



## **UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR**

Recredenciada pela Portaria – MEC n.º 747, de 10/09/2020 – D.O.U. 11/09/2020

**Mantenedora: UNIPAR – SOCIEDADE EMPRESARIAL LTDA.**

**Coordenação de Pós-Graduação *Stricto Sensu* e Pesquisa**

**Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura**

**Raffaella Gobo Otávio da Silva**

**Potencial funcional de extratos miceliais de *Panus strigellus*: efeito do solvente sobre atividades antioxidante, fotoprotetora e inibitória enzimática**

**Umuarama  
2026**

**Raffaella Gobo Otávio da Silva**

**Potencial funcional de extratos miceliais de *Panus strigellus*: efeito do solvente sobre atividades antioxidante, fotoprotetora e inibitória enzimática**

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do grau de mestre em Biotecnologia Aplicada à Agricultura pela Universidade Paranaense - UNIPAR.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Juliana Silveira do Valle

Umuarama  
2026

### Ficha Catalográfica

S586p Silva, Raffaella Gobo Otávio da.  
Potencial funcional de extratos miceliais de *Panus strigellus*:  
efeito do solvente sobre atividades antioxidante, fotoprotetora e  
inibitória enzimática / Raffaella Gobo Otávio da Silva. –  
Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2026.  
43 f.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Juliana Silveira do Valle.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Paranaense –  
UNIPAR.

1. ABTS. 2. *Panus* sp. 3. Fungos lentinóides. 4.  
Bioprospecção. 5. Fotoproteção. 6. Micélio. I. Universidade  
Paranaense – UNIPAR. II. Título.

(21 ed.) CDD: 579.59

Bibliotecária Responsável Regiane Luiza Campaneli CRB 9/2194

**Potencial funcional de extratos miceliais de *Panus strigellus*: efeito do solvente sobre atividades antioxidante, fotoprotetora e inibitória enzimática**

Dissertação aprovada como requisito obrigatório para obtenção do Grau de Mestre no Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Universidade Paranaense – UNIPAR, pela seguinte banca examinadora:

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Camila da Silva  
Universidade Estadual de Maringá - UEM

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Graciela Iecher Faria Nunes  
Universidade Paranaense - UNIPAR

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Juliana Silveira do Valle  
Universidade Paranaense – UNIPAR

Umuarama, 10 de abril de 2026.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, à minha orientadora, a Professora Dra. Juliana Silveira do Valle, pela dedicação, competência e pelos valiosos ensinamentos transmitidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho, os quais contribuíram de forma significativa para minha formação acadêmica e científica.

Ao meu esposo, pelo apoio constante, compreensão e incentivo em todas as etapas dessa trajetória, sendo o alicerce fundamental para a conclusão deste estudo.

À minha mãe, pelo amor e apoio incondicionais, pelo incentivo permanente e por sempre acreditar no valor da minha educação.

Aos meus colegas de trabalho, pela colaboração, compreensão e, especialmente, pelas trocas de plantão que viabilizaram minha dedicação às atividades acadêmicas e experimentais; agradeço pela solidariedade e pelo companheirismo demonstrados.

Às minhas primas, com quem compartilhei esta jornada acadêmica, pelo apoio mútuo e pela parceria constante ao longo do curso.

Aos colegas e alunos do Laboratório Biomol, pela convivência, colaboração científica e auxílio nas atividades desenvolvidas, essenciais para a execução desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura, à Universidade Paranaense (UNIPAR) e à CAPES, pelo apoio institucional e pela concessão da taxa, fundamentais para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta dissertação.

## SUMÁRIO

RESUMO	06
ABSTRACT	08
CAPÍTULO I	10
INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS	13
Material biológico	13
Preparo do inóculo	13
Cultivo em meio líquido para produção de biomassa micelial	13
Recuperação e processamento da biomassa micelial	14
Preparação de extratos miceliais	14
Determinação do teor de fenóis totais	15
Determinação do teor de flavonoides totais	15
Determinação da atividade antioxidante	16
Método de sequestro dos radicais livres ABTS•+	16
Método de poder redutor de íon férrico (FRAP)	16
Atividade fotoprotetora	17
Determinação do fator de proteção solar	17
Determinação da razão UVA/UVB	17
Avaliação do potencial de inibição enzimática	18
Atividade inibitória da tirosinase	18
Atividade inibitória da $\alpha$ -glicosidase	19
Atividade inibitória da acetilcolinesterase	20
Análise estatística	21
RESULTADOS	22
Quantificação de fenóis e flavonoides totais	23
Atividade fotoprotetora	24
Fator de Proteção Solar (FPS)	24
Razão UVA/UVB	25
Atividade de inibição da tirosinase	26
Atividade de inibição da $\alpha$ -glicosidase	27
Atividade de inibição da acetilcolinesterase (AChE)	28
DISCUSSÃO	29
Produção da biomassa	29
Perfil de fenóis e flavonoides	30
Potencial antioxidante	31
Atividade fotoprotetora	32
Inibição da tirosinase	33
Inibição da $\alpha$ -glicosidase e acetilcolinesterase	35
CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	37

**Potencial funcional de extratos miceliais de *Panus strigellus*: efeito do solvente sobre atividades antioxidante, fotoprotetora e inibitória enzimática**

RESUMO: O filo Basidiomycota abriga uma ampla diversidade de fungos com reconhecido potencial biotecnológico, especialmente pela capacidade de produzir metabólitos secundários bioativos. Entre essas espécies, *Panus strigellus* destaca-se como um basidiomiceto neotropical nativo, com ocorrência em biomas brasileiros e potencial ainda pouco explorado do ponto de vista químico e funcional. Apesar de evidências recentes indicarem a presença de compostos bioativos em sua biomassa, há uma lacuna na compreensão de como fatores de processamento, como a polaridade do solvente, influenciam a extração e o perfil biológico desses metabólitos. Nesse contexto, este estudo investigou o potencial funcional do micélio de *P. strigellus* (linhagem U16-7), com ênfase no efeito da polaridade do solvente sobre a recuperação de compostos bioativos e suas atividades antioxidante, fotoprotetora e inibitória enzimática. O micélio foi obtido por cultivo submerso e submetido à extração com solventes de diferentes polaridades (água, etanol 80% e metanol 80%), seguida de concentração dos extratos. A caracterização biológica incluiu a quantificação de fenóis e flavonoides totais, a avaliação da atividade antioxidante pelos métodos FRAP (poder redutor de íon férrico) e ABTS<sup>•+</sup> (sequestro de radicais livres), a determinação do fator de proteção solar (FPS) *in vitro* e a análise do potencial de inibição das enzimas tirosinase,  $\alpha$ -glicosidase e acetilcolinesterase. A produção de biomassa micelial mostrou-se reprodutível ( $0,2399 \pm 0,02$  g por frasco), permitindo a obtenção de extratos em quantidade suficiente para as análises. Os extratos miceliais foram obtidos por rotaevaporação, resultando em amostras concentradas, porém não completamente secas, com maior massa recuperada no extrato aquoso. A polaridade do solvente influenciou o perfil funcional dos extratos. O extrato hidrometanólico apresentou o maior teor de fenóis totais ( $127,10 \pm 6,55$   $\mu$ g EAG/mg), enquanto os extratos aquoso e hidroetanólico apresentaram maiores teores de flavonoides (até  $197,20 \pm 2,36$   $\mu$ g EQ/mg). A atividade antioxidante variou conforme o método de extração empregado. No ensaio FRAP, o extrato etanólico apresentou maior capacidade redutora ( $83,50 \pm 0,22$   $\mu$ mol Fe<sup>2+</sup>/g), indicando maior eficiência na transferência de elétrons. Já no ensaio ABTS<sup>•+</sup>, os extratos hidroalcoólicos apresentaram maior capacidade de sequestro de radicais livres (IC<sub>50</sub> de 7,33 mg/mL), com desempenho superior ao do extrato aquoso. A diferença entre os ensaios sugere que os metabólitos extraídos apresentam maior afinidade por mecanismos baseados na transferência de elétrons do que pela doação de hidrogênio. A atividade fotoprotetora foi fortemente dependente do solvente e da concentração. O extrato aquoso apresentou desempenho superior, atingindo FPS máximo de 39,37 a partir de 15 mg/mL, além de elevada absorção nas regiões UVB e UVA, evidenciando potencial fotoprotetor de amplo espectro. A análise da razão UVA/UVB indicou que todos os extratos apresentaram classificação máxima de proteção anti-UVA, com valores superiores a 0,80. Quanto à atividade inibitória enzimática, observou-se forte inibição da tirosinase, especialmente com o extrato hidrometanólico, que apresentou inibição total (100%) em todas as concentrações avaliadas (1–3 mg/mL). Em contraste, os extratos apresentaram baixa ou ausente atividade frente à  $\alpha$ -glicosidase e à acetilcolinesterase nas condições testadas. De modo geral, os resultados demonstram que a polaridade do solvente é determinante para a extração seletiva de metabólitos com diferentes propriedades biológicas, influenciando diretamente o perfil funcional dos extratos miceliais de *P. strigellus*. O extrato aquoso

destacou-se pela atividade fotoprotetora, enquanto os extratos hidroalcoólicos apresentaram maior eficiência antioxidante e o extrato hidrometanólico evidenciou maior atividade antitirozinase. Esses achados reforçam o potencial do micélio de *P. strigellus* como fonte de compostos bioativos com diversas aplicações biotecnológicas, contribuindo para a valorização de espécies nativas ainda pouco exploradas.

Palavras-chave: ABTS•<sup>+</sup>. *Panus* sp. Fungos lentinóides. Bioprospecção. Fotoproteção. Micélio.

