P. *et al.* Recent advances in production of lignocellulolytic enzymes by solid-state fermentation of agro-industrial wastes. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 27, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223620301048?via%3Dihub>. Acesso em: 6 jul. 2024.

LI, C. *et al.* Developing *Aspergillus niger* as a cell factory for food enzyme production. Elsevier. **Biotechnology Advances**, v. 44, 107630, 15 November 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975020301324>. Acesso em: 17 maio 2024.

- LIM, S. J.; OSLAN, S. N. Native to designed: microbial  $\alpha$ -amylases for industrial applications. **PeerJ – Biochemistry, Biophysics and Molecular Biology**, 2021.
- MONGABAY. **The top 10 most biodiverse countries**. 2023. Disponível em: <https://news.mongabay.com/2016/05/top-10-biodiverse-countries/>. Acesso em: 15 maio 2024.
- MOREIRA, F. M. *et al.* Identificação de fungos filamentosos em indústrias farmacêuticas: uma revisão integrativa da literatura. **R. Científica UBM**, v. 24, n. 46, p. 124-144, Sem. 2022.
- OLAKUSEHIN, V. O.; OYEDEJI, O. Production of  $\alpha$ -amylase from *Aspergillus flavus* S2-OY using solid substrate fermentation of potato (*Solanum tuberosum* L.) peel. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, 2022. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/220324>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- PARANHOS, R. C. S.; RIBEIRO, N. M. Importância da prospecção tecnológica em base em patentes e seus objetivos da busca. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 11, n. 5, p. 1.274, 2018.
- PELLEGRINI, F. *et al.* Industrial applications of amylases. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 140, p. 643-656, 2020.
- SANDLE, T. Study of fungi isolated from pharmaceutical cleanrooms: Types and origins. **European Journal of Parenteral and Pharmaceutical Sciences**, v. 26, n. 2, 2021.
- SHARMA, A. *et al.* Enzyme Engineering: Current Trends and Future Perspectives. **Food Reviews International**, v. 37, p. 121-154. 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87559129.2019.1695835>. Acesso em: 7 jul. 2024.
- SOARES, S. S. **Produção de amilases e pectinases por bactérias marinhas usando resíduos agroindustriais**. 2022. 50p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022. Disponível em: [http://www.cbiootec.ufpb.br/ccbiootec/contents/tccs/2021-1-suplementar/samuel\\_de\\_souza\\_soares\\_tcc.pdf](http://www.cbiootec.ufpb.br/ccbiootec/contents/tccs/2021-1-suplementar/samuel_de_souza_soares_tcc.pdf). Acesso em: 30 jun. 2024.
- TEIXEIRA, M. F. S.; MATSUURA, A. B. J.; SOARES, C. S. S. S. **Micologia Médica: Manual de Laboratório**. Manaus: UFAM, 1999. 111p.
- TERKAR, A.; BORDE, M. Endophytic fungi: Novel source of bioactive fungal metabolites. *In*: SINGH, Joginder; GEHLOT, Praveen (ed.). **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**. Elsevier, 2021. p. 95-105. ISBN 9780128210055. DOI: 10.1016/B978-0-12-821005-5.00006-5. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128210055000065>. Acesso em: 16 maio 2024.
- VACHHER, M. *et al.* Microbial therapeutic enzymes: A promising area of biopharmaceuticals. **Current Research in Biotechnology**, v. 3, p. 195-208, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590262821000216?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2024.
- VAN DER WOUDE, F. A history of collaboration in US invention: changing patterns of co-invention, complexity and geography. **Industrial and Corporate Change**, v. 29, 2019. Disponível em: <https://academic.oup.com/icc/article-abstract/29/3/599/5640490?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- VILELA, R. *et al.* A taxonomic review of the genus *Paracoccidioides*, with focus on the uncultivable species. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, 2023. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosntds/article?id=10.1371/journal.pntd.0011220>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- WHITTAKER, R. H. New concepts of kingdoms of organisms. **Science**, Washington, v. 163, n. 3863, p. 150-160, 1969.
- YAHYA, S. *et al.* Amylase production and growth pattern of two indigenously isolated aspergilli under submerged fermentation: influence of physico-chemical parameters. **Pak. J. Bot.**, v. 53, n. 3, p. 1.147-1.155, 2021. Disponível em: [https://pakbs.org/pjbot/paper\\_details.php?id=9022](https://pakbs.org/pjbot/paper_details.php?id=9022). Acesso em: 17 maio 2024.
- ZAGATTO, L. F. G., WEISER, V. L. A classificação biológica e sua importância: de Aristóteles aos dados moleculares. **Revista Aprendendo Ciência**, v. 11, n. 1, 2022. Disponível em: <https://seer.assis.unesp.br/index.php/aprendendociencia/article/view/2453>. Acesso em: 25 out. 2024.

## Sobre as Autoras

---

### Ana Clara Santos Silva

*E-mail:* ana.clara2@discente.ufma.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6045-6251>

Graduanda de Farmácia pela Universidade Federal do Maranhão.

Endereço profissional: Avenida dos Portugueses, n. 1.966, Vila Bacanga, São Luís. MA. CEP: 65085-582.

---

### Fernanda Jeniffer Lindoso Lima

*E-mail:* fernanda.jeniffer@discente.ufma.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3080-4478>

Mestre em Saúde do Adulto pela Universidade Federal do Maranhão em 2023.

Endereço profissional: Avenida dos Portugueses, n. 1.966, Vila Bacanga, São Luís. MA. CEP: 65085-582.

---

### Maria do Desterro Soares Brandão Nascimento

*E-mail:* maria.asterro@ufma.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2783-362X>

Pós-Doutora em Ciências da Saúde pelo INCA em 2012.

Endereço profissional: Avenida dos Portugueses, n. 1.966, Vila Bacanga, São Luís. MA. CEP: 65085-582.

---

### Mayara Cristina Pinto da Silva

*E-mail:* mayara.silva@ufma.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1868-6931>

Doutora em Ciências da Saúde pela Universidade Federal do Maranhão em 2017

Endereço profissional: Avenida dos Portugueses, n. 1.966, Vila Bacanga, São Luís. MA. CEP: 65085-582.