

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

DANNIELLY VICTÓRIA RODRIGUES DA SILVA

LUCAS COELHO MEDEIROS

**CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA DE AMILASE PRODUZIDA POR
Paecilomyces variotii EM BAGAÇO DE MALTE E FARELO DE TRIGO POR
CULTIVO EM ESTADO SÓLIDO.**

DOURADOS – MS

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

DANNIELLY VICTÓRIA RODRIGUES DA SILVA

LUCAS COELHO MEDEIROS

**CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA DE AMILASE PRODUZIDA POR
Paecilomyces variotii EM BAGAÇO DE MALTE E FARELO DE TRIGO POR
CULTIVO EM ESTADO SÓLIDO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Biotecnologia, da Universidade
Federal da Grande Dourados como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel em
Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Simões Ribeiro
Leite

DOURADOS – MS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

	Silva, Dannielly Victória Rodrigues da Caracterização bioquímica de amilase produzida por <i>Paecilomyces variotii</i> em bagaço de malte e farelo de trigo por cultivo em estado sólido. / Dannielly Victória Rodrigues da Silva, Lucas Coelho Mederos. - Dourados: 2025. 23 fls. Orientador: Professor Doutor Rodrigo Simões Ribeiro Leite TCC (Graduação) Biotecnologia - Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - Universidade Federal da Grande Dourados.- Universidade Federal da Grande Dourados. 1. Enzimas amilolíticas. 2. Substratos lignocelulósicos. 3. Estabilidade enzimática. 4. Enzimas industriais. I. Título.
--	--

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

DANNIELLY VICTÓRIA RODRIGUES DA SILVA
LUCAS COELHO MEDEIROS

Caracterização bioquímica de amilase produzida por *Paecilomyces variotii* em bagaço de malte e farelo de trigo por cultivo em estado sólido

Trabalho de conclusão de curso
aprovado pela Banca Examinadora
como requisito parcial para obtenção
do título de bacharel em Biotecnologia,
da Universidade Federal da Grande
Dourados.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Simões
Ribeiro Leite

Aprovado em: 01 de dezembro de 2025

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO SIMÕES RIBEIRO LEITE**
Data: 02/12/2025 10:56:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Simões Ribeiro Leite
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **RENATA PIRES DE ARAÚJO**
Data: 02/12/2025 11:50:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Renata Pires Araújo
Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO MATHEUS PEREIRA**
Data: 02/12/2025 18:52:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rodrigo Matheus Pereira
Examinador

RESUMO

As amilases catalisam a hidrólise das ligações glicosídicas do amido, gerando açúcares redutores, como glicose e maltose. Essas enzimas apresentam ampla aplicação nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de biocombustíveis. O objetivo deste trabalho foi caracterizar bioquimicamente a amilase produzida pelo fungo *Paecilomyces variotii* por cultivo em estado sólido, utilizando resíduos agroindustriais como substratos. A produção de amilase foi obtida utilizando uma mistura de bagaço de malte e farelo de trigo (1:1), após 144 horas de cultivo a 30 °C, alcançando atividade de 4032 U/g de substrato seco. O extrato enzimático também apresentou atividades de β -glicosidase, xilanase e pectinase. A atividade ótima da amilase ocorreu em pH 5,0 e 50 °C, mantendo sua estabilidade estrutural entre pH 3,0–8,0 e, após uma hora de incubação a 55 °C, a enzima manteve mais de 75% de sua atividade residual. Os resultados demonstram o potencial biotecnológico de *P. variotii* para a produção de amilase termoestável e outras enzimas industriais a partir de cultivos de baixo custo, utilizando subprodutos da agroindústria como substrato.

Palavras-chave: Enzimas amilolíticas; Substratos lignocelulósicos; Estabilidade enzimática; Enzimas industriais.

ABSTRACT

Amylases catalyze the hydrolysis of glycosidic bonds in starch, generating reducing sugars such as glucose and maltose. These enzymes have broad applications in the food, pharmaceutical, and biofuel industries. This study aimed to biochemically characterize the amylase produced by the fungus *Paecilomyces variotii* by solid-state fermentation using agro-industrial residues as substrates. Amylase production was obtained using a mixture of malt bagasse and wheat bran (1:1), after 144 hours of cultivation at 30 °C, reaching an activity of 4032 U/g of dry substrate. The enzymatic extract also showed β -glucosidase, xylanase, and pectinase activities. The optimal activity of the amylase occurred at pH 5.0 and 50 °C, maintaining structural stability between pH 3.0–8.0. After one hour of incubation at 55 °C, the enzyme retained more than 75% of its residual activity. The results demonstrate the biotechnological potential of *P. variotii* for the production of thermostable amylase and other industrial enzymes using low-cost agro-industrial by-products as substrates.