**Functional potential of *Panus strigellus* mycelial extracts: effect of solvent on antioxidant, photoprotective, and enzyme inhibitory activities**

**ABSTRACT:** The phylum Basidiomycota encompasses a wide diversity of fungi with recognized biotechnological potential, particularly due to their ability to produce bioactive secondary metabolites. Among these species, *Panus strigellus* stands out as a neotropical basidiomycete native to Brazilian biomes, with still underexplored chemical and functional potential. Although recent evidence indicates the presence of bioactive compounds in its biomass, there is a gap in understanding how processing factors, such as solvent polarity, influence the extraction and biological profile of these metabolites. In this context, this study investigated the functional potential of *P. strigellus* mycelium (strain U16-7), focusing on the effect of solvent polarity on the recovery of bioactive compounds and their antioxidant, photoprotective, and enzyme-inhibitory activities. The mycelium was obtained by submerged cultivation and extracted with solvents of different polarities (water, 80% ethanol, and 80% methanol), followed by concentration of the extracts. Biological characterization included quantification of total phenolics and flavonoids, evaluation of antioxidant activity using the FRAP (ferric reducing antioxidant power) and ABTS<sup>•+</sup> (radical scavenging) assays, in vitro sun protection factor (SPF) determination, and assessment of inhibitory activity against tyrosinase,  $\alpha$ -glucosidase, and acetylcholinesterase. Mycelial biomass production was reproducible ( $0.2399 \pm 0.02$  g per flask), enabling the obtainment of sufficient extract quantities for the analyses. The mycelial extracts were obtained by rotary evaporation, yielding concentrated but not completely dried samples, with the highest mass recovered in the aqueous extract. Solvent polarity influenced both chemical composition and biological activity. The hydro-methanolic extract showed the highest total phenolic content ( $127.10 \pm 6.55$   $\mu$ g GAE/mg), while aqueous and hydroethanolic extracts presented higher flavonoid contents (up to  $197.20 \pm 2.36$   $\mu$ g QE/mg). Antioxidant activity varied according to the extraction method. In the FRAP assay, the ethanolic extract showed the highest reducing capacity ( $83.50 \pm 0.22$   $\mu$ mol Fe<sup>2+</sup>/g), indicating greater electron-transfer efficiency. In the ABTS<sup>•+</sup> assay, hydroalcoholic extracts showed higher radical scavenging capacity (IC<sub>50</sub> of 7.33 mg/mL), outperforming the aqueous extract. These differences suggest that the extracted metabolites have a greater affinity for electron-transfer-based mechanisms than for hydrogen-donating reactions. Photoprotective activity was strongly dependent on solvent and concentration. The aqueous extract showed superior performance, reaching a maximum SPF of 39.37 at 15 mg/mL and exhibiting high absorption in both the UVB and UVA regions, indicating broad-spectrum photoprotective potential. The UVA/UVB ratio analysis indicated that all extracts exhibited maximum anti-UVA protection classification, with values above 0.80. Regarding enzymatic inhibitory activity, strong tyrosinase inhibition was observed, particularly with the hydromethanolic extract, which showed complete inhibition (100%) at all tested concentrations (1–3 mg/mL). In contrast, the extracts showed low or no activity against  $\alpha$ -glucosidase and acetylcholinesterase under the tested conditions. Overall, the results demonstrate that solvent polarity plays a determining role in the selective extraction of metabolites with different biological properties, directly influencing the functional profile of *P. strigellus* mycelial extracts. The aqueous extract showed the highest photoprotective activity, while the hydroalcoholic extracts demonstrated greater antioxidant activity, and the hydromethanolic extract demonstrated the highest anti-tyrosinase activity. These findings

reinforce the potential of *P. strigellus* mycelium as a source of bioactive compounds with diverse biotechnological applications, contributing to the valorization of still underexplored native species.

**Keywords:** ABTS•<sup>+</sup> *Panus* sp. Lentinoid fungi. Bioprospecting. Photoprotection. Mycelium.

## CAPÍTULO I

### **Potencial funcional de extratos miceliais de *Panus strigellus*: efeito do solvente sobre atividades antioxidante, fotoprotetora e na seletividade inibitória enzimática**

**RESUMO:** *Panus strigellus* é um basidiomiceto neotropical nativo com potencial biotecnológico pouco explorado, especialmente quanto à influência de fatores de processamento sobre seu perfil funcional. Este estudo avaliou o efeito da polaridade do solvente na extração de compostos bioativos do micélio de *P. strigellus* (U16-7) e em suas atividades antioxidante, fotoprotetora e inibitória enzimática. O micélio foi obtido por cultivo submerso e submetido à extração com água, etanol a 80% e metanol a 80%. Os extratos miceliais foram obtidos por rotaevaporação e por banho-maria, resultando em amostras concentradas, porém não completamente secas. Foram determinados fenóis totais e flavonoides totais, a atividade antioxidante pelos métodos FRAP (poder redutor de íon férrico) e ABTS•<sup>+</sup> (sequestro de radicais livres), o fator de proteção solar (FPS) e a inibição de tirosinase,  $\alpha$ -glicosidase e acetilcolinesterase. A polaridade do solvente influenciou significativamente o perfil dos extratos. O extrato hidrometanólico apresentou o maior teor de fenóis (127,10  $\mu\text{g}$  EAG/mg), enquanto os extratos aquoso e hidroetanólico apresentaram os maiores teores de flavonoides (até 197,20  $\mu\text{g}$  EQ/mg). No FRAP, o extrato hidroetanólico destacou-se (83,50  $\mu\text{mol}$  Fe<sup>2+</sup>/g), enquanto, no ABTS•<sup>+</sup>, os extratos hidroalcoólicos apresentaram maior atividade (IC<sub>50</sub>  $\approx$  7,33 mg/mL), sugerindo predominância de mecanismos de transferência de elétrons. O extrato aquoso apresentou maior atividade fotoprotetora (FPS de 39,38), com proteção de amplo espectro (UVA/UVB > 0,80). A inibição da tirosinase foi elevada, com destaque para o extrato hidrometanólico (100%) em todas as concentrações testadas, enquanto não houve atividade relevante de  $\alpha$ -glicosidase e acetilcolinesterase. Os resultados demonstram que a polaridade do solvente modula a recuperação de metabólitos com diferentes propriedades biológicas, evidenciando o potencial do micélio de *P. strigellus* como fonte de compostos bioativos.

Palavras-chave: *Lentinus strigellus*. Polyporales. Bioprospecção. Tirosinase. Micélio.

## INTRODUÇÃO

O filo Basidiomycota, que reúne mais de 40 mil espécies, é reconhecido pela capacidade de suas espécies de degradar materiais lignocelulósicos (Cao *et al.*, 2021) e sintetizar metabólitos secundários de interesse biotecnológico (Ghobad-Nejhad, 2023). Inserido neste grupo, o fungo neotropical *Panus strigellus* (Berk.) Overh. (Polyporales: *Polyporaceae*) foi descrito originalmente no Suriname por Berkeley (1843). Na literatura especializada, a espécie é frequentemente identificada pelo sinônimo taxonômico *Lentinus strigellus*, nomenclatura amplamente discutida em estudos sobre fungos lentinoídes no Brasil (Guimarães, 2018).

Atualmente, *P. strigellus* desperta interesse crescente devido ao seu potencial alimentício e biotecnológico (Vargas-Isla *et al.*, 2012). Sua ocorrência nativa é documentada principalmente nos biomas Amazônia e Mata Atlântica, com registros pontuais em áreas úmidas do Cerrado e Caatinga (Vargas-Isla *et al.*, 2008). Como fungo causador da podridão branca da madeira, é capaz de degradar todos os componentes da parede celular vegetal (Kirk *et al.*, 2008). Essa característica biológica, associada à elevada capacidade de adaptação à diferentes condições de cultivo, permite que a espécie seja cultivada de forma sustentável em diversos resíduos agroindustriais, como serragem de castanheira e farelo de arroz (Lacerda *et al.*, 2018). Além disso, o bagaço de cana-de-açúcar tem se mostrado um substrato promissor para seu desenvolvimento, favorecendo a produção de enzimas de interesse industrial, como as lacases (Cardoso *et al.*, 2018). Adicionalmente, a capacidade de adaptação a temperaturas elevadas, entre 35 °C e 40 °C, favorece o cultivo em regiões tropicais (Vargas-Isla *et al.*, 2008) e realça o seu potencial para aplicações que variam desde o consumo alimentar, devido ao sabor umami, até ao desenvolvimento de bioprodutos de alto valor (Vargas-Isla *et al.*, 2015).

Nesse contexto, a diversidade metabólica do *P. strigellus* tem possibilitado a identificação de compostos como a hipnofilina, destacada por sua atividade antimicrobiana (Chaves *et al.*, 2012). Investigações químicas revelaram metabólitos complexos, incluindo benzopiranos (Barros-Filho *et al.*, 2012), sesquiterpenos com atividade indutora de apoptose (Zheng *et al.*, 2009), novos lentinoídes (Vásquez *et al.*, 2018) e panapofrenantrina (Llanos-López *et al.*, 2023). Recentemente, identificou-se que a biomassa micelial é rica em compostos fenólicos com elevada capacidade antioxidante e fotoprotetora, além de demonstrar seletividade inibitória sobre a enzima tirosinase (Ribeiro, 2024). O micélio fúngico apresenta vantagens operacionais em relação aos

corpos de frutificação, como menor tempo de cultivo e maior controle das condições ambientais (Elisashvili, 2012). Essas características favorecem cultivo e ampliam o potencial para a prospecção de compostos bioativos com aplicação industrial (Badalyan *et al.*, 2022).

Do ponto de vista funcional, compostos bioativos, especialmente fenólicos, apresentam relevante atividade antioxidante ao atuarem na neutralização de radicais livres (Liberal *et al.*, 2023), o que tem impulsionado a prospecção de extratos miceliais para identificação de atividades biológicas (Niego *et al.*, 2021). Esses compostos demonstram potencial de aplicação em diferentes áreas, incluindo a cosmecêutica, com efeitos fotoprotetores e despigmentantes associados à inibição da tirosinase (Taofiq *et al.*, 2023), processo relacionado aos danos induzidos pela radiação ultravioleta (Bernerd *et al.*, 2022). Na área farmacêutica, destacam-se pelas propriedades anti-inflamatórias (Taofiq *et al.*, 2017) e imunomoduladoras (Katarzyna, 2025). No âmbito metabólico, a inibição da  $\alpha$ -glicosidase indica potencial de controle glicêmico (Gong *et al.*, 2020). Já a atividade anticolinesterásica sugere aplicações em distúrbios neurodegenerativos (Qaraghuli *et al.*, 2025), auxiliando na redução de efeitos adversos sistêmicos (Uluslu *et al.*, 2025). Tais propriedades também agregam valor funcional a matrizes alimentares (Valverde *et al.*, 2015).

Apesar dessas evidências, ainda há lacuna na exploração do micélio como fonte de compostos bioativos em comparação aos corpos de frutificação (Karunarathna *et al.*, 2025). A eficiência na obtenção desses compostos está diretamente relacionada aos métodos de extração (Azmir *et al.*, 2013). A escolha do solvente influencia a recuperação e a integridade das moléculas (Zhang *et al.*, 2018). O sistema solvente também determina a composição química e a concentração dos extratos obtidos (Sun *et al.*, 2024), reforçando a necessidade de investigar como diferentes solventes afetam o potencial biológico de extratos miceliais.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da extração com diferentes solventes sobre o potencial antioxidante, fotoprotetor e a inibição da atividade enzimática de extratos da biomassa micelial de *Panus strigellus*, visando à prospecção de insumos com aplicações biotecnológicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material biológico

A linhagem de *P. strigellus* (Berk.) Overh. U16-7 foi utilizada neste estudo. O microrganismo encontra-se preservado na Coleção de Culturas do Laboratório de Biologia Molecular da Universidade Paranaense (UNIPAR), Campus Sede, Umuarama, Paraná. Em conformidade com a legislação vigente, o acesso ao patrimônio genético foi devidamente registrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), sob o número AF1FC65.

