



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

Ana Paula Bandeira Gobo

Bioconversão de subprodutos agroindustriais por *Favolus brasiliensis* em cultivo submerso: potencial antioxidante, antitirosinase e fotoprotetor

**Umuarama
2026**

Ana Paula Bandeira Gobo

**Bioconversão de Subprodutos Agroindustriais por *Favolus brasiliensis* em Cultivo
Submerso: Potencial Antioxidante, Antitirosinase e Fotoprotetor**

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

Orientadora: Dra. Juliana Silveira do Valle

Umuarama
2026

Ficha Catalográfica

G575b Gobo, Ana Paula Bandeira.
Bioconversão de subprodutos agroindustriais por *Favolus brasiliensis* em cultivo submerso: potencial antioxidante, antitirosinase e fotoprotetor / Ana Paula Bandeira Gobo. – Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2026.
35 f.

Orientadora: Dr^a. Juliana Silveira do Valle.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Paranaense – UNIPAR.

1. Basidiomicetos. 2. Economia circular. 3. Polpa cítrica. 4. Metabolismo fúngico. 5. Melaço de cana-de-açúcar. I. Universidade Paranaense – UNIPAR. II. Título.

(21 ed.) CDD: 579.59

Bibliotecária Responsável Regiane Luiza Campaneli CRB 9/2194

Bioconversão de Subprodutos Agroindustriais por *Favolus brasiliensis* em Cultivo
Submerso: Potencial Antioxidante, Antitirosinase e Fotoprotetor

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:

Dr. Antonio Laverde Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - PR

Dra. Maria Graciela Iecher Faria Nunes
Universidade Paranaense - UNIPAR

Dra. Juliana Silveira do Valle
Universidade Paranaense – UNIPAR

Umuarama, 5 de junho de 2026

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura pelo apoio acadêmico e científico ao longo desta trajetória.

À Universidade Paranaense (UNIPAR), pela infraestrutura laboratorial, suporte institucional e condições indispensáveis à execução deste projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo à pesquisa, fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

À orientadora, Prof. Dra. Juliana Silveira do Valle, pela confiança, paciência e pelo exemplo de rigor científico e ética profissional que foram essenciais para o meu amadurecimento.

Aos colegas de laboratório, pelo auxílio nos experimentos e por tornarem a jornada de pesquisa mais leve e produtiva.

À minha família, pela compreensão diante das ausências e pelo incentivo constante em todos momentos.

À Deus, pela oportunidade de concluir este ciclo com saúde e resiliência.

SUMÁRIO

RESUMO	05
ABSTRACT.....	07
INTRODUÇÃO.....	10
MATERIAL E MÉTODOS.....	13
Material biológico.....	13
Preparo dos subprodutos agroindustriais para cultivo de biomassa micelial.....	13
Cultivo em meio líquido para produção de biomassa micelial.....	13
Determinação da biomassa micelial.....	14
Produção de extratos miceliais	14
Determinação do teor de fenóis totais	15
Determinação do teor de flavonoides totais.....	15
Determinação da atividade antioxidante.....	15
Método de sequestro dos radicais DPPH•	16
Método de sequestro dos radicais ABTS• ⁺	16
Método de redução do ferro (FRAP)	16
Determinação da capacidade de inibição enzimática	17
Inibição da acetilcolinesterase (AChE)	17
Inibição da α -glicosidase	18
Inibição da tirosinase	18
Determinação do fator de proteção solar (FPS)	19
Determinação da Razão UVA/UVB	19
Análise estatística	20
RESULTADOS	21
DISCUSSÃO	27
CONCLUSÃO	30
AGRADECIMENTOS	31
REFERÊNCIAS	32

Ana Paula Bandeira Gobo

Bioconversão de Subprodutos Agroindustriais por *Favolus brasiliensis* em Cultivo Submerso: Potencial Antioxidante, Antitirosinase e Fotoprotetor