Keywords: Amylolytic enzymes; Lignocellulosic substrates; Enzyme stability; Industrial enzymes.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 – Efeito do (A) pH e da (B) temperatura na atividade amilolítica.....	15
Figura 2 – Efeito do (A) pH e da (B) temperatura na atividade enzimática	16

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Potencial catalítico do extrato enzimático produzido por cultivo em estado sólido do fungo <i>P. variotii</i>	17
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CES	Cultivo em Estado Sólido
DNS	Dinitrosalicílico
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
PGPF	Promotor do crescimento de plantas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 METODOLOGIA	12
2.1 Microrganismo	12
2.2 Preparo do Inóculo	12
2.3 Produção de amilases por cultivo em estado sólido	12
2.4 Extração da enzima	13
2.5 Avaliação da atividade amilolítica	13
2.6 Efeito do pH e da temperatura sobre a atividade enzimática	13
2.7 Avaliação do potencial catalítico do extrato enzimático bruto	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1 Efeito do pH e da temperatura sobre a atividade da enzima	14
3.2 Potencial catalítico do extrato enzimático	16
4 CONCLUSÃO	18
REFERÊNCIAS	19

1. INTRODUÇÃO

Enzimas são proteínas que atuam como catalisadores biológicos, ou seja, aceleram reações químicas nos seres vivos, tornando o metabolismo dos organismos mais eficientes. Além disso, cada enzima tem sua especificidade, atuando sobre um ou poucos substratos. A atividade enzimática é regulável, podendo ser estimulada ou inibida por fatores físico e químicos, como: pH, temperatura e concentração de substrato (PACHECO; MENDES, 2021).

As enzimas são classificadas em seis grupos principais, conforme a reação que catalisam: Óxido-redutases (transferem elétrons), Transferases (transferem grupos químicos), Hidrolases (usam água para quebrar ligações), Liasas (formam ou quebram duplas ligações), Isomerases (catalisam rearranjos moleculares) e Ligases (unem moléculas, usando energia). Amilases são enzimas que catalisam a hidrólise de ligações glicosídicas do amido em moléculas menores, como a glicose, maltose, maltotriose e dextrinas (NELSON; COX; HOSKINS, 2019).

Em 2017, o mercado mundial de enzimas movimentou aproximadamente US\$ 7,1 bilhões, e alcançou US\$ 11 bilhões até 2024, crescendo em média 5,7% ao ano no período entre 2018 e 2024, sendo que a Europa representou por cerca de um terço da produção global em 2017, sendo os microrganismos responsáveis pela produção de aproximadamente 70% do total de enzimas comercializadas (PAPADAKI et al., 2020).

Diante desse contexto, o processo de obtenção dessas enzimas apresenta um elevado custo, devido principalmente aos meios de cultura empregados no crescimento microbiano, os quais podem corresponder a aproximadamente 30–40% do valor total de produção dos biocatalisadores (JOO; CHANG, 2005). Visando a redução do custo na produção dessas enzimas o Cultivo em Estado Sólido (CES) se mostra uma opção vantajosa.

Esse tipo de cultivo utiliza resíduos agroindustriais de baixo custo como fonte de nutrientes para os microrganismos. Além do mais, esses resíduos são amplamente disponíveis, muitas vezes sem valor comercial ou com custo reduzido, o que diminui significativamente os gastos com meios de cultura. Consequentemente, demanda menor volume de água, menos energia para aeração e agitação, assim reduzindo custos de tratamento de efluentes, fatores que contribuem para um processo produtivo mais barato e sustentável (SOCCOL et al., 2017).

Entretanto, os resíduos gerados pela agroindústria ainda são pouco aproveitados e em sua grande maioria são descartados por apresentarem baixo valor agregado, porém, esses subprodutos são ricos em fibras e os açúcares, podendo ser empregados em diversos bioprocessos visando diminuição de custos e também como um método para minimizar os impactos ambientais (SOCCOL et al., 2017).