### Preparo do inóculo

Para o preparo do inóculo, a linhagem de *P. strigellus* foi reativada e cultivada em placas de Petri contendo meio ágar-extrato de malte (AEM) a 2% (w/v). As culturas foram incubadas em estufa microbiológica a  $28 \pm 1$  °C, na ausência de luz, por 7 dias ou até a colonização total da placa.

Após o período de incubação, foram selecionadas colônias com crescimento micelial homogêneo e sem sinais de setoriamento ou de contaminação. Três discos de ágar-micelial, com 6 mm de diâmetro cada, foram removidos das bordas da colônia (zona de crescimento ativo) e transferidos para meios de cultivo líquido destinados à produção de biomassa micelial (Cardoso *et al.*, 2018).

### Cultivo em meio líquido para produção de biomassa micelial

O cultivo para produção de biomassa micelial foi realizado em estado líquido (submerso). Para tanto, foram utilizados 90 frascos Erlenmeyer de 250 mL, contendo 100 mL de meio de cultura Extrato de Malte (EM) a 2% (w/v) (Halabura *et al.*, 2023). Cada frasco foi inoculado assépticamente com três discos de ágar-micelial (6 mm de diâmetro), obtidos conforme descrito na seção anterior.

Os frascos foram incubados em estufa microbiológica a  $28 \pm 1$  °C, em regime de escuro total e condição estática (sem agitação), por um período de 21 dias. A utilização deste elevado número de unidades experimentais visou garantir a obtenção de massa micelial suficiente para as etapas subsequentes de extração.

## **Recuperação e processamento da biomassa micelial**

Ao término do período de incubação (21° dia), a biomassa micelial foi separada do meio de cultivo por filtração (papel Whatman n° 1). O material foi, então, submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a  $60 \pm 2$  °C, até atingir massa constante, processo que ocorreu em aproximadamente sete dias.

Após a secagem, a biomassa desidratada foi pesada em balança analítica para determinação da biomassa seca total. Visando mitigar a degradação térmica ou oxidativa de metabólitos secundários sensíveis durante a fragmentação, as amostras foram submetidas ao congelamento instantâneo em nitrogênio líquido. O material foi então triturado em almofariz e pistilo de porcelana até à obtenção de um pó de granulometria fina e homogênea. O micélio pulverizado foi armazenado sob refrigeração (-20 °C) até à preparação dos extratos.

## **Preparação de extratos miceliais**

As extrações foram realizadas utilizando solventes de polaridades distintas: água destilada, etanol (80%) e metanol (80%), conforme delineamento adaptado de Liberal *et al.* (2023). Para cada condição, 3 g da biomassa micelial pulverizada foram homogeneizados com 30 mL do respectivo solvente (proporção sólido-líquido de 1:10 m/v). A extração foi realizada em duas etapas sucessivas de 15 mL cada para favorecer o esgotamento da matriz.

As misturas foram mantidas em banho a 50 °C por 45 min e, em seguida, centrifugadas a 120 rpm por 20 min para a separação das fases. Os sobrenadantes foram recolhidos e concentrados em evaporador rotativo (Modelo TE-211, Tecnal, Brasil) sob pressão reduzida a 45 °C. Para assegurar a eliminação de traços de solventes orgânicos voláteis, os extratos foram submetidos a uma etapa complementar de redução volumétrica em banho-maria a 45 °C por 5 dias.

Os extratos brutos concentrados foram transferidos para microtubos devidamente protegidos da luz e armazenados em freezer a -20 °C. Para a execução dos ensaios biológicos, alíquotas dos extratos foram solubilizadas em solventes compatíveis (etanol 80%, ou DMSO 50%), conforme a especificidade de cada protocolo, visando à obtenção das concentrações finais de trabalho (5; 7,5; 10; 15 e 20 mg/mL).

### **Determinação do teor de fenóis totais**

A determinação do teor de fenóis totais foi realizada pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). Para a análise, os extratos miceliais foram solubilizados em uma mistura de etanol:água (80:20 v/v), obtendo-se as concentrações finais de 5, 7,5, 10, 15 e 20 mg/mL, testadas em triplicata. O reagente Folin-Ciocalteu foi preparado a 10% (v/v) no momento da análise. Paralelamente, preparou-se uma solução de carbonato de sódio a 7,5% (m/v). O ensaio foi conduzido em placas de 96 poços, nas quais foram adicionados 20 µL de cada amostra, 155 µL do reagente Folin-Ciocalteu a 10% e 125 µL da solução de carbonato de sódio. A quantificação dos compostos foi realizada por meio de uma curva padrão de ácido gálico, preparada nas concentrações de 0, 10, 20, 40, 60, 80 e 100 µg/mL. Após o período de incubação, as leituras de absorbância foram registradas a 760 nm (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA) e os resultados finais foram expressos em µg de equivalentes de ácido gálico por miligramas de extrato (µg EAG/mg).

### **Determinação do teor de flavonoides totais**

A determinação do teor de flavonoides totais foi realizada pelo método colorimétrico do cloreto de alumínio ( $AlCl_3$ ) (Alves e Kubota, 2013). Para a análise, os extratos miceliais foram solubilizados em uma mistura de etanol:água (80:20 v/v) nas concentrações de 5; 7,5; 10 e 15 mg/mL, analisadas em triplicata.

O ensaio foi conduzido em placas de 96 poços, onde foram misturados 150 µL de cada amostra com 150 µL de solução de  $AlCl_3$  a 2% (m/v) etanol 80%. Como controle analítico, utilizou-se o solvente em substituição à amostra. As reações foram mantidas à temperatura ambiente por 10 minutos, ao abrigo da luz. A absorbância foi determinada em leitor de microplacas (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA) a 425 nm. A quantificação foi realizada por meio de uma curva de calibração de quercetina (5 a 40 µg/mL), e os resultados foram expressos em microgramas de equivalentes de quercetina por miligrama de extrato (µg EQ/mg).

## Determinação da atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada empregando-se os extratos miceliais, sendo conduzida pelos métodos de sequestro de radicais livres ABTS<sup>•+</sup> (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolína-6-sulfonato) e do poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP).

### *Método de sequestro dos radicais livres ABTS<sup>•+</sup>*

A capacidade de sequestro do radical livre ABTS<sup>•+</sup> foi determinada conforme a metodologia descrita por Rufino *et al.* (2007). O radical foi gerado a partir da reação de 5 mL de uma solução estoque de ABTS [2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolína-6-sulfonato)] a 7 mM com 0,088 mL de persulfato de potássio a 140 mM. A mistura foi mantida em repouso, no escuro, a 25 °C por 16 h para estabilizar do radical. Previamente ao ensaio, a absorvância da solução de ABTS<sup>•+</sup> foi ajustada a  $0,70 \pm 0,05$  a 734 nm, por meio de diluição em solução hidroetanólica (etanol:água, 80:20 v/v).

As reações foram conduzidas em microplacas, mediante a mistura de 290 µL da solução de ABTS<sup>•+</sup> com 10 µL dos extratos miceliais, previamente diluídos em etanol a 80% nas concentrações de 5, 7,5, 10, 15 e 20 mg/mL. As amostras foram mantidas no escuro, à temperatura ambiente, por 30 min.

Decorrido o tempo de incubação, a absorvância foi determinada a 734 nm em um leitor de microplacas (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA). A atividade antioxidante foi expressa como a concentração inibitória mínima necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical (IC<sub>50</sub>), calculada por meio de regressão linear a partir da curva de inibição percentual versus concentração da amostra.

### *Método de poder redutor de íon férrico (FRAP)*

A atividade antioxidante total foi determinada pelo método FRAP (Rufino *et al.*, 2006). O reagente FRAP foi preparado pela mistura de 25 mL de tampão acetato (0,3 M; pH 3,6), 2,5 mL de solução de TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina, 10 mM) em HCl (40 mM) e 2,5 mL de cloreto férrico (FeCl<sub>3</sub> 6H<sub>2</sub>O 20 mM).

A curva de calibração foi construída utilizando sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O) em concentrações variando de 500 a 2000 µM. O ensaio foi conduzido em microplacas de 96 poços, nas quais foram adicionados 10 µL dos padrões ou dos extratos miceliais (nas

concentrações de 5; 7,5; 10; 15 e 20 mg/mL) a 290  $\mu$ L do reagente FRAP. As misturas foram incubadas a 35  $^{\circ}$ C por 30 minutos, protegidas da luz.

A leitura da absorbância foi realizada a 595 nm em um leitor de microplacas (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA). Os resultados foram expressos em micromoles de equivalentes de sulfato ferroso por miligrama de extrato ( $\mu$ mol  $\text{Fe}^{2+}$ /mg).

### **Atividade fotoprotetora**

#### *Determinação do fator de proteção solar*

A determinação do fator de proteção solar (FPS) *in vitro* foi realizada conforme Oliveira *et al.* (2021), utilizando-se os extratos diluídos em etanol a 80% nas concentrações de 5, 10, 15 e 20 mg/mL. Para cada diluição, foram colocados 300  $\mu$ L de extrato em triplicata nos poços. As leituras de absorbância foram realizadas em leitor de microplacas (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA), no intervalo de 290 a 320 nm, com incrementos de 5 nm. O etanol a 80% foi empregado como controle analítico.

O cálculo do valor do FPS foi baseado na Equação 1:

$$FPS = CF \sum_{290}^{320} EE(\lambda)I(\lambda)|(\lambda)| \quad (1)$$

Onde CF = 10 (fator de correção),  $EE(\lambda)$  = espectro do efeito eritemal,  $I(\lambda)$  = espectro da intensidade solar,  $Abs(\lambda)$  = absorbância da amostra no comprimento de onda  $\lambda$ . Os valores de  $EE(\lambda) \times I(\lambda)$  são constantes (Mansur *et al.*, 1986).

#### *Determinação da razão UVA/UVB*

A razão UVA/UVB é a razão entre as áreas sob as curvas de absorção no espectro UVA (320–400 nm) e UVB (290–320 nm) (Wu *et al.*, 2020). Quanto mais próxima a proporção estiver da unidade, maior será a classificação de proteção anti-UVA.