RESUMO: A crescente demanda por soluções sustentáveis e a valorização de resíduos agroindustriais impulsionam a pesquisa em biotecnologia, especialmente na conversão mediada por microrganismos. Os basidiomicetos, como *Favolus brasiliensis*, destacam-se por sua versatilidade metabólica e pela capacidade de produzir metabólitos secundários com potencial bioativo. Embora seja tradicionalmente conhecida por seu consumo alimentar em algumas culturas, ainda são escassos os estudos sobre a espécie. Neste contexto, a fermentação submersa surge como uma estratégia promissora para o cultivo de micélio, oferecendo um ambiente controlado que otimiza a produção de biomassa e de metabólitos de interesse, superando as limitações do cultivo de corpos de frutificação. Além disso, a utilização de subprodutos agroindustriais, como o melaço de cana-de-açúcar (MC) e a polpa cítrica peletizada (PCP), representa uma alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos abundantes da agroindústria brasileira e alinha-se aos princípios da economia circular, transformando esses resíduos em insumos biotecnológicos valiosos. O melaço, subproduto da indústria sucroalcooleira, é rico em açúcares fermentescíveis, enquanto a polpa cítrica, resíduo da indústria de sucos, contém compostos orgânicos como óleos essenciais e polissacarídeos. Dessa forma, a composição nutricional desses substratos pode influenciar a biossíntese de metabólitos produzidos pelo fungo. Este estudo investigou o potencial bioativo do micélio de *F. brasiliensis* cultivado por fermentação submersa em meios suplementados com MC e com extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP), avaliando a influência desses substratos sobre a produção de biomassa, as atividades antioxidante, fotoprotetora e inibição enzimática dos extratos. O micélio foi cultivado em meio líquido contendo nutrientes essenciais em concentrações definidas, suplementado com MC ou EPCP, em comparação ao controle com glicose. A biomassa micelial obtida foi seca, triturada e utilizada na produção de extratos miceliais com etanol a 80%. Após a evaporação do solvente, os extratos foram utilizados na determinação de fenóis e flavonoides totais, na avaliação da atividade antioxidante pelos métodos de sequestro de radicais livres, 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH•), 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) (ABTS•⁺) e pelo método de poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP), na determinação da capacidade de inibição enzimática (tirosinase, acetilcolinesterase (AChE) e α -glicosidase) e na determinação do fator de proteção solar (FPS) e da razão UVA/UVB. O resíduo agroindustrial empregado no meio de cultivo afetou o perfil metabólico e as propriedades bioativas dos extratos de *F. brasiliensis*. O cultivo em MC favoreceu a produção de biomassa micelial (12,87 g/L) enquanto o meio com EPCP apresentou rendimento de 1,64 g/L. Em contrapartida, o EPCP atuou como indutor da produção de metabólitos secundários, promovendo maiores teores totais de fenóis e de flavonoides. Esse perfil refletiu diretamente nas bioatividades observadas, com destaque para o maior poder redutor determinado pelo método FRAP ($95,60 \pm 3,48 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$), valor 41,3% superior ao obtido em MC, além da inibição total (100%) da enzima tirosinase na concentração de 3,0 mg/mL. Os extratos obtidos em MC, por sua vez, apresentaram maior eficiência nos ensaios de sequestro de radicais livres DPPH• e ABTS•⁺. A avaliação fotoprotetora demonstrou comportamento dose-dependente para ambos os extratos, com elevação dos valores de FPS e da razão UVA/UVB conforme o aumento da concentração.

Tanto MC quanto EPCP apresentaram proteção de amplo espectro, atingindo FPS próximo de 39, classificação “Ultra” para proteção anti-UVA e comprimento de onda crítico (λ_c) de 370 nm. Por outro lado, as atividades de inibição da AChE e da α -glicosidase foram inexpressivas nas condições avaliadas. Este estudo demonstrou a viabilidade técnica da bioconversão de subprodutos agroindustriais por *F. brasiliensis* em cultivo submerso, evidenciando que a composição do substrato influencia diretamente o direcionamento metabólico do fungo e o perfil funcional dos extratos produzidos. A utilização de MC e EPCP mostrou-se uma estratégia eficiente para agregar valor aos resíduos, contribuindo simultaneamente para práticas sustentáveis e para a economia circular. As atividades antioxidante, fotoprotetora e antitirosinase observadas reforçam o potencial inédito de *F. brasiliensis* como fonte promissora de biomoléculas de interesse. Futuras pesquisas voltadas à caracterização estrutural dos compostos produzidos e à otimização dos bioprocessos poderão ampliar as possibilidades de aplicação industrial desses metabólitos naturais.

Palavras-chave: Basidiomicetos. Economia circular. Polpa cítrica. Metabolismo fúngico. Melaço de cana-de-açúcar.

Bioconversion of Agro-Industrial By-Products by *Favolus brasiliensis* under Submerged Cultivation: Antioxidant, Anti-Tyrosinase, and Photoprotective Potential