No cenário brasileiro, em 2023, a produção de cerveja atingiu 15,36 bilhões de litros, de acordo com o Anuário da Cerveja. Esse volume foi produzido por 1.847 cervejarias registradas no Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa). Como resultado, o bagaço de malte de cevada é o principal resíduo das cervejarias: corresponde a 85% do material sólido descartado. Esse resíduo é originado no início do processo de produção de cervejas, estima-se que, para cada 100 litros de cerveja, cerca de 20 kg de bagaço de malte de cevada sejam produzidos, portanto cerca de 3 milhões de toneladas desse resíduo são gerados por ano (MAPA, 2023).

De acordo com Mussatto (2010) o bagaço de malte de cevada apresenta 35% de hemicelulose, 20% de celulose, 10% de lignina e 10% de lipídios. Além de afirmar que o bagaço de malte é rico em proteínas e fibras, as quais correspondem a cerca de 20 e 70% da sua composição, apresentando potencial a ser utilizado como substrato para cultivo em estado sólido de fungos filamentosos.

Em síntese, esse método além de reduzir significativamente os custos de produção, contribui para o aproveitamento de subprodutos que, de outra forma, seriam descartados e causariam impactos ambientais. Portanto, o CES alia inovação tecnológica à responsabilidade ambiental, demonstrando ser uma alternativa promissora (PANDEY, 2003). A abundância e composição rica desses resíduos reforçam sua importância como substrato. Dessa forma, esse tipo de cultivo fortalece a integração entre economia circular, biotecnologia e sustentabilidade.

Além do fungo ser reconhecido principalmente pela produção de diversas enzimas de interesse industrial, é estudado por sua capacidade de controle biológico contra fitopatógenos em culturas agrícolas e como promotor do crescimento de plantas (PGPF) devido à produção de substâncias como sideróforos (MORERO-GÁVIRA et al., 2020). Em suma, o presente trabalho teve o objetivo de caracterizar a amilase produzida pelo cultivo em estado sólido do fungo *Paecilomyces variotii* em bagaço de malte de cevada e farelo de trigo; em conjunto com a avaliação do perfil catalítico do extrato enzimático produzido.

2. METODOLOGIA

2.1 Microrganismo

No presente trabalho o fungo filamentoso mesófilo *Paecilomyces variotii* foi utilizado para produção de amilase. O microrganismo foi previamente isolado de material em decomposição oriundo de pilhas de compostagem localizadas na região de Dourados, Mato Grosso do Sul. A identificação taxonômica foi realizada pela Micoteca URM, vinculada à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O isolado foi cultivado em meio Sabouraud Dextrose Ágar a 30°C e, posteriormente, armazenado sob refrigeração a 4°C no Laboratório de Enzimologia e Processos Fermentativos da Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais da Universidade Federal da Grande Dourados (FCBA/LEPFER/UFGD).

2.2 Preparo do Inóculo

Para a obtenção do inóculo, o microrganismo foi inicialmente cultivado por 48 horas a 30°C em frascos Erlenmeyer de 250 mL contendo 60 mL de meio ágar Sabouraud Dextrose inclinado. Após o crescimento, a biomassa fúngica foi obtida pela raspagem suave da superfície do meio, utilizando 25 mL de uma solução nutriente contendo 0,1% de sulfato de amônio, 0,1% de sulfato de magnésio hepta-hidratado e 0,1% de nitrato de cálcio (m/v), resultando na suspensão inoculante. A etapa de inoculação consistiu na transferência de 5 mL dessa suspensão para os resíduos agroindustriais (SANGUINE et al., 2022).

2.3 Produção de Amilases por Cultivo em Estado Sólido

A produção de amilases foi realizada em cultivo em estado sólido, utilizando frascos Erlenmeyer de 250 mL contendo 5 g de uma mistura homogênea de resíduos agroindustriais sendo 2,5 g de bagaço de malte e 2,5 g de farelo de trigo. Os resíduos foram previamente lavados com água destilada, secos em estufa a 50°C por 48 horas e, em seguida, esterilizados em autoclave a 121 °C por 20 minutos. A umidificação dos substratos foi realizada com a mesma solução nutriente empregada na preparação do inóculo, com umidade inicial de 55%. Posteriormente

a inoculação do fungo, os frascos foram mantidos a 30°C por 144 horas (SANGUINE et al., 2022).