O espectro de absorção de cada diluição do extrato foi determinado em triplicata, entre 290 e 400 nm, com incrementos de 5 nm, em um leitor de microplacas SpectraMax Plus 384 (Molecular Devices, EUA). O etanol foi utilizado como controle analítico. As razões UVA/UVB foram calculadas de acordo com a equação (2):

$$UVA/UVB = \frac{\int_{320}^{400} A(\lambda) d(\lambda) / \int_{320}^{400} d(\lambda)}{\int_{290}^{320} A(\lambda) d(\lambda) / \int_{290}^{320} d(\lambda)} \quad (2)$$

Onde  $A(\lambda)$  é a absorvância média em cada comprimento de onda, e  $d(\lambda)$  é o intervalo de comprimentos de onda entre as medições.

Os extratos foram classificados de acordo com os níveis de proteção anti-UVA do sistema *Boot's Star Rating* (Boots, 2008), conforme descrito na Tabela 1.

**Tabela 1.** Grau de proteção anti-UVA segundo o sistema *Boot's star rating*.

Limites UVA/UVB						
	0 – 0,2	0,21 – 0,4	0,41 – 0,6	0,61 – 0,8	0,81 – 0,9	> 0,91
Proteção anti-UVA	Baixa	Moderada	Boa	Superior	Máxima	Ultra

## Avaliação do potencial de inibição enzimática

### *Atividade inibitória da tirosinase*

A avaliação do potencial inibitório sobre a enzima tirosinase (EC 1.14.18.1) foi realizada por ensaio colorimétrico em microescala. O princípio do método fundamenta-se na capacidade dos constituintes do extrato de impedir a conversão do substrato L-DOPA (L-3,4-di-hidroxifenilalanina) em dopacromo pela enzima. Para o ensaio, os extratos miceliais foram solubilizados em dimetilsulfóxido (DMSO 50%) nas concentrações finais de 5; 7,5; 10 e 15 mg/mL.

O sistema reacional foi estabelecido em microplacas de 96 poços, utilizando-se tampão fosfato a 100 mM (pH 6,8). Em cada poço, foram adicionados 80 µL de tampão fosfato, 40 µL das soluções de extrato, seguidos da adição de 40 µL da enzima tirosinase (250 U/mL). Após uma incubação prévia a 30 °C por 15 minutos, para favorecer a interação enzima-inibidor, adicionaram-se 40 µL do substrato L-DOPA (5 mM) (Macrini *et al.*, 2009).

Uma segunda incubação foi realizada sob as mesmas condições para o desenvolvimento cromogênico do dopacromo. A leitura da absorvância foi realizada a

475 nm em um leitor de microplacas (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA). As misturas de todos os componentes reacionais, exceto o extrato, e de todos os componentes, exceto o substrato, foram utilizadas como controles analíticos. As análises foram conduzidas em triplicata e o percentual de inibição foi calculado conforme a Equação (3):

$$\%deinibição = \left( \frac{AbsC - AbsE}{AbsC} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde:  $AbsC$  = absorbância do controle sem extrato e  $AbsE$  = absorbância da amostra com extrato.

#### *Atividade inibitória da $\alpha$ -glicosidase*

A avaliação da atividade inibitória da enzima  $\alpha$ -glicosidase (EC 3.2.1.20) foi realizada conforme protocolos adaptados de Daou *et al.* (2022) e Ombra *et al.* (2022). O princípio do ensaio fundamenta-se na hidrólise do substrato *p*-nitrofenil- $\alpha$ -D-glucopiranosídeo (*p*-NPG) pela enzima, que libera o produto cromogênico *p*-nitrofenol, cuja coloração amarela é monitorada espectrofotometricamente. Os extratos miceliais foram solubilizados em DMSO 50% para a obtenção das concentrações de trabalho de 5; 7,5; 10 e 15 mg/mL.

O sistema reacional foi preparado em microplacas de 96 poços utilizando tampão fosfato 100 mM (pH 6,8). Em cada poço, foram adicionados 100  $\mu$ L de tampão fosfato, 40  $\mu$ L da solução do extrato e 20  $\mu$ L da enzima  $\alpha$ -glicosidase (1 U/mL), seguidos de incubação a 37 °C por 10 minutos para promover a interação enzima-inibidor. Posteriormente, adicionaram-se 40  $\mu$ L do substrato *p*-NPG (2 mM), procedendo-se a uma nova incubação a 37 °C por 10 minutos.

A reação foi interrompida pela adição de 200  $\mu$ L de carbonato de sódio ( $Na_2CO_3$  100 mM), que promove a alcalinização do meio e intensifica a cor do produto formado. As leituras de absorbância foram realizadas a 405 nm em um leitor de microplacas (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA). As misturas de todos os componentes reacionais, exceto o extrato, e de todos os componentes, exceto o substrato, foram utilizadas como controles analíticos. Os ensaios foram conduzidos em triplicata técnica e o percentual de inibição foi calculado conforme descrito na seção anterior (equação 3).

### *Atividade inibitória da acetilcolinesterase*

A atividade inibitória sobre a enzima acetilcolinesterase (AChE; EC 3.1.1.7) foi determinada com um kit de triagem comercial (Sigma-Aldrich, EUA), baseado no método de Ellman. O princípio do ensaio baseia-se na hidrólise do iodeto de acetiltiocolina pela AChE, resultando na formação de tiocolina. Esta, por sua vez, reage com o reagente de Ellman [ácido 5,5'-ditiobis(2-nitrobenzoico) - DTNB], produzindo o ânion 5-tio-2-nitrobenzoato, de coloração amarela, cuja intensidade é monitorada espectrofotometricamente.

Os extratos miceliais foram solubilizados em DMSO a 50% nas concentrações de trabalho de 5; 7,5; 10 e 15 mg/mL. O sistema reacional foi estabelecido em microplacas de 96 poços, pela adição de 45  $\mu$ L da AChE (400 U/L) e 5  $\mu$ L das soluções de extrato. Após incubação a 35 °C por 15 minutos, adicionaram-se 150  $\mu$ L de um mix de reagentes reacionais (tampão de ensaio, substrato e DTNB), iniciando-se a reação.

As leituras de absorbância foram realizadas a 412 nm em leitor de microplacas (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA) nos tempos 0 (T0) e 10 minutos (T10) após a adição do mix. O DMSO a 50% foi utilizado como branco para normalização dos resultados e as reações foram realizadas em triplicata. As misturas de todos os componentes reacionais, exceto o extrato, e de todos os componentes, exceto o substrato, foram utilizadas como controles analíticos. O percentual de inibição foi calculado com base na taxa de variação da absorbância ( $\Delta$ Abs) e conforme descrito anteriormente (equação 3).

### **Análise estatística**

Os ensaios destinados à produção de biomassa e as determinações biológicas foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, verificada a significância estatística ( $p \leq 0,05$ ), as médias foram comparadas e agrupadas pelo teste de Scott-Knott. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do

software Sisvar, versão 5.6 (Ferreira, 2014). Para o cálculo dos valores de  $IC_{50}$ , utilizouse análise de regressão linear.

## RESULTADOS

Após 21 dias de incubação, o rendimento volumétrico foi de  $74,37 \pm 1,50$  g/L, com biomassa seca média de  $0,2399 \pm 0,02$  g por frasco e volume de extrato de 2,4 mL por unidade experimental (Tabela 2).

**Tabela 2.** Parâmetros de cultivo de biomassa micelial de *Panus strigellus* (U16-7) após 21 dias de cultivo.

Parâmetro de cultivo	Valor médio ( $\pm$ DP)
Período de Incubação	21 dias
Biomassa seca por frasco (g)	$0,2399 \pm 0,02$
Rendimento volumétrico (g/L)	$74,37 \pm 1,50$
Volume de extrato por unidade (mL)	2,4
Proporção Massa/Volume	1:10 (m/v)

DP: desvio padrão (n = 3); m/v: relação massa/volume utilizada na extração.

Após a obtenção da biomassa, os extratos miceliais foram preparados na proporção de 1:10 (m/v) e, posteriormente, concentrados por rotaevaporação. As massas obtidas variaram conforme o solvente, sendo maiores no extrato aquoso (763 mg), seguido do hidroetanólico (339 mg) e do hidrometanólico (270 mg). Ressalta-se que os extratos não foram submetidos à secagem completa, sendo os valores expressos como massa de extrato concentrado, o que pode incluir solvente residual e compostos coextraídos.

**Tabela 3.** Massa dos extratos miceliais concentrados de *Panus strigellus* obtidos após rotaevaporação.

Extrato	Volume inicial (mL)	Massa obtida (mg)	Massa por biomassa (mg/g)
Aquoso	27	763	3180,5
Hidroetanólico	31	339	1413,1
Hidrometanólico	30,7	270	1125,5

Extratos concentrados por rotaevaporação e banho-maria, não sendo submetidos à secagem completa.

## Compostos fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante dos extratos miceliais

Os teores de compostos fenólicos e flavonoides, bem como as atividades antioxidantes dos extratos miceliais, são apresentados na Tabela 4. Os fenóis totais variaram de 94,25 a 127,10  $\mu\text{g}$  EAG/mg, enquanto os flavonoides totais variaram de 159,00 a 197,20  $\mu\text{g}$  EQ/mg.

No ensaio FRAP, os valores oscilaram entre 63,60 e 83,50  $\mu\text{mol}$   $\text{Fe}^{2+}$ /g, enquanto no ensaio ABTS $\bullet+$  os valores de  $\text{IC}_{50}$  variaram de 7,33 a 7,95 mg/mL, com diferenças significativas entre os extratos ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 4.** Teores de fenóis totais e de flavonoides, e atividades antioxidantes dos extratos miceliais de *Panus strigellus* obtidos com diferentes solventes.

Parâmetro	Aquoso	Hidroetanólico	Hidrometanólico
Fenóis totais ( $\mu\text{g}$ EAG/mg)	94,25 $\pm$ 4,46 <sup>c</sup>	108,14 $\pm$ 0,67 <sup>b</sup>	127,10 $\pm$ 6,55 <sup>a</sup>
Flavonoides totais ( $\mu\text{g}$ EQ/mg)	187,84 $\pm$ 5,89 <sup>a</sup>	197,20 $\pm$ 2,36 <sup>a</sup>	159,00 $\pm$ 1,16 <sup>b</sup>
FRAP ( $\mu\text{mol}$ $\text{Fe}^{2+}$ /g)	63,60 $\pm$ 0,32 <sup>c</sup>	83,50 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	67,63 $\pm$ 0,11 <sup>b</sup>
ABTS $\bullet+$ ( $\text{IC}_{50}$ mg/mL)	7,95 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>	7,33 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	7,34 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>

Valores expressos como média  $\pm$  desvio padrão. Fenóis totais determinados pelo método de Folin-Ciocalteu ( $\mu\text{g}$  EAG/mg) e flavonoides totais determinados pelo método do cloreto de alumínio ( $\mu\text{g}$  EQ/mg). A atividade antioxidante foi avaliada pelos métodos FRAP ( $\mu\text{mol}$   $\text{Fe}^{2+}$ /g) e ABTS $\bullet+$  ( $\text{IC}_{50}$ , mg/mL). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre os extratos ( $p \leq 0,05$ ).