ABSTRACT: The growing demand for sustainable solutions and the valorization of agro-industrial waste are driving biotechnology research, especially in microorganism-mediated conversion. Basidiomycetes, such as *Favolus brasiliensis*, stand out for their metabolic versatility and ability to produce secondary metabolites with bioactive potential. Although this species is traditionally consumed in some cultures, studies on it remain scarce. In this context, submerged fermentation emerges as a promising strategy for mycelium cultivation, offering a controlled environment that optimizes biomass and metabolite production while overcoming the limitations of fruiting body cultivation. Furthermore, the use of agro-industrial byproducts, such as sugarcane molasses (SM) and pelleted citrus pulp (PCP), offers a sustainable alternative for managing abundant waste from the Brazilian agro-industry and aligns with the principles of the circular economy, transforming waste into valuable biotechnological inputs. Molasses, a byproduct of the sugar and ethanol industry, is rich in fermentable sugars, while citrus pulp, a residue from the juice industry, contains organic compounds such as essential oils and polysaccharides. Therefore, the nutritional composition of these substrates can influence the biosynthesis of metabolites produced by the fungus. This study investigated the bioactive potential of *Favolus brasiliensis* mycelium cultivated by submerged fermentation in media supplemented with molasses and pelleted citrus pulp extract (PCPE). It evaluated the influence of these substrates on biomass production, antioxidant and photoprotective activities, and the enzymatic inhibition of the extracts. The mycelium was cultivated in a liquid medium containing essential nutrients at defined concentrations, supplemented with molasses or PCPE, and compared with a control supplemented with glucose. The obtained mycelial biomass was dried, ground, and used to produce mycelial extracts with 80% ethanol. After solvent evaporation, the extracts were used to determine the total phenol and flavonoid content, evaluate antioxidant activity by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH•), 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS•⁺), and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays, determine enzyme inhibition capacity (tyrosinase, acetylcholinesterase (AChE), and α -glucosidase), and determine the sun protection factor (SPF) and UVA/UVB ratio. The agro-industrial residue used in the culture medium affected the metabolic profile and bioactive properties of the *F. brasiliensis* extracts. Cultivation in the SM medium favored mycelial biomass production (12.87 g/L), whereas the PCPE medium yielded 1.64 g/L. On the other hand, PCPE acted as an inducer of secondary metabolite production, promoting higher total levels of phenols and flavonoids. This profile was directly reflected in the observed bioactivities, notably in the higher reducing power determined by the FRAP method ($95.60 \pm 3.48 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$), a value 41.3% higher than that obtained in SM, in addition to the total inhibition (100%) of the tyrosinase enzyme at a concentration of 3.0 mg/mL. The extracts obtained in SM, in turn, showed greater efficiency in the DPPH• and ABTS•⁺ free radical scavenging assays. The photoprotective evaluation demonstrated dose-dependent behavior for both extracts, with increases in SPF values and the UVA/UVB ratio as concentration increased. Both SM and PCPE showed broad-spectrum protection, reaching an SPF close to 39, an "Ultra" classification for anti-UVA protection, and a critical wavelength (λ_c) of 370 nm. On the other hand, AChE and α -glucosidase inhibition

activities were insignificant under the evaluated conditions. This study demonstrated the technical feasibility of bioconverting agro-industrial byproducts using *F. brasiliensis* in submerged culture, showing that substrate composition directly influences the fungus's metabolic direction and the functional profile of the resulting extracts. The use of SM and PCPE proved an efficient strategy for adding value to waste while contributing to sustainable practices and the circular economy. The observed antioxidant, photoprotective, and antityrosinase activities underscore the unprecedented potential of *F. brasiliensis* as a promising source of bioactive molecules. Future research focused on the structural characterization of the compounds produced and the optimization of bioprocesses can expand the possibilities of industrial application of these natural metabolites.

Key-words: Basidiomycetes. Circular economy. Citrus pulp. Fungal metabolism. Sugarcane molasses.

CAPÍTULO I

Bioconversão de subprodutos agroindustriais por *Favolus brasiliensis* em cultivo submerso: potencial antioxidante, antitirosinase e fotoprotetor

RESUMO: O cultivo de macrofungos em substratos à base de resíduos agroindustriais é uma estratégia para a produção sustentável de moléculas de interesse industrial, alinhando biotecnologia à economia circular. Este trabalho investigou o potencial bioativo do micélio de *Favolus brasiliensis* cultivado em melaço de cana-de-açúcar (MC) e em extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP) por fermentação submersa. A metodologia abrangeu a produção de biomassa, caracterização micoquímica (fenóis e flavonoides totais), avaliação da atividade antioxidante pelos métodos de sequestro de radicais livres, 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH•), 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) (ABTS•⁺) e pelo o método de poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP), determinação da capacidade de inibição enzimática (tirosinase, acetilcolinesterase (AChE) e α -glicosidase), bem como a determinação do fator de proteção solar (FPS) e da razão UVA/UVB. Os resultados demonstraram que o substrato de cultivo influencia as propriedades bioativas dos extratos da espécie. O MC aumentou o rendimento de biomassa (12,87 g/L) enquanto o EPCP apresentou rendimento de 1,64 g/L. No entanto, o EPCP atuou como indutor do metabolismo, resultando em maiores teores de flavonoides e fenóis totais, o que conferiu elevado poder redutor (FRAP) e inibição total (100%) da tirosinase na concentração de 3,0 mg/mL. Por sua vez, os extratos obtidos em MC apresentaram maior eficiência nos ensaios de sequestro de radicais livres (DPPH• e ABTS•⁺). Ambos os tratamentos exibiram proteção solar de amplo espectro, com FPS de 39 e classificação “ultra” para proteção anti-UVA. Não houve inibição significativa da AChE e α -glicosidase nas condições avaliadas. A bioconversão de subprodutos agroindustriais é tecnicamente viável e mostrou-se eficiente na agregação de valor aos resíduos, além de contribuir para práticas sustentáveis. As atividades biológicas reforçam o potencial de *F. brasiliensis* como fonte de moléculas de interesse biotecnológico. Pesquisas de identificação de compostos e de otimização de bioprocessos poderão ampliar as possibilidades de aplicação industrial desses metabólitos naturais.