2.4 Extração da Enzima

Para a extração da enzima foram adicionados 50 mL de água destilada aos resíduos agroindustriais fermentados, que foram macerados com o auxílio de bastão de vidro. A mistura foi mantida sob agitação a 100 rpm por 1 hora, filtrada em tecido sintético (nylon) e centrifugada a $1500 \times g$ por 10 minutos. O sobrenadante obtido, denominado extrato enzimático, foi utilizado nas etapas subsequentes do experimento (SANGUINE et al., 2022).

2.5 Avaliação da Atividade Amilolítica

A mensuração da atividade catalítica da amilase foi realizada incubando 0,1 mL do extrato enzimático com 0,9 mL de solução tampão acetato de sódio 0,1 M, ajustada para pH 4,5, contendo 1% de amido de milho (m/v) como substrato. Após um período de reação de 10 minutos, a quantificação dos açúcares redutores formados foi realizada pelo uso do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), de acordo com o método proposto por Miller (1959). Uma unidade de atividade enzimática foi definida como a quantidade de enzima capaz de liberar 1 μmol de produto por minuto sob as condições experimentais adotadas (CAVALHEIRO et al., 2017).

2.6 Efeito do pH e da Temperatura sobre a Atividade Enzimática

A influência do pH na atividade da enzima foi avaliada utilizando tampão McIlvaine em uma faixa de pH de 3,0 a 8,0 contendo 1% de amido (m/v), as reações foram realizadas a 50°C. Para identificar a temperatura ótima, a atividade enzimática foi quantificada em diferentes temperaturas, variando de 30°C a 80°C, sob o pH previamente identificado como ideal.

A estabilidade da enzima frente a variações de pH foi avaliada por meio da incubação da enzima por 24 horas a 25°C em diferentes soluções tampão: McIlvaine (pH 3,0–8,0), Tris-HCl 0,1 M (pH 8,0–8,5) e Glicina-NaOH 0,1 M (pH 8,5–11,0). As

amostras foram posteriormente submetidas à quantificação da atividade residual nas condições ótimas previamente determinadas para pH e temperatura.

A estabilidade térmica (termoestabilidade) da enzima foi avaliada pela incubação da solução enzimática em diferentes temperaturas (30 a 80°C), durante 1 hora, sendo a atividade residual mensurada nas condições ótimas de pH e temperatura da enzima (CAVALHEIRO et al., 2017).

2.7 Avaliação do Potencial Catalítico do Extrato Enzimático Bruto

A atividade de β -glicosidase foi quantificada utilizando o substrato sintético p-nitrofenil-pD-glucopiranosídeo (4 mM, Sigma). As atividades de endoglucanase, xilanase e pectinase foram avaliadas utilizando carboximetilcelulose (3%), xilana (1%) e pectina (1%) como substratos, respectivamente, e a liberação de açúcares redutores foi determinada pelo método DNS (Miller, 1959). Uma unidade de atividade enzimática foi definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 μ mol de produto por minuto de reação (GARBIN et al., 2021).

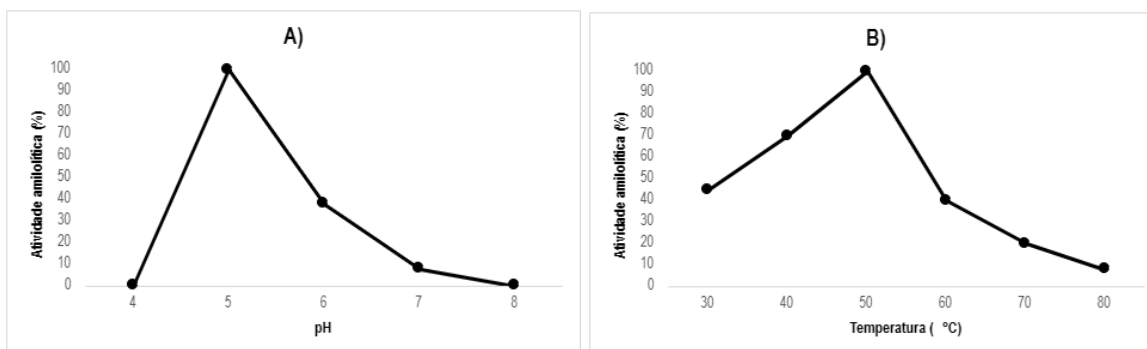
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito do pH e temperatura sobre a atividade da enzima

Legenda da imagem 1 está sobreposta à imagem;

A amilase produzida pelo fungo *Paecilomyces variotii* apresentou maior atividade catalítica em pH 5,0 à 50°C (figura 1). Michelin et al. (2010) obtiveram resultados próximos aos descritos no presente trabalho. Os autores relataram atividade ótima em pH 4,0 à 60°C para a alfa-amilase purificada de cultivo submerso de *Paecilomyces variotii*. A enzima manteve-se estável quando incubada por 1h a 55°C. O que confirma a produção de amilases estruturalmente estáveis por *P. variotii* mesmo em cultivos submersos.