## Atividade fotoprotetora

### Fator de Proteção Solar (FPS)

A atividade fotoprotetora dos extratos miceliais, expressa como fator de proteção solar (FPS), é apresentada na Tabela 5. Os valores de FPS variaram de 10,91 a 39,38, com aumento em função da concentração em todas as condições avaliadas. O extrato aquoso apresentou os maiores valores em todas as concentrações, enquanto os extratos hidroetanólico e hidrometanólico apresentaram valores intermediários, com diferenças significativas entre os tratamentos ( $p \leq 0,05$ ).

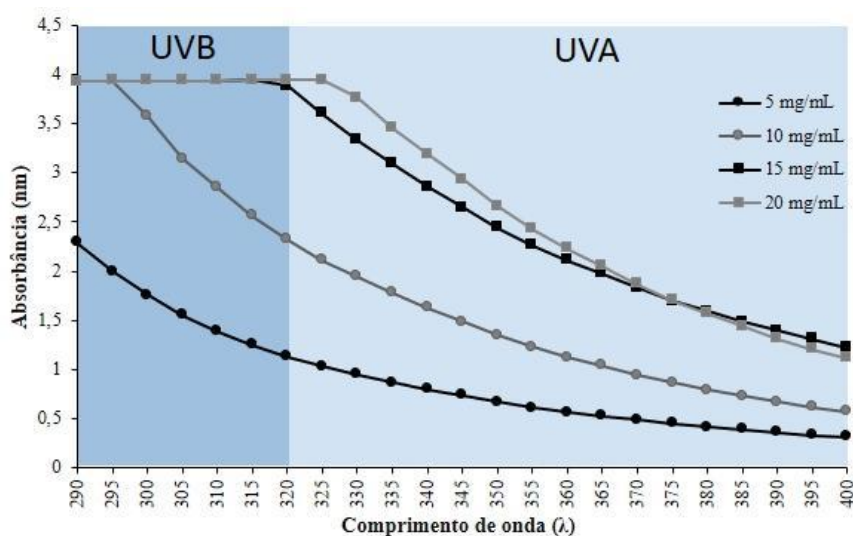
**Tabela 5.** Fator de proteção solar (FPS) dos extratos obtidos do micélio de *Panus strigellus* com diferentes soluções extratoras.

Concentração do extrato (mg/mL)	FPS		
	Aquoso	Hidroetanólico	Hidrometanólico
5	15,94 ± 0,50 <sup>cA</sup>	10,91 ± 0,77 <sup>dC</sup>	13,50 ± 0,63 <sup>dB</sup>
10	32,27 ± 0,25 <sup>bA</sup>	20,06 ± 2,03 <sup>cB</sup>	21,50 ± 0,90 <sup>cB</sup>
15	39,37 ± 0,01 <sup>aA</sup>	27,70 ± 1,05 <sup>bC</sup>	31,57 ± 0,06 <sup>bB</sup>
20	39,38 ± 0,00 <sup>aA</sup>	33,05 ± 1,57 <sup>aB</sup>	34,67 ± 1,21 <sup>aB</sup>

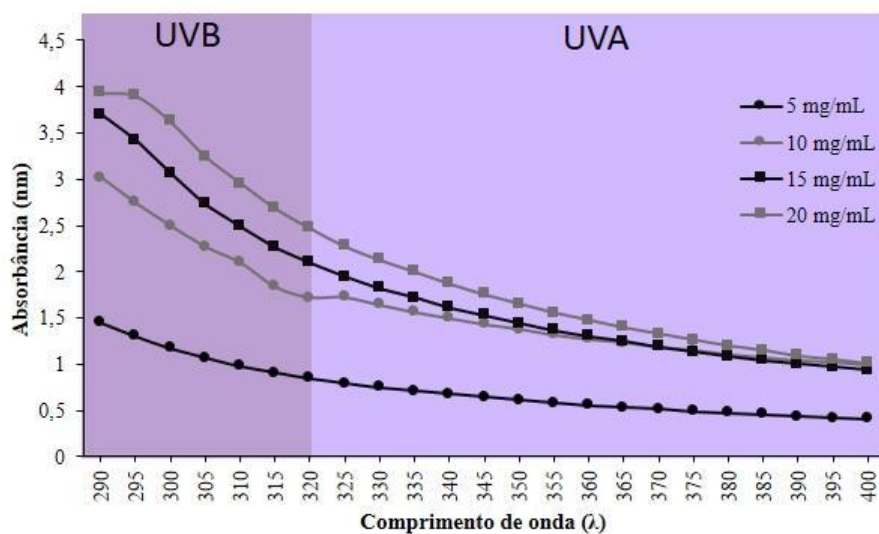
Os resultados são a média ± desvio padrão de três repetições. Letras minúsculas na mesma coluna comparam médias de FPS das diferentes concentrações de extrato. Letras maiúsculas na mesma linha comparam médias de FPS nas diferentes condições de extração. Médias indicadas por letras distintas diferem significativamente ( $p \leq 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott-Knott.

Os perfis de absorvância dos extratos miceliais na região UV (290–400 nm) estão apresentados nas Figuras 1–3. Observou-se aumento da absorvância com o incremento da concentração em todos os extratos.

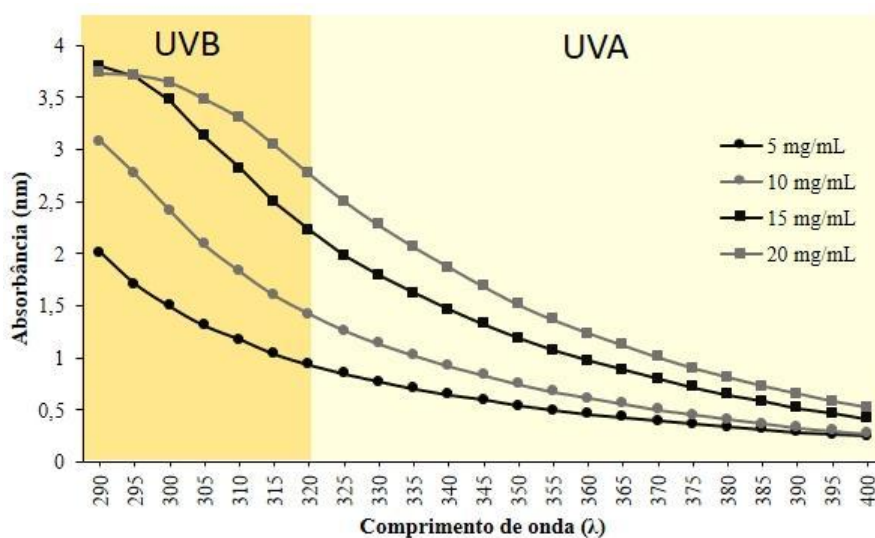
O extrato aquoso apresentou os maiores valores de absorvância, atingindo o limite de detecção do equipamento na região UVB em concentrações mais elevadas. O extrato hidroetanólico apresentou bandas de absorção mais definidas ao longo do espectro, enquanto o extrato hidrometanólico apresentou um perfil intermediário, com valores menores na região UVA.



**Figura 1.** Espectro de absorção nos comprimentos de onda da radiação ultravioleta do extrato aquoso do micélio de *Panus strigellus*. As regiões coloridas destacam as faixas UVB (290-320 nm) e UVA (320-400 nm).



**Figura 2.** Espectro de absorção nos comprimentos de onda da radiação ultravioleta do extrato etanólico do micélio de *Panus strigellus*. As regiões coloridas destacam as faixas UVB (290-320 nm) e UVA (320-400 nm).



**Figura 3.** Espectro de absorção nos comprimentos de onda da radiação ultravioleta do extrato metanólico do micélio de *Panus strigellus*. As regiões coloridas destacam as faixas UVB (290-320 nm) e UVA (320-400 nm).

#### Razão UVA/UVB

A razão UVA/UVB dos extratos miceliais está apresentada na Tabela 6. Os valores foram superiores a 0,80 em todas as condições avaliadas. O extrato etanólico apresentou maiores razões nas menores concentrações, enquanto o extrato aquoso

apresentou maiores valores nas concentrações mais elevadas. O extrato metanólico apresentou, de modo geral, os menores valores, com diferenças significativas entre os tratamentos ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 6.** Razão UVA-UVB dos extratos do micélio de *Panus strigellus* obtidos com diferentes soluções extratoras.

Extrato (mg/mL)	Aquoso		Hidroetanólico		Hidrometanólico	
	Razão UVA-UVB	Proteção anti-UVA	Razão UVA-UVB	Proteção anti-UVA	Razão UVA-UVB	Proteção anti-UVA
5	1,02 ± 0,02 <sup>bB</sup>	Ultra	1,40 ± 0,03 <sup>aA</sup>	Ultra	0,97 ± 0,02 <sup>bC</sup>	Ultra
10	1,03 ± 0,01 <sup>bB</sup>	Ultra	1,51 ± 0,10 <sup>aA</sup>	Ultra	0,84 ± 0,01 <sup>dC</sup>	Ultra
15	1,53 ± 0,13 <sup>aA</sup>	Ultra	1,30 ± 0,03 <sup>bB</sup>	Ultra	0,93 ± 0,01 <sup>cC</sup>	Ultra
20	1,62 ± 0,07 <sup>aA</sup>	Ultra	1,27 ± 0,07 <sup>bB</sup>	Ultra	1,07 ± 0,06 <sup>aC</sup>	Ultra

Os resultados são a média ± desvio padrão de três repetições. Classificação da proteção anti-UVA segundo o *Boots' star rating* (Boots, 2008). Letras minúsculas na mesma coluna comparam as médias das razões UVA/UVB das diferentes concentrações de extrato. Letras maiúsculas na mesma linha comparam as médias de razão UVA/UVB dos extratos obtidos nas diferentes condições de luminosidade. Médias indicadas por letras distintas diferem significativamente ( $p \leq 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott-Knott.

### Atividade de inibição da tirosinase

A atividade inibitória da tirosinase pelos extratos miceliais está apresentada na Tabela 7. Observou-se aumento da inibição enzimática com o incremento da concentração em todos os extratos ( $p \leq 0,05$ ). O extrato metanólico apresentou inibição máxima em todas as concentrações avaliadas, enquanto os extratos etanólico e aquoso apresentaram valores elevados e crescentes de inibição.

**Tabela 7.** Inibição da atividade de tirosinase dos extratos do micélio de *Panus strigellus* obtido com diferentes soluções extratoras.