Palavras-chave: Economia Verde. Etnomicologia. Fermentação submersa. Macrofungo. Resíduos agrícolas.

INTRODUÇÃO

A espécie *Favolus brasiliensis* (Fr.) Fr., um fungo degradador de madeira pertencente à família *Polyporaceae*, destaca-se como um basidiomiceto de relevante interesse biológico, descrito por Sotome *et al.* (2013). Relatos etnomicológicos indicam seu consumo como alimento por populações tradicionais da América do Sul e Central (Vargas-Isla; Ishikawa; Py-Daniel, 2013), sugerindo não apenas sua segurança biológica, mas também um potencial inexplorado como recurso biotecnológico. Apesar desse contexto ancestral, a literatura científica carece de investigações sobre suas propriedades bioativas, o que confere a esta espécie um caráter de ineditismo e uma fronteira aberta para a descoberta de novas biomoléculas.

A versatilidade metabólica dos basidiomicetos é sustentada pela produção de enzimas hidrolíticas e oxidativas, que permitem sua adaptação a diferentes ambientes e fontes de carbono, influenciando a produção de biomassa e o acúmulo de metabólitos (Sułkowska-Ziaja *et al.*, 2022, Vandeloek *et al.*, 2024). Nesse cenário, a fermentação submersa do micélio vegetativo destaca-se como método tecnológico viável, oferecendo um ambiente controlado que garante a reprodutibilidade dos processos, a redução do tempo de cultivo e a diminuição dos riscos de contaminação, superando as limitações do cultivo de corpos de frutificação (Bakratsas *et al.*, 2023).

A viabilidade econômica dessa estratégia fermentativa está ligada à valorização de coprodutos agroindustriais, alinhando-se aos preceitos da economia circular e do aproveitamento desses subprodutos. Como um dos principais produtores agrícolas mundiais, o Brasil apresenta elevada disponibilidade desses resíduos com potencial biotecnológico. Nesse cenário, a relevância do setor sucroalcooleiro é evidenciada pelos dados da safra 2025/26, estimada em 673,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, com produção de 44,18 milhões de toneladas de açúcar (CONAB, 2026). O melaço, um subproduto viscoso gerado durante a centrifugação do açúcar, destaca-se como o principal resíduo do setor, que é obtido na proporção de 40 a 60 kg por tonelada de cana processada (EMBRAPA, 2025), representando um potencial de geração entre 26,9 e 40,4 milhões de toneladas. No entanto, embora sua rica composição nutricional viabilize aplicações na produção de etanol e ração animal, o uso do melaço bruto impõe pré-tratamentos que podem onerar seu processamento industrial (Akram *et al.*, 2026).

Paralelamente, a citricultura brasileira lidera a oferta mundial de laranja, com safra para o período de 2025/2026 estimada em 13,5 milhões de toneladas, que

corresponde a 29% da produção global (USDA, 2026b). A relevância econômica desse setor é evidenciada pelo fato de o país suprir cerca de 60% do consumo global de suco de laranja (USDA, 2026a). Durante o processamento industrial para a extração do suco, a fração de resíduos gerada corresponde a cerca de 50% do peso total de cada fruta processada (Ortiz-Sanchez *et al.*, 2024). Entretanto, devido ao elevado teor de umidade, a polpa cítrica *in natura* apresenta rápida degradação microbiológica e fermentação espontânea, que dificultam seu armazenamento e transporte, além de gerarem riscos de contaminação do solo e de corpos d'água quando o descarte ocorre de forma irregular (Cinardi *et al.*, 2025). Como uma das alternativas de uso e conservação, esses resíduos são submetidos a processos de secagem e peletização, sendo a polpa cítrica peletizada (PCP), produzida a partir das frações sólidas e líquidas remanescentes da extração do suco (casca, sementes e polpa), para comercialização, valorização e para minimizar os impactos ambientais negativos (Pinto *et al.*, 2025). Por fim, esse material apresenta elevada concentração de compostos orgânicos, como óleos essenciais, polissacarídeos estruturais e açúcares fermentescíveis, o que confere potencial para aplicação em bioprocessos (De La Torre *et al.*, 2019).