Figura 1. Efeito do pH (A) e da temperatura (B) na atividade amilolítica.



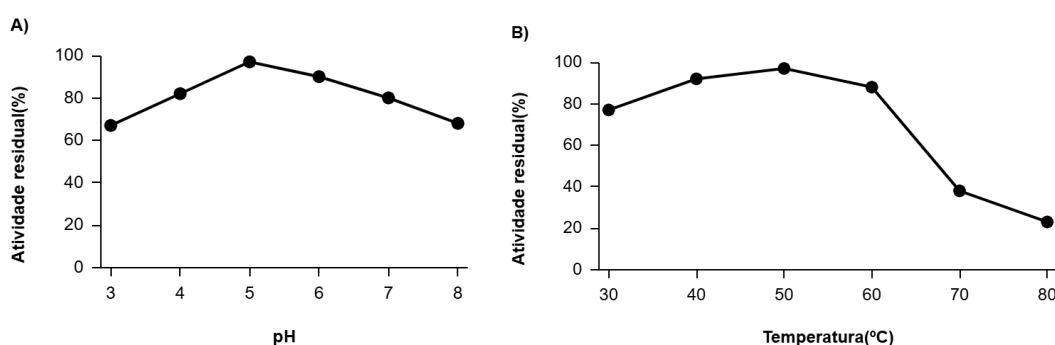
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Com relação a estabilidade, a enzima manteve mais de 80% de sua atividade original entre a faixa de pH 4,0-7,0 (Figura 2A) e foi recuperado mais de 60% da sua atividade quando incubada em pH 4,0 e 8,0. Resultados semelhantes foram encontrados por Gillet et al. (2023), que descreveu o pH de estabilidade da amilase produzida por *Trichoderma stromaticum* em torno de 90%, entre pH 4,0 e 7,0. A amilase produzida por *Aspergillus brasiliensis* manteve atividade acima de 90% na faixa de pH 3,0–6,5 e acima de 88% na faixa de pH 7,0–8,0 (ALMEIDA et al., 2017).

A atividade catalítica da amilase produzida por *P. variotii* se manteve por 1 hora em temperaturas entre 30 a 60°C, preservando mais de 75% de sua atividade. Ao ser exposta a 65°C, a atividade enzimática reduziu para aproximadamente 40% (Figura 2B). Essa característica é muito importante para aplicação industrial, pois a maioria dos processos requer enzimas termotolerantes. Simões (2021) descreveu a atividade enzimática máxima da amilase produzida por *Penicillium* sp. FSDE 15 à 60°C obtendo resultados para temperatura de estabilidade similar ao do presente estudo, enquanto Zhang, Liu e Chen (2023) registraram que a amilase produzida por *Aspergillus flavus* 9261 foi estável a 50 °C por 1 h, mas perdeu sua atividade quase completamente quando incubada por 30 minutos a 60 °C.

A estabilidade enzimática frente a variações de temperatura e pH é um fator essencial para o desempenho adequado dos biocatalisadores, que tendem a perder parte de sua atividade quando expostos a calor excessivo ou a condições extremas de acidez ou alcalinidade (DAHIRU et al., 2024). No processamento de amido, por exemplo, enzimas termoestáveis capazes de resistir a altas temperaturas e a condições ácidas são essenciais para a otimização de custos e tempo do processo (LIAQAT et al., 2024).

Figura 2. Estabilidade ao pH (A) e a temperatura (B) da amilase produzida por *P. variotii*.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

3.2 Potencial catalítico do extrato enzimático

O extrato enzimático produzido por *P. variotii* apresentou atividade de outras enzimas de interesse industrial, além da amilase descrita neste trabalho, dentre elas: β -glicosidases, pertencentes à classe das hidrolases, que atuam na clivagem de ligações glicosídicas presentes em dissacarídeos e oligossacarídeos derivados da degradação da celulose, liberando glicose como produto final (SINGH, 2015); xilanases, representadas principalmente por endoxilanases e β -xilosidases, que atuam de forma sinérgica na degradação da hemicelulose liberando xilo-oligossacarídeos e xilose (ABENA e SIMACHEW, 2024).