Concentração de extrato (mg/mL)	Aquoso	Hidroetanólico	Hidrometanólico
1	83,71 ± 3,44 <sup>bb</sup>	95,40 ± 1,39 <sup>ca</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>
1,5	84,37 ± 3,10 <sup>bb</sup>	98,04 ± 1,17 <sup>ba</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>
2	86,88 ± 0,73 <sup>bc</sup>	98,98 ± 0,13 <sup>bb</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>
3	96,68 ± 0,48 <sup>ab</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>

Os resultados são a média ± desvio padrão de três repetições. Médias indicadas por letras diferentes diferem significativamente ( $p \leq 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras minúsculas na mesma coluna comparam as médias de inibição nas diferentes concentrações de extrato. Letras maiúsculas na mesma linha comparam as médias de inibição em diferentes condições de extração.

#### Atividade de inibição da $\alpha$ -glicosidase

A inibição da  $\alpha$ -glicosidase pelos extratos miceliais é apresentada na Tabela 8. Não foi observada inibição significativa para os extratos aquosos e hidroetanólicos até a concentração de 1,00 mg/mL. Na maior concentração avaliada, o extrato hidrometanólico apresentou maior atividade inibitória, com diferença significativa em relação aos demais extratos ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 8.** Inibição da atividade da  $\alpha$ -glicosidase em extratos do micélio de *Panus strigellus* obtidos com diferentes soluções extratoras.

Concentração de extrato (mg/mL)	Aquoso	Hidroetanólico	Hidrometanólico
0,50	nd	nd	nd
0,75	nd	nd	nd
1,00	nd	nd	7,55 ± 0,57 <sup>b</sup>
1,50	6,13 ± 0,94 <sup>b</sup>	5,30 ± 0,36 <sup>b</sup>	25,41 ± 0,07 <sup>a</sup>

Os resultados são a média ± desvio padrão de três repetições. Médias indicadas por letras diferentes diferem significativamente ( $p \leq 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott-Knott. Nd = não detectado.

**Atividade de inibição da acetilcolinesterase (AChE)**

Sob as condições experimentais testadas e nas concentrações avaliadas (0,125 a 0,375 mg/mL), os extratos aquoso, etanólico e metanólico não demonstraram atividade inibitória sobre a AChE.

## DISCUSSÃO

O presente estudo investigou, pela primeira vez, a influência de diferentes soluções extratoras sobre o teor de fenóis e flavonoides, a atividade antioxidante, fotoprotetora e capacidade de inibição enzimática do micélio do fungo *P. strigellus*.

### Produção da biomassa

Devido à escassez de estudos do potencial biotecnológico do micélio de *P. strigellus*, a presente discussão toma como referência comparativa primária os achados de Ribeiro (2024). Tal escolha fundamenta-se no fato de que ambos os estudos avaliaram a mesma linhagem de *P. strigellus* e há similaridade nos delineamentos experimentais, o que viabiliza uma análise comparativa da produção de biomassa micelial e do perfil de bioatividade.

A produção de biomassa micelial obtida no presente estudo apresentou massa média de 0,2399 g, valor consistente com os 0,304 g reportados por Ribeiro (2024), indicando um padrão semelhante do cultivo submerso para *P. strigellus*. Esta produtividade é corroborada por estudos com outros basidiomicetos de referência, como o *Lentinus crinitus*, da mesma família, que apresentou biomassa de 0,33 g quando cultivado em condições sem luz (Halabura *et al.*, 2023). Além disso, a quantidade de biomassa obtida mostrou-se suficiente para a produção de extratos miceliais em escala laboratorial, permitindo a condução dos ensaios de bioatividade. Ressalta-se que os extratos foram obtidos na forma concentrada, o que pode influenciar a massa recuperada, especialmente em sistemas extrativos mais polares, como observado no extrato aquoso.

A estabilidade verificada entre as repetições do atual estudo reforça que o ambiente controlado permitiu maior padronização, minimizando as flutuações metabólicas típicas de espécimes coletados na natureza (Qaraghuli *et al.*, 2025). Essa previsibilidade produtiva é um requisito importante para a viabilidade industrial, garantindo o fornecimento sustentável de bioprodutos (Karunarathna *et al.*, 2025)

Além do rendimento da biomassa, a eficiência do sistema de cultivo submerso também se refletiu na complexidade química dos extratos obtidos. Conforme revisado por Hapuarachchi *et al.* (2021), fungos da família Polyporaceae, a qual o *P. strigellus*

pertence, apresentam plasticidade metabólica, onde o emprego de meios líquidos permite a produção padronizada de fenóis e flavonoides com propriedades bioativas superiores às encontradas em corpos de frutificação. Essa capacidade de bioconversão é uma característica distintiva da ordem Polyporales, reconhecida por sua aptidão em sintetizar antioxidantes de alto valor para aplicações industriais e farmacêuticas (Quintero-Cabello *et al.*, 2021).

### **Perfil de fenóis e flavonoides**

A caracterização do potencial bioativo da linhagem U16-7 de *P. strigellus* evidenciou elevada presença de compostos fenólicos e flavonoides, com teores de até 127,10 µg EAG/mg e 197,20 µg EQ/mg, respectivamente. Esses resultados indicam alta eficiência na recuperação de compostos polares, possivelmente associada à afinidade dos solventes utilizados por metabólitos hidrossolúveis.

Um aspecto relevante observado é que os teores totais de flavonoides são numericamente superiores aos de fenóis totais. Esta discrepância reflete tanto as características metodológicas dos ensaios empregados quanto à composição química do micélio. O método de Folin–Ciocalteu avalia a capacidade redutora global do extrato, sendo mais sensível a fenóis simples e compostos de baixo peso molecular, enquanto o método do cloreto de alumínio quantifica metabólitos capazes de formar complexos estáveis com íons  $Al^{3+}$ , como flavonoides e outros compostos aromáticos conjugados (Ferreira *et al.*, 2009; Heleno *et al.*, 2015). Em basidiomicetos, a produção de metabólitos secundários é frequentemente direcionada para policetídeos, pigmentos fenólicos de alto peso molecular e melaninas. Estas estruturas possuem elevada capacidade de formar complexos estáveis com íons metálicos ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) por meio de grupos doadores de elétrons, mas podem apresentar reatividade limitada no ensaio de Folin–Ciocalteu, resultando em valores de equivalentes de quercetina mais elevados (Barros *et al.*, 2009).

Estes resultados encontram sustentação na literatura, uma vez que fatores como a composição do meio, a fonte de nitrogênio e o tempo de incubação em cultivo submerso influenciam a síntese de compostos fenólicos em basidiomicetos comestíveis e medicinais (Heleno *et al.*, 2015).

## Potencial antioxidante

No que se refere ao potencial antioxidante, os extratos de *P. strigellus* apresentaram elevada capacidade redutora no ensaio FRAP, com destaque para o extrato hidroetanólico ( $83,50 \pm 0,12 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$  valor superior ao reportado por Ribeiro (2024) para a mesma espécie ( $10,13 \pm 0,13 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ ), também obtido com extrato hidroetanólico. Essa diferença pode estar associada às etapas de processamento do extrato, uma vez que, no presente estudo, foi empregada concentração por rotaevaporação, enquanto no estudo de Ribeiro (2024) não houve essa etapa, o que pode influenciar a concentração dos compostos bioativos e, conseqüentemente, a atividade redutora observada.

Esta eficiência em sistemas hidroalcoólicos é frequentemente observada em Basidiomicetos, uma vez que misturas de água e álcool otimizam a solubilização de polifenóis complexos e outros compostos de polaridade intermediária. De acordo com Chu *et al.* (2022), a utilização de métodos otimizados e a seletividade de sistemas de solventes demonstram que a interação entre diferentes polaridades é capaz de extrair mais compostos fenólicos com potenciais redox favoráveis. Este fenômeno corrobora os altos valores de FRAP observados em *P. strigellus*, indicando capacidade de doação de elétrons e de redução de complexos metálicos. Adicionalmente, Cruz-Félix *et al.* (2023) reforçam que o cultivo submerso de linhagens da família Polyporaceae potencializa a concentração de metabólitos secundários. Essa estratégia valida o micélio como uma fonte de bioprodutos com potencial antioxidante comparável aos extratos de corpos de frutificação, conforme corroborado pela revisão de Ghobad-Nejhad *et al.* (2022) sobre a biotecnologia de basidiomicetos.

A capacidade antioxidante de *P. strigellus* foi confirmada no ensaio ABTS<sup>•+</sup>. Os extratos hidroetanólico e hidrometanólico apresentaram IC<sub>50</sub> de 7,33 e 7,34 mg/mL, respectivamente, valores inferiores ao reportado por Ribeiro (2024) para extrato hidroetanólico da mesma espécie ( $50,41 \pm 1,19 \text{ mg/mL}$ ). Esses resultados sugerem maior capacidade de neutralização do radical ABTS<sup>•+</sup>, possivelmente associada à maior concentração de compostos antioxidantes, bem como às diferenças nas condições de extração e processamento dos extratos.

O potencial antioxidante da linhagem U16-7 de *P. strigellus* apresenta desempenho que permite sua aplicação em diversas situações industriais, atuando como um conservante natural estratégico na indústria de alimentos. Conforme sugerido por

Berger e Ersoy (2022), o uso de basidiomicetos em processos alimentares visa a proteção contra a oxidação lipídica e o desenvolvimento de produtos com rótulo limpo (*clean label*). Da mesma forma, esse perfil oxidativo é relevante para a biotecnologia ambiental, auxiliando o fungo no combate ao stresse gerado durante a biodegradação de plásticos, conforme detalhado por Giouroukou *et al.* (2026).

A eficácia antioxidante observada nos ensaios com a linhagem U16-7, evidenciada pela expressiva redução do IC<sub>50</sub> para patamares de 7,33 mg/mL, funciona como um indicativo direto de um potencial metabólico mais amplo e complexo. Esta capacidade de neutralização de radicais livres sugere uma síntese de compostos bioativos que apresentam implicações diretas para a inovação farmacêutica. De acordo com Sum *et al.* (2023), a investigação de espécies nativas das Américas, como o *P. strigellus*, é uma etapa crucial para a identificação de novas moléculas que ainda permanecem subestimadas na literatura científica global.

Nesse sentido, a elevada capacidade de captura de radicais registrada neste estudo valida o uso desta espécie como recurso natural com múltiplas aplicações. Além das propriedades medicinais, essa eficiência redox permite a exploração da linhagem em múltiplas frentes, incluindo a síntese de bioaromas e outros compostos de valor agregado para a indústria, conforme as perspectivas apontadas por Sandes *et al.* (2024). O aproveitamento integral dessas propriedades para o desenvolvimento de bioprodutos, a partir de linhagens preservadas em coleções de culturas, é corroborado pelas análises de Psurtseva *et al.* (2023). Assim, os resultados aqui apresentados posicionam o *P. strigellus* como um produto natural estratégico para a bioeconomia ao mesmo tempo em que contribui para a valorização da biodiversidade de fungos nativos brasileiros (Ghobad-Nejhad *et al.*, 2023).