A valorização biotecnológica de subprodutos agroindustriais está relacionada à capacidade desses substratos de modular o metabolismo fúngico. Componentes estruturais e compostos residuais presentes no melaço e na polpa cítrica podem atuar como fontes alternativas de carbono, estressores nutricionais ou indutores químicos, desencadeando respostas capazes de alterar a biossíntese de metabólitos secundários (Bakratsas *et al.*, 2023; Vamanu *et al.*, 2024). Em basidiomicetos, essa resposta metabólica adaptativa favorece a produção de compostos bioativos, como fenólicos e polissacarídeos, associados à atividade antioxidante e à modulação de processos oxidativos (Deveci *et al.*, 2021). Além de sua capacidade antioxidante, a diversidade química desses metabólitos amplia o potencial de aplicação dos fungos, especialmente na prospecção de moléculas com atividade sobre diferentes alvos enzimáticos de interesse farmacológico (Sułkowska-Ziaja *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a exploração de extratos fúngicos tem avançado sobre alvos de relevância clínica e industrial. No campo da dermocosmética, a busca por inibidores naturais da tirosinase, enzima limitante da melanogênese, e por agentes fotoprotetores biológicos capazes de absorver a radiação UV tem impulsionado a prospecção de basidiomicetos (Sułkowska-Ziaja *et al.*, 2022). Paralelamente, o potencial de modulação de enzimas associadas a desordens metabólicas (Deveci *et al.*, 2021) e

neurodegenerativas (Huo *et al.*, 2025) amplia o horizonte de aplicação dessas matrizes biológicas.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo realizar a prospecção biológica do micélio de *F. brasiliensis* produzido por meio da bioconversão de melaço de cana-de-açúcar e de polpa cítrica peletizada. A investigação buscou avaliar a influência desses substratos agroindustriais na produção de biomassa e no perfil micoquímico do fungo, por meio da quantificação de fenóis e flavonoides totais. Adicionalmente, foram investigadas as atividades antioxidantes antioxidante pelos métodos de sequestro de radicais livres, 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH•), 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) (ABTS•⁺) e pelo o método de poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP), a capacidade de inibição enzimática (tirosinase, acetilcolinesterase e α -glicosidase) e o potencial fotoprotetor, por meio da determinação do fator de proteção solar (FPS) e da razão UVA/UVB. Dessa forma, o estudo buscou correlacionar a valorização de subprodutos agroindustriais com a obtenção de biomassa fúngica e compostos bioativos de potencial aplicação industrial.

MATERIAL E MÉTODOS

Material biológico

O organismo utilizado neste estudo foi o basidiomiceto da espécie *Favolus brasiliensis* (Fr.) Fr., uma linhagem nativa coletada originalmente no Parque Nacional da Cantareira (São Paulo - SP) e obtida junto ao Instituto de Botânica de São Paulo (CCIBt 4442). A linhagem encontra-se depositada na Coleção de Culturas do Laboratório de Biologia Molecular da UNIPAR (Umuarama - PR), sob o código U24-4, e foi devidamente registrada no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), sob o número A3F18D9.

Para a produção de inóculo, a linhagem foi cultivada em meio sólido ágar-extrato de malte (AEM) 20 g/L a 28 ± 1 °C na ausência de luz, por sete dias. Quatro discos de 6 mm de diâmetro contendo micélio sem setoriamento foram utilizados para inocular os meios de cultivo para produção de biomassa micelial.

Preparo dos subprodutos agroindustriais para cultivo de biomassa micelial

O melaço de cana-de-açúcar (MC) e a polpa cítrica peletizada (PCP) foram utilizados na composição do meio de cultivo para avaliação da sua influência no crescimento micelial.

O MC (540 g/L de açúcares totais) foi diluído em água destilada ultrapura (1:1, m/m) a 40 °C até a obtenção de uma mistura homogênea. A PCP foi utilizada na preparação de um extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP) de acordo com Vandellook *et al.* (2024). Inicialmente, a PCP foi triturada em liquidificador para redução granulométrica. Em seguida, 50 g do pó foram misturados a 1 L de água ultrapura e autoclavados a 121 °C por 15 minutos. Após a filtração da mistura, o filtrado foi considerado EPCP e utilizado na composição do meio de cultivo.

Cultivo em meio líquido para produção de biomassa micelial

O cultivo foi realizado em frascos Erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de meio líquido composto por: 1,5 g/L de KH_2PO_4 , 0,5 g/L de MgSO_4 , 0,5 g/L de KCl , 0,036 g/L de FeSO_4 , 0,035 g/L de ZnSO_4 e 1,0 g/L de extrato de levedura (Almeida *et al.*, 2018).