O extrato também apresentou atividade de pectinases, responsáveis pela degradação da pectina. Nesse grupo, destacam-se as pectina esterases, que catalisam a hidrólise de ligações éster, produzindo ácido péctico, e as despolimerases, que clivam ligações glicosídicas desse polímero (CHEN et al., 2023). Além dessas enzimas, foram detectadas endoglucanases, enzimas hidrolíticas que promovem a clivagem interna de ligações β -1,4-glicosídicas em regiões amorfas da celulose, gerando oligossacarídeos de diferentes comprimentos e aumentando a acessibilidade das fibras para outras enzimas celulolíticas (LUCARINI et al., 2024).

Dentre as enzimas quantificadas, a produção de Enzimas Amilolíticas foi a mais expressiva, alcançando 4032 U/g. Esse resultado mostra-se notavelmente superior ao de outras cepas fúngicas, como *Aspergillus tamaris* MTCC5152, que

apresentou atividade de 519,40 U/g (PREMALATHA et al., 2023), e *Cunninghamella echinulata*, com 157,66 U/g (CAVALHEIRO et al., 2023).

O mesmo extrato enzimático apresentou 198,03 U/g para β -glicosidases, valor consideravelmente superior ao relatado por Dina, Thankamani e Abraham (2023) para *Aspergillus flavipes* cultivado em estado sólido, que produziu 17,0 U/g, e também acima dos resultados obtidos por Ezeilo et al. (2022), que registraram 131,76 U/g para *Trichoderma asperellum* UC1 e *Rhizopus oryzae* UC2 sob condições semelhantes de cultivo.

Para as xilanases, 65,15 U/g, a produção obtida foi superior ao reportado por Šekuljica et al. (2023), que verificaram produção de 21 U/g de xilanase extracelular por *Penicillium rubens* por cultivo em estado sólido. No entanto, as atividades de pectinases e endoglucanases apresentaram valores inferiores aos descritos na literatura. Para efeito comparativo, Videira (2021) relatou a produção de 715,7 U/g de pectinase e 115,8 U/g de endoglucanase por *Pycnoporus sanguineus* em cultivo em estado sólido, evidenciando que o fungo *P. variotii* apresenta menor potencial para a produção dessas duas enzimas.

Tabela 1. Potencial catalítico do extrato enzimático produzido por cultivo em estado sólido do fungo *P. variotii*.

Enzimas	U/g
Amilases	4032
β -glicosidases	198,03
Xilanases	65,15
Pectinases	18
Endoglucanases	6,02

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

De forma geral, o extrato enzimático de *P. variotii* apresentou um perfil diversificado de hidrolases, com destaque para a elevada atividade de amilases, complementada por β -glicosidases e xilanases em níveis relevantes. Esse conjunto enzimático amplia consideravelmente suas possibilidades de aplicação. As Enzimas Amilolíticas, em especial, tornam o extrato promissor para setores como o de

alimentos e bebidas, em processos de sacarificação do amido aplicados à panificação, à indústria cervejeira e à formulação de rações para animais. A presença de β -glicosidases e xilanases favorece o aproveitamento de resíduos agroindustriais na geração de açúcares fermentescíveis, fortalecendo iniciativas voltadas à produção de biocombustíveis.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem concluir que o fungo *Paecilomyces variotii* tem potencial de produzir amilases, β -glicosidases e xilanases, quando cultivado em estado sólido utilizando resíduos agroindustriais, sendo um método sustentável e com custo reduzido de produção.

A amilase produzida mostrou-se muito promissora do ponto de vista industrial, por apresentar estabilidade estrutural em ampla faixa de temperatura e pH, pois em processos industriais não se tem um controle rigoroso destes parâmetros, resultando em maior tolerância às variações ao longo dos processos.

Portanto, o estudo evidencia que o fungo *Paecilomyces variotii* pode ser utilizado para a produção de enzimas industriais em meios de baixo custo, além de produzir enzimas com características favoráveis à aplicação industrial, destacando-se como uma alternativa viável para a indústria de alimentos, bebidas e biocombustíveis.