### **Atividade fotoprotetora**

A polaridade do solvente influenciou a atividade fotoprotetora do micélio de *P. strigellus*. O extrato aquoso destacou-se, apresentando FPS de 39,38 na concentração de 20 mg/mL, valor aproximadamente três vezes superior ao reportado por Ribeiro (2024), que obteve desempenho semelhante (FPS de 39,34) apenas em concentrações iguais ou superiores a 60 mg/mL. Essa diferença pode estar associada às etapas de processamento dos extratos, uma vez que, no presente estudo, foi empregada concentração por

rotaevaporação, ao passo que Ribeiro (2024) utilizou extratos fluidos. A concentração do extrato pode favorecer o enriquecimento de compostos com capacidade de absorção na região do UV, como os fenólicos, contribuindo para o aumento do FPS observado.

Além da comparação intraespecífica, os resultados superam os achados de Wontcheu Fotso *et al.* (2023), que observaram um FPS de 2,41 em extratos brutos de *Inonotus obliquus*. O fato de *P. strigellus* atingir um FPS próximo a 40 indica uma elevada densidade de moléculas fotorreceptoras. De acordo com Paterska *et al.* (2024), essa elevada capacidade fotoprotetora é atribuída a compostos fenólicos que atuam como filtros de banda larga, absorvendo a radiação ultravioleta e protegendo as estruturas celulares contra o fotoenvelhecimento.

O teor de compostos fenólicos, especialmente nos extratos aquoso e etanólico, explica a maior capacidade de absorção da radiação ultravioleta observada nos ensaios de varredura (Kähkönen *et al.*, 1999). Ribeiro (2024) identificou ácidos fenólicos, como benzoico, gálico e protocatecuico, no extrato hidroalcoólico micelial de *P. strigellus*. Compostos fenólicos e flavonoides atuam absorvendo a radiação ultravioleta e dissipando a energia capturada na forma de calor (Saewan; Jimtaisong, 2013), o que justifica os valores de FPS que atingiram o limite de detecção do método nas maiores concentrações do extrato aquoso (Tabela 4).

Além da significativa absorção na faixa UVB, a razão UVA/UVB de 1,62 obtida para o extrato aquoso a 20 mg/mL (Tabela 5) e os índices satisfatórios do extrato etanólico demonstram proteção de amplo espectro. Essa amplitude da absorção UV correlaciona-se à presença de compostos como os ácidos p-cumárico, benzoico, gálico e protocatecuico, reportados para esta linhagem por Ribeiro (2024). Tais compostos possuem estruturas aromáticas conjugadas a grupos carbonila que possibilitam a captura da radiação UV e sua dissipação (Baker *et al.*, 2017).

### **Inibição da tirosinase**

*P. strigellus* demonstrou elevado potencial de inibição da tirosinase. O extrato metanólico apresentou inibição total (100%) nas concentrações de 1 a 3 mg/mL, enquanto Ribeiro (2024) reportou atividade inferior para a mesma espécie. Esse resultado sugere maior eficácia do extrato obtido no presente estudo, possivelmente associada às condições de extração e à concentração dos metabólitos bioativos. Resultados comparáveis também

foram observados em outros basidiomicetos, como *Lentinus squarrosulus* e *Lentinus edodes*, cujos hidrolisados proteicos atingiram até 77% de inibição mesmo após ultrafiltração (Kriangkrai *et al.*, 2024).

Esta eficácia máxima pode estar associada tanto à estratégia de solubilização do extrato quanto à biologia da linhagem. O uso do DMSO garantiu a biodisponibilidade de metabólitos secundários complexos, típicos de basidiomicetos (McGregor *et al.*, 2022). Além de sua alta capacidade de solubilização, o DMSO mimetiza ambientes de proteção contra o estresse oxidativo, papel já observado no metabolismo de diversos fungos e microrganismos (Carrion *et al.*, 2023). Ademais, a redissolução padronizada em DMSO após a rotaevaporação mitigou interferências de solventes voláteis residuais, garantindo que a bioatividade seja reflexo direto dos metabólitos do micélio (Bahammam *et al.*, 2024).

A inibição total da tirosinase observada sugere que o extrato contém moléculas com elevada afinidade pelo sítio ativo da enzima. A presença de compostos fenólicos permite que a eficácia mude de um bloqueio parcial para inibição total da atividade enzimática (Ning *et al.*, 2025). Esse desempenho superior pode ser corroborado pela presença do ácido benzoico identificada em *P. strigellus* U16-7 (Ribeiro, 2024). Segundo Torres-Benítez *et al.* (2024), este composto pode atuar como um inibidor competitivo ao se ligar aos íons de cobre no sítio catalítico, impedindo a conversão da L-DOPA em dopaquinona. Embora o perfil dos constituintes sugira esse mecanismo de competição, é importante ressaltar que não foram conduzidos ensaios cinéticos específicos para determinar experimentalmente do tipo de inibição (competitiva, não competitiva ou mista) dos extratos testados.

A provável sinergia entre o ácido benzoico e outros fenóis de *P. strigellus* supera a atividade dos compostos isolados descritos em outras espécies medicinais (Wang *et al.*, 2023), posicionando o extrato de *P. strigellus* como insumo com aplicações na indústria cosmética (Badalyan *et al.*, 2022). A elevada seletividade para tirosinase, consolida estes extratos como bioprodutos de alto valor biotecnológico, com potencial para oferecer proteção solar e tratamento de hiperpigmentação de forma simultânea (Karunarathna *et al.*, 2025).

### **Inibição da $\alpha$ -glicosidase e acetilcolinesterase**

No que tange às atividades enzimáticas relacionadas ao metabolismo glicêmico e ao sistema colinérgico, a linhagem U16-7 de *P. strigellus* apresentou baixa capacidade inibitória, de forma dose-dependente, frente à  $\alpha$ -glicosidase. A inibição foi observada apenas em concentrações iguais ou superiores a 1,00 mg/mL, com destaque para o extrato metanólico, que atingiu 25,41% na maior concentração testada (1,50 mg/mL). Em contraste, os extratos aquoso e etanólico apresentaram baixa atividade e valores semelhantes entre si (6,13% e 5,30%, respectivamente). Esses resultados sugerem que os compostos com potencial hipoglicemiante presentes nesta linhagem têm maior afinidade por solventes de polaridade intermediária, como o metanol.

Este resultado corrobora a tese de Liberal *et al.* (2023), que sugere a eficácia antidiabética em fungos depende de perfis polifenólicos de alto peso molecular, como taninos, que podem não estar presentes no micélio cultivado sob as condições deste estudo. Adicionalmente, Zhang *et al.* (2024) observaram que a presença predominante de ácidos fenólicos simples, como o ácido benzoico identificado em *P. strigellus*, apresenta afinidade preferencial por enzimas oxidativas (tirosinase), em detrimento de hidrolases.

A avaliação frente à acetilcolinesterase (AChE) não revelou potencial para inibição da enzima, sugerindo que, nas condições de cultivo avaliadas, favoreceram rotas metabólicas relacionadas à defesa oxidativa e proteção contra radiação, sem impactar vias metabólicas associadas à produção de inibidores eficazes da  $\alpha$ -glicosidase e acetilcolinesterase.

Portanto, a linhagem U16-7 apresenta potencial biotecnológico, com características químicas para a fotoproteção e controle da melanogênese.

## CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a linhagem U16-7 de *P. strigellus* apresenta potencial como fonte de metabólitos bioativos, com perfil funcional influenciado pela polaridade do solvente de extração. O cultivo micelial submerso mostrou-se eficiente e reprodutível. Observou-se que diferentes solventes direcionam atividades específicas: maior fotoproteção no extrato aquoso, maior capacidade antioxidante nos extratos hidroalcoólicos e maior inibição da tirosinase no extrato hidrometanólico, enquanto não foi observada atividade relevante frente à  $\alpha$ -glicosidase e à acetilcolinesterase. Em conjunto, os dados evidenciam o potencial biotecnológico do micélio de *P. strigellus*, especialmente para aplicações em fotoproteção, no controle do estresse oxidativo e na modulação da melanogênese. Estudos futuros são necessários para a identificação dos metabólitos responsáveis e a elucidação dos mecanismos de ação.

**REFERÊNCIAS**

- ALVES, E.; KUBOTA, E.H. Conteúdo de fenólicos, flavonoides totais e atividade antioxidante de amostras de própolis comerciais. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 34, n. 1, 2013.
- BADALYAN, S. M.; BARKHUDARYAN, A.; RAPIOR, S. Medicinal Macrofungi as Cosmeceuticals: A Review. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 24, n. 4, p. 1-13, 2022.
- BAHAMMAM, H. A. *et al.* Antimicrobial Activity of Nanozirconium Oxide. **ACS Omega**, v. 9, n. 3, p. 2945–2952, 2024.
- BAKER, L. A. *et al.* Photoprotection: extending lessons learned from studying natural sunscreens to the design of artificial sunscreen constituents. **Chemical Society Reviews**, v. 46, n. 12, p. 3770-3791, 2017.
- BARROS, L. *et al.* Effects of conservation treatment and cooking on the chemical composition and antioxidant activity of Portuguese wild edible mushrooms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 11, p. 4781-4790, 2009.
- BARROS-FILHO, B. A. *et al.* Benzopyrans and other constituents from the mushrooms of the genus *Panus*. **Journal of Natural Products**, v. 75, n. 6, p. 1120-1125, 2012.
- BERGER, R. G.; ERSOY, A. Basidiomycota in food processes: Oxidation protection and clean label strategies. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 106, n. 4, p. 1325-1338, 2022.
- BERKELEY, M. J. XLV. Notices of Fungi in the Herbarium of the British Museum. **Journal of Natural History**, v. 10, n. sup66, p. 369-385, 1843.
- BERNERD, Françoise *et al.* The damaging effects of long UVA (UVA1) rays: a major challenge to preserve skin health and integrity. **International journal of molecular sciences**, v. 23, n. 15, p. 8243, 2022.
- BOOTS THE CHEMIST. Measurement of UVA: UVB Ratio according to the Boots star rating system (2008 Revision). **The Boots Co.**: Nottingham, UK, 2008.
- CAO, Bin *et al.* Delimiting species in Basidiomycota: a review. **Fungal Diversity**, p. 1-57, 2021.
- CARDOSO, Bruna Karen *et al.* *Panus strigellus* laccase decolorizes anthraquinone, azo, and triphenylmethane dyes. **Biocatalysis and agricultural biotechnology**, v. 16, p. 558-563, 2018.
- CARRIÓN, O. *et al.* DMSOP-cleaving enzymes are diverse and widely distributed in marine microorganisms. **Nature Microbiology**, v. 8, p. 2351–2364, nov. 2023.
- CHAVES, R. S. *et al.* Atividade antimicrobiana de *Panus strigellus* (Berk.) Overh. (*Polyporaceae*), um cogumelo comestível de ocorrência natural da Amazônia. **Micociência**, v. 49, p. 215-219, 2012.
- CHU, J. *et al.* Efficient extraction and antioxidant activity of polyphenols from *Antrodia cinnamomea*. **BMC Biotechnology**, v. 22, n. 9, 2022.