Foram adicionadas ao meio líquido três fontes de carbono, sendo a glicose (20 g/L), usada como controle, MC e EPCP. Os subprodutos foram adicionados ao meio de cultivo em diferentes diluições (volume/volume) sendo 1:5, 1:10, e 1:20. Os meios foram submetidos à autoclavagem (121 °C por 20 minutos) e, após a inoculação com o micélio, os frascos permaneceram por 21 dias a 28 ± 1 °C em estufas BOD (Demanda Bioquímica de Oxigênio) sem agitação e na ausência de luz (Halabura *et al.*, 2023).

Os tratamentos que resultaram em maior biomassa foram selecionados para a produção em maior escala e para os testes de bioatividade.

Determinação da biomassa micelial

Os micélios foram recuperados no 21º dia de cultivo por filtração e mantidos em estufa com circulação de ar a 60 °C até massa constante. Após secagem, a biomassa foi congelada em nitrogênio líquido e triturada em almofariz até a obtenção de um pó fino, utilizado para a obtenção dos extratos.

Produção de extratos miceliais

Os extratos foram produzidos conforme descrito por Saltarelli *et al.* (2009), onde, 3 g de biomassa seca e pulverizada foram adicionados a uma solução etanol:água (80:20, volume/volume). A mistura permaneceu a 50 °C por 60 minutos. Em seguida, foi centrifugada a 4400 *g* por 20 minutos e o sobrenadante transferido para novo tubo. O precipitado foi submetido a mais uma extração e centrifugado como descrito. Os sobrenadantes das duas etapas de extração foram combinados e mantidos a -82 °C até o momento das análises (Halabura *et al.*, 2023). Para a remoção do solvente e concentração do extrato, os filtrados foram mantidos em banho-maria a 40 °C por cinco dias, até a redução do solvente. Após a evaporação, o extrato concentrado foi congelado e mantido a -82 °C até a realização dos ensaios de bioatividade (Halabura *et al.*, 2023).

Para a realização dos ensaios biológicos e químicos, os extratos concentrados foram solubilizados em diferentes solventes, de acordo com a especificidade de cada metodologia: etanol 80% (v/v) para as determinações de fenóis totais, flavonoides, FRAP e fator de proteção solar (FPS); etanol 95% (v/v) para os ensaios de capacidade antioxidante (DPPH e ABTS); e dimetilsulfóxido diluído em água ultrapura (DMSO 50%, v/v) para os ensaios enzimáticos (α -glicosidase, acetilcolinesterase e tirosinase).

Determinação do teor de fenóis totais

A quantificação de compostos fenólicos nos extratos do micélio foi realizada pelo método Folin-Ciocalteu descrito por Singleton *et al.* (1999). Os extratos foram diluídos em solução extratora (etanol a 80%) até concentrações de 5; 7,5; 10 e 15 mg/mL. Alíquotas de 20 μ L foram misturadas com 155 μ L de solução aquosa do reagente Folin-Ciocalteu 10% (volume/volume) e 125 μ L de carbonato de sódio 7,5% (massa/volume). A mistura foi mantida a 50 °C por 15 minutos e a variação da absorbância determinada à 760 nm (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA). A mistura de solução extratora e os reagentes foi usada como controle analítico. As concentrações de fenóis foram calculadas a partir de curva padrão de ácido gálico (10 - 700 μ M). Os resultados foram expressos em μ g equivalentes de ácido gálico (EAG) por mg de micélio (μ g EAG/mg).

Determinação do teor de flavonoides totais

O teor de flavonoides foi determinado pelo método colorimétrico com cloreto de alumínio segundo Alves e Kubota (2013). Os extratos foram diluídos em solução extratora (etanol a 80%) até concentrações de 5; 7,5; 10 e 15 mg/mL. Alíquotas de 150 μ L dos extratos misturadas a 150 μ L de solução de cloreto de alumínio 2% (massa/volume) em etanol a 80% e mantidas à temperatura ambiente por 10 minutos. A variação da absorbância foi determinada a 425 nm (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA). A solução de cloreto de alumínio foi usada como controle analítico. A concentração de flavonoides foi calculada de acordo com curva padrão de quercetina (5 – 40 μ g/mL). Os resultados foram expressos em μ g equivalentes de quercetina (EQ) por mg (μ g EQ/mg) de micélio.

Determinação da atividade antioxidante

Determinaram-se as atividades antioxidantes dos extratos miceliais empregando-se os métodos de sequestro de radicais livres DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) e ABTS•+ (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato)) e o método de poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP). As determinações de DPPH• e ABTS•+ foram feitas com os extratos diluídos em etanol a 95% até as concentrações de 10, 20, 30,

40 mg/mL, e para o FRAP os extratos foram diluídos em etanol a 80% até as concentrações de 5; 7,5; 10; 15 mg/mL.