REFERÊNCIAS

- ABENA, T.; SIMACHEW, A. *A review on xylanase sources, classification, mode of action, fermentation processes, and applications as a promising biocatalyst*. BioTechnologia (Pozn.), Polônia, v. 105, n. 3, p. 273-285, set. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39439716/>. Acesso em: 08 jun. 2025.
- ALMEIDA, F. B.; REIS, F. A. M.; COELHO, R. R. R. *Bioprospection and characterization of the amylolytic activity by filamentous fungi from Brazilian Atlantic Forest*. Biota Neotropica, Campinas, v. 17, n. 3, p.1-9, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2017-0337>. Acesso em: 14 out. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Anuário da Cerveja 2023*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-1-847-cervejarias-registradas-no-brasil-setor-cresce-6-8-em-2023/anuario-da-cerveja/view>. Acesso em: 03 out. 2025.
- CAVALHEIRO, G.F. et al. *Catalytic properties of amylolytic enzymes produced by Gongronella butleri using agroindustrial residues on solid-state fermentation*. Biomed Research International, Hoboken, v. 2017, dez. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2017/7507523>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- CAVALHEIRO, G.F. et al. *Catalytic properties of amylases produced by Cunninghamella echinulata and Rhizopus microsporus*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 95, e. 20230187. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320230187>. Acesso em: 30 ago. 2025.
- CHEN, X. W. et al. *Effects of Pectinase Pre-Treatment on the Physicochemical Properties, Bioactive Compounds, and Volatile Components of Juices from Different Cultivars of Guava*. Foods, Guangzhou, v. 12, n. 2, e. 330, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/2/330>. Acesso em: 11 set. 2025.
- DAHIRU, M. D.; ABDULHAMID, A. A.; ABAKA, A. M. *Review: Current perspectives on enzyme applications in medicine, agriculture, and industries*. Asian Journal of Tropical Biotechnology, Jimeta, v. 21, n. 1, p. 10-25, jun. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/380658959_Review_Current_perspectives_on_enzyme_applications_in_medicine_agriculture_and_industries. Acesso em: 14 set. 2025.
- DINA, S.; THANKAMANI, V. T.; ABRAHAM, E. T. *Optimization of cellulase production from Aspergillus flavipes by submerged and solid state fermentation*. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, Eslováquia, v. 12, n. 5, e. 4754, abr.–mai. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55251/jmbfs.4754>. Acesso em: 02 abr. 2025.

EZEILO, U. R. et al. *Solid-state valorization of raw oil palm leaves by novel fungi *Trichoderma asperellum* UC1 and *Rhizopus oryzae* UC2 for sustainable production of cellulase and xylanase*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, Johor Bahru, v. 97, n. 2, p. 520-533, mar. 2021. Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.6713>. Acesso em: 13 set. 2025.

GILLET, S. A. et al. *Utilization of Peach-palm waste for cost-effective amylase production by *Trichoderma stromaticum*: Stability and industrial potential*. Mycology, Ilhéus, v. 15, n.4, p. 690-701, nov. 2023. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21501203.2023.2276728?>. Acesso em: 12 set. 2025.

JOO, H. S.; CHANG, C.S. *Production of protease from a new alkalophilic *Bacillus* sp. I-312 grown on soybean meal: optimization and some properties*. Process Biochemistry, [S.I.], v. 40, n. 3-4, p. 1263-1270, mar. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/247177214_Production_of_protease_from_a_new_alkalophilic_Bacillus_sp_I-312_grown_on_soybean_meal_Optimization_and_some_properties. Acesso em: 21 set. 2025.

LIAQAT, U. S.; NAZ, S.; HUSSAIN, H. I. *Optimization and production of highly stable amylase isolated from *Citrobacter portucalensis* using low-cost agro-industrial wastes as substrates: Prospective therapeutics*. Kuwait Journal of Science, Kuwait, v. 51, n. 1, p. 1-7, jan. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307410823001979>. Acesso em: 10 set. 2025.

LUCARINI, A. C. et al. *Estudo da hidrólise enzimática da palha da cana de açúcar para produção de etanol de segunda geração*. The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC, Brasil, v. 3, n. 2, p. 242-253, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18540/2446941603022017242>. Acesso em: 13 abr. 2025.