- CRUZ-FÉLIX, M. *et al.* Enhancement of biomass production of *Ganoderma* spp. (Polyporaceae) native strains from the Sonoran desert, Mexico, grown in liquid culture with vineyard pruning extracts. **Acta Botanica Mexicana**, v. 131, e2258, 2023.
- DAOU, M. *et al.* In vitro  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity of *Tamarix nilotica* shoot extracts and fractions. **Plos one**, v. 17, n. 3, p. e0264969, 2022.
- ELISASHVILI, V. Submerged cultivation of medicinal mushrooms: bioprocesses and products. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, New York, v. 14, n. 3, p. 211–239, 2012.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109–112, 2014.
- FERREIRA, I. C. *et al.* Pantothenic acid content of Portuguese wild edible mushrooms. **Food Chemistry**, v. 115, p. 1100-1104, 2009.
- GIOUROUKOU, E. *et al.* Advanced fungal biotechnology: sustainable strategies for clean label ingredients. **Trends in Food Science & Technology**, v. 145, p. 104-118, 2026.
- GHOBAD-NEJHAD, M. *et al.* Basidiomycete fungi: From biosystematics and biodiversity to biotechnology. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1128319, 2023.
- GHOBAD-NEJHAD, M. *et al.* Resources of Iranian agarics (Basidiomycota) with an outlook on their antioxidant potential. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 1015440, 2022.
- GONG, Y. *et al.* Antidiabetic activity of polysaccharides from mushrooms: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 147, p. 396-407, 2020.
- GUIMARÃES, D. K. S. Estudo sistemático de espécies de *Panus* Fr. (Panaceae, Basidiomycota) que ocorrem no território brasileiro. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos, Algas e Plantas) – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- KÄHKÖNEN, M. P. *et al.* Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 10, p. 3954–3962, 1999.
- HALABURA, M. *et al.* Light conditions affect the growth, chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of the white-rot fungus *Lentinus crinitus* mycelial biomass. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 22, n. 3, p. 669-686, 2023.
- HAPUARACHCHI, K. K. *et al.* A Review on Bioactive Compounds, Beneficial Properties and Biotechnological Approaches of *Trametes* (Polyporaceae, Polyporales) and a New Record from Laos. **Frontiers in Fungal Management**, v. 3, p. 1-25, 2021
- HELENO, S. A. *et al.* Bioactive compounds in wild and cultivated mushrooms: Nutritional value and biological properties. **Food Chemistry**, 2015.
- KARUNARATHNA, S. C. *et al.* Basidiomycete pigments as sustainable food colorants and stabilizers: from fungal biology to industrial potential. **Frontiers in Microbiology**, v. 16, 1725536, 2025.
- KIRK, P. M. *et al.* Dictionary of the fungi. 10. **Wallingford: CABI**, v. 272, 2008.

- KRIANGKRAI, W. *et al.* Discovery of superior bioactive peptides of two edible *Lentinus* mushrooms protein hydrolysate in biological activities: tyrosinase inhibitory and antioxidant activity. **Food Science and Biotechnology**, v. 33, p. 3105-3117, 2024
- LACERDA, T. *et al.* Crescimento micelial de *Panus strigellus* em serragem de madeiras com baixo valor econômico. In: IV SIMPÓSIO CENBAM E PPBIO AMAZÔNIA OCIDENTAL, 2018. **Anais...** [s.l.], 2018.
- LIBERAL, Â. *et al.* Phenolic acids from fungi. In: **Natural Secondary Metabolites: From Nature, through Science, to Industry**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 475-495.
- LLANOS-LÓPEZ, N. A. *et al.* Panapophenanthrin, a rare oligocyclic diterpene from *Panus strigellus*. **Metabolites**, v. 13, n. 7, p. 848, 2023.
- MACRINI, Daclé Juliani *et al.* Extracts from Amazonian plants have inhibitory activity against tyrosinase: an in vitro evaluation. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, n. 4, p. 715-721, 2009.
- MCGREGOR, N. G. S. *et al.* Activity-based protein profiling reveals dynamic substrate-specific cellulase secretion by saprotrophic basidiomycetes. **Biotechnology for Biofuels and Bioproducts**, v. 15, n. 6, p. 1-14, 2022.
- NIEGO, A. G. *et al.* Macrofungi as a nutraceutical source: promising Bioactive compounds and Market Value. *J Fungi (Basel)*. 2021;7(5):397.
- NING, M. *et al.* 2,5-Dihydroxyphenylethanone: an anti-melanogenic bioactive compound isolated from *Ganoderma cochlear*. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, v. 40, n. 1, 2495364, 2025.
- OLIVEIRA, M. B. S. *et al.* Photoprotective and antiglycation activities of non-toxic *Cocos nucifera* Linn. (*Arecaceae*) husk fiber ethanol extract and its phenol chemical composition. **Industrial Crops and Products**, v. 162, p. 113246, 2021.
- OMBRA, M. *et al.* Lowering the pre-dicted glycemic index of pasta using dried onions as functional ingredients. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 73, n. 4, p. 443-450, 2022.
- PATERSKA, M. *et al.* Fungal Secondary Metabolites as Potential Cosmetics Ingredients. **Pharmaceuticals**, v. 17, n. 1, 2024.
- PSURTSEVA, N. V. *et al.* Morphological and molecular characterization of *Basidiomycota* cultures: implications for biotechnological potential. **Phytotaxa**, v. 584, n. 2, p. 81-96, 2023.
- QARAGHULI, S. *et al.* Macrofungi as a Promising Source of Nutraceuticals (Review article). **Al Mustansiriyah Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 25, n. 2, 2025. DOI: 10.32947/ajps.v25i2.1159.
- QUINTERO-CABELLO, K. P. *et al.* Antioxidant Properties and Industrial Uses of Edible Polyporales. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 3, p. 196, 2021.
- RIBEIRO, B. M. Atividades biológicas da biomassa micelial de *Panus strigellus* com aplicações em produtos cosméticos. 2024. 120 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Aplicada à Agricultura) – Universidade Paranaense, Umuarama, 2024.
- RUFINO, M. D. S. M. *et al.* Metodologia científica: determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS. Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2007.

- RUFINO, M. D. S. M. *et al.* Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2006.
- SAEWAN, N.; JIMTAISONG, A. Photoprotection of natural flavonoids. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 3, n. 9, p. 129-141, 2013.
- SANDES, S. *et al.* Fungal bioaromas: sustainable synthesis and applications in the food and cosmetic industries. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 56, p. 102-115, 2024.
- SINGLETON, V. L. *et al.* Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: **Methods in Enzymology**. Academic press, p. 152-178, 1999.
- SUM, J. *et al.* Biodiversity of native American fungi: Uncovering underestimated molecules for biotechnology. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 3, p. 284-299, 2023.
- SUN, L. *et al.* Fungal metabolites as potent inhibitors of alpha-glucosidase: A review on their source, structure, and inhibitory activity. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 1, p. 45, 2024.
- TAOFIQ, O. *et al.* Mushroom-based cosmeceuticals: A review on their bioactive compounds, skin-related bioactivities, and formulation development. **Journal of Cosmetic Dermatology**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 1150-1165, 2023.
- TAOFIQ, O. *et al.* The potential of Ganoderma lucidum extracts as bioactive ingredients in topical formulations, beyond its nutritional benefits. **Food and chemical toxicology**, v. 108, p. 139-147, 2017.
- TORRES-BENÍTEZ, A. *et al.* Identification of tyrosinase inhibitors from Antarctic lichens: In vitro and in silico studies. **Molecules**, v. 29, 2024
- ULUSU, F. *et al.* HPLC based identification of phenolics and biological activities in *Elaphomyces* mushroom extracts. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 27182, 2025.
- VALVERDE, M. E.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, T.; PAREDES-LÓPEZ, O. Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. **International Journal of Microbiology**, v. 2015, p. 1–14, 2015.
- VARGAS-ISLA, R. *et al.* Cultivation of the edible mushroom *Panus strigellus* (Agaricomycetes) from the Brazilian Amazon. **Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 14, n. 4, p. 411-419, 2012.
- VARGAS-ISLA, R. *et al.* Relationship between *Panus lecomtei* and *P. strigellus* inferred from their morphological, molecular and biological characteristics. **Mycoscience**, v. 56, n. 6, p. 561-571, 2015.
- VARGAS-ISLA, R.; ISHIKAWA, N. K. Optimum conditions of in vitro mycelial growth of *Lentinus strigosus*, an edible mushroom isolated in the Brazilian Amazon. **Mycoscience**, v. 49, n. 3, p. 215-219, 2008.
- VÁSQUEZ, R. *et al.* Lentinoids A–D, New Natural Products Isolated from *Lentinus strigellus*. **Molecules**, v. 23, n. 4, p. 773, 2018.
- WANG, Y. *et al.* Secondary metabolites from the cultures of medicinal mushroom *Vanderbylia robiniophila* and their tyrosinase inhibitory activities. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 7, p. 702, 2023.

WONTCHEU FOTSO, Y. A. *et al.* Extraction, Chemical Composition, Antiradical Capacity, and Photoprotective Effect of *Inonotus obliquus* from Eastern Canada. **Nutraceuticals**, v. 3, n. 3, p. 380-402, 2023.

WU, Y. *et al.* Light color dihydroxybenzophenone grafted lignin with high UVA/UVB absorbance ratio for efficient and safe natural sunscreen. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 39, p. 17057-17068, 2020.

ZHANG, B. *et al.* Modified chitosan with different phenolic acids: Characterization, physicochemical properties, and biological activity. **Food Chemistry**, v. 441, p. 138337, 2024.

ZHANG, Q. *et al.* Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chinese Medicine*, v. 13, p. 20, 2018.

ZHENG, Y. *et al.* Isolation, structure elucidation and apoptosis-inducing activity of new compounds from the edible fungus *Lentinus striguellus*. **Natural Product Communications**, v. 4, n. 4, p. 501-506, 2009.