Método de sequestro dos radicais DPPH•

Alíquotas de 10 µL de cada diluição dos extratos miceliais foram adicionadas a 290 µL de DPPH (60 µM). A mistura foi mantida por 30 min a 22 °C no escuro. A variação da absorbância foi determinada a 515 nm em um leitor de microplacas (SpectraMax Plus 384, Molecular Devices, EUA). Um controle analítico foi preparado substituindo-se o extrato por 10 µL de etanol a 95%. A quantidade de extrato necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH• (concentração inibitória = IC₅₀) foi calculada (Rufino *et al.*, 2007a).

Método de sequestro dos radicais ABTS•+

A capacidade de sequestro do radical livre ABTS•+ foi determinada segundo Rufino *et al.* (2007b). A solução de ABTS foi preparada pela mistura de 5000 µL de ABTS 7 mM e 88 µL de persulfato de potássio 140 mM. A solução foi mantida no escuro a 25 °C por 16 h. Antes do uso, a absorbância da solução de ABTS foi ajustada para aproximadamente $0,7 \pm 0,05$ nm a 734 nm por diluição com água destilada. As reações foram preparadas misturando-se 290 µL de solução de ABTS e 10 µL dos extratos de micélio e mantidas no escuro à temperatura ambiente por 30 min. Em seguida, a absorbância foi determinada a 734 nm em um leitor de microplacas SpectraMax Plus 384 (Molecular Devices, EUA). A quantidade de amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical ABTS•+ (IC₅₀) foi calculada.

Método de redução do ferro (FRAP)

Inicialmente, foi preparado o reagente FRAP misturando-se 25 mL de tampão acetato (300 mM, pH 3,6), 2500 µL de solução aquosa de TPTZ (2,4,6-Tri(2-piridil)-s-triazina, 10 mM) e 2500 µL de solução aquosa de cloreto ferroso (20 mM). Os extratos (10 µL) misturados a 290 µL do reagente FRAP, homogeneizado vigorosamente e mantido a 37 °C por 30 min. A absorvância foi determinada a 595 nm e o percentual de

atividade antioxidante calculado em relação à curva padrão de sulfato ferroso (2000 µM) (Rufino *et al.*, 2006).

Determinação da capacidade de inibição enzimática

Inibição da acetilcolinesterase (AChE)

A atividade inibitória sobre a enzima acetilcolinesterase (AChE; EC 3.1.1.7) foi determinada com um kit de triagem comercial (Sigma-Aldrich, EUA). 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 µL da AChE (400 U/L) e 5 µL das soluções de extrato. Após incubação a 35 °C por 15 minutos, adicionaram-se 150 µL de um mix de reagentes (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 (ΔAbs) de acordo com a Equação 1:

$$\%deinibição = \left(\frac{AbsC - AbsE}{AbsC} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde, AbsC representa a absorbância do controle e AbsE representa a absorbância do extrato.

Inibição da α -glicosidase

A avaliação da atividade inibitória da enzima α -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- α -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 μ L de tampão fosfato, 40 μ L da solução do extrato e 20 μ L da enzima α -glicosidase (1 U/mL), seguidos de incubação a 37 °C por 10 minutos para promover a interação enzima-inibidor. Posteriormente, adicionaram-se 40 μ 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 μ 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 1).

Inibição da tirosinase

A avaliação do potencial inibitório sobre a enzima tirosinase (EC 1.14.18.1) foi realizada por meio de 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 μ L de tampão fosfato, 40 μ L das soluções de extrato, seguidos da adição de 40 μ L 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 absorbância 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 descrito anteriormente (equação 1).

Determinação do fator de proteção solar (FPS)

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, 7,5, 10 e 15 mg/mL. Para cada diluição, foram colocados 300 µL 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 2:

$$FPS = CF \sum_{290}^{320} EE(\lambda) I(\lambda) |(\lambda)| \quad (2)$$

Onde CF = 10 (fator de correção), EE(λ) = espectro do efeito eritemal, I(λ) = espectro da intensidade solar, Abs(λ) = absorbância da amostra no comprimento de onda λ. Os valores de EE(λ) x I(λ) 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 3:

$$UVA/UVB = \frac{\int_{320}^{400} A(\lambda) d(\lambda) / \int_{320}^{400} d(\lambda)}{\int_{290}^{320} A(\lambda) d(\lambda) / \int_{290}^{320} d(\lambda)} \quad (3)$$

Onde $A(\lambda)$ é a absorbância 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

Análise estatística

Os ensaios seguiram o delineamento inteiramente casualizado (DIC) consistindo inicialmente 12 repetições para produção de biomassa e, após seleção da melhor condição de cultivo, de 75 repetições de MC no tratamento 1:5 (MC5) e 162 repetições do EPCP 1:5 (EPCP5). Os resultados da produção de biomassa nos meios selecionados e das atividades antioxidantes foram avaliados por meio do teste t de Student não pareado, e as diferenças significativas entre as médias foram determinadas a 5% de probabilidade.