MICHELIN, M. et al. *Purification and characterization of a thermostable α -amylase produced by the fungus *Paecilomyces variotii**. Carbohydrate Research, Ribeirão Preto, v. 345, n. 16, p.2348-2353, Ago. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008621510003630?via%3Dihub>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MORERO-GÁVIRA, Alejandro; DIÁNEZ, Fernando; SÁNCHEZ-MONTESINOS, Brenda; SANTOS, Mila. *Paecilomyces variotii* as a plant-growth promoter in horticulture. Agronomy, Basel, v. 10, n. 4, p. 597, abr. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/4/597> Acesso em: 20 nov. 2025.

MUSSATTO, S. I. *Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications*. Journal of the Science of Food and Agriculture, Braga, v. 94, n. 7, p. 1264-1275, mai. 2010. Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.6486>. Acesso em: 02 out. 2025.

NELSON, D. L.; COX, M. M.; HOSKINS, A. A. *Princípios de Bioquímica de Lehninger*. 8. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2019. Ebook. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786558820703>. Acesso em: 25 out. 2025.

PACHECO, T. F.; MENDES, T. D. *Guia prático para caracterização de enzimas*. 1. ed. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1131161/1/Guia-pra769tico-para-a-caracterizac807a771o-de-enzimas.pdf>. Acesso em: 17 set. 2025.

PANDEY, A. *Solid-state fermentation*. Biochemical Engineering Journal, Trivandrum, v. 13, n. 2-3, p. 81-84, mar. 2003. Disponível em: https://www.academia.edu/12420078/Solid_state_fermentation Acesso em: 20 set. 2025.

PAPADAKI, E. et al. *Feasibility of multi-hydrolytic enzymes production from optimized grape pomace residues and wheat bran mixture using Aspergillus niger in an integrated citric acid-enzymes production process*. Bioresource Technology, [S.l.] v. 309, [s.n.], p. 123317, ago. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420305897>. Acesso em: 18 set. 2025.

PREMALATHA, A. et al. *Optimization of culture conditions for enhanced production of extracellular α -amylase using solid-state and submerged fermentation from Aspergillus tamarai MTCC5152*. Biotechnology and Applied Biochemistry, Índia, v. 70, n. 2, p. 835-845, set. 2023. Disponível em: <https://iubmb.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bab.2403>. Acesso em: 17 set. 2025.

SANGUINE, I. S. et al. *Xylanases of Trichoderma koningii and Trichoderma pseudokoningii: production, characterization and application as additives in the digestibility of forage for cattle*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, Dourados, v. 44, p. 102482, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102482>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ŠEKULJICA, N. et al. *Xylanase Production by Solid-State Fermentation for the Extraction of Xylooligosaccharides from Soybean Hulls*. Food Technology and Biotechnology, Belgrado, v. 61, n. 4, p. 439–450, dez. 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10775786/>. Acesso em: 15 set. 2025.

SIMÕES, A. L. C. C. *Produção de amilase por cultivo em estado sólido e hidrólise enzimática de resíduos de mandioca*. 2021. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

SINGH, G.; VERMA, A. K.; KUMAR, V. *Catalytic properties, functional attributes and industrial applications of β -glucosidases*. 3 Biotech, Palampur, v. 6, n. 3, e. 3, dez. 2015. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4697909/>. Acesso em: 17 set. 2025.

SOCCOL, C. R. et al. *Recent developments and innovations in solid-state fermentation*. Biotechnology Research and Innovation, [S.I.], v. 1, n. 1, p. 52–71, jan./dez. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452072116300144>. Acesso em: 26 set. 2025.

VIDEIRA, T. C. *Produção de pectinases por cultivo em estado sólido do fungo Pycnoporus sanguineus em resíduos agroindustriais*. 2021. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021.

ZHANG, D.; LIU, L.; CHEN, B. *Marine-Derived Fungi as a Valuable Resource for Amylases Activity Screening*. Journal of Fungi, Zhuhai, v. 9, n. 7, p. 736, jul. 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10381586/>. Acesso em: 10 set. 2025.

ZHANG, H. et al. *Purification and Characterization of Endogenous α -Amylase from Glutinous Rice Flour*. Foods, Zhengzhou, v. 4, n. 10, e. 1679, mai. 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12110810/>. Acesso em: 15 set. 2025.

ZHENG, F. et al. *Hydrolysis Mechanism of Multimodular Endoglucanases with Distinctive Domain Composition in the Saccharification of Cellulosic Substrates*. Biomacromolecules, Beijing, v. 25, n. 9, p. 6007-6016, ago. 2024. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.biomac.4c00660>. Acesso em: 14 set. 2025.