Os ensaios analíticos foram conduzidos em triplicata. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre as médias ($p \leq 0,05$) determinadas pelo teste de Scott-Knott com auxílio do *software* Sisvar 5.6 (Ferreira, 2014).

RESULTADOS

Favolus brasiliensis demonstrou viabilidade e adaptação metabólica ao apresentar crescimento micelial nos meios de cultura avaliados, sem evidências de inibição do desenvolvimento fúngico nas concentrações testadas. Contudo, a produção de biomassa micelial revelou perfis distintos e estatisticamente significativos, dependentes tanto da natureza do substrato quanto da diluição utilizada (1:5, 1:10 e 1:20). Enquanto o cultivo em MC favoreceu o acúmulo de biomassa de forma mais acentuada, o EPCP resultou em rendimentos modestos, sugerindo influência da natureza do substrato, da densidade nutricional e da complexidade das fontes nutricionais no crescimento micelial.

Do primeiro cultivo, o tratamento com MC na diluição 1:5 apresentou a maior produção de biomassa ($8,07 \pm 1,93$ g/L), 76% superior à do meio controle com glicose. Em contraste, os meios com EPCP resultaram em acúmulos inferiores, variando de $0,45 \pm 0,02$ g/L a $1,55 \pm 0,01$ g/L (Figura 1).

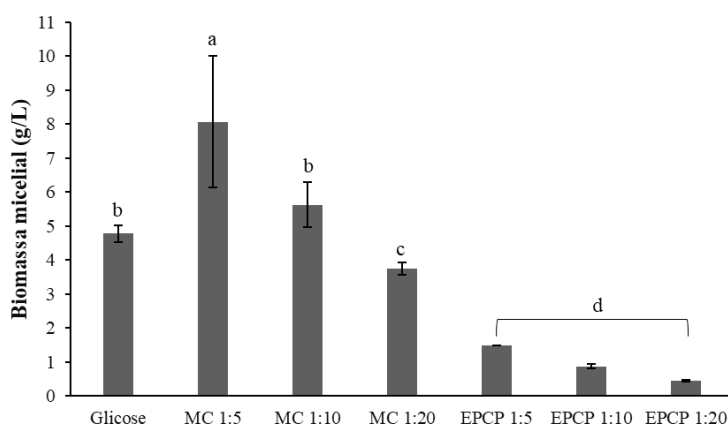


Figura 1. Produção de biomassa micelial (média $\pm$ desvio padrão) de *Favolus brasiliensis* cultivado em meio contendo melaço de cana-de-açúcar (MC) e extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP) em diferentes diluições (1:5, 1:10 e 1:20 mg/mL). Médias indicadas pela mesma letra não diferem estatisticamente, de acordo com o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Com base nestes resultados, definiu-se pela utilização da diluição 1:5 tanto para o meio MC quanto para o EPCP para a etapa de produção em maior escala. O rendimento final do tratamento MC foi de $12,87 \pm 0,45$ g/L, enquanto o EPCP registrou $1,64 \pm 0,07$ g/L (Figura 2), que garantiu assim biomassa suficiente para as análises subsequentes.

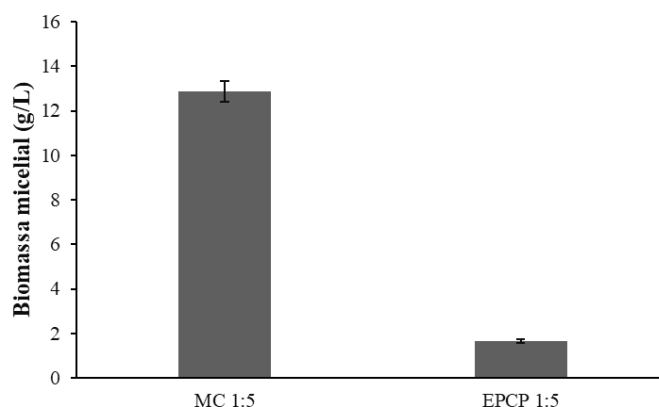


Figura 2. Produção de biomassa micelial (média $\pm$ desvio padrão) de *Favolus brasiliensis* cultivado em meio contendo melaço de cana-de-açúcar (MC) e extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP) na razão 1:5 (mg/mL). As médias diferem significativamente ($p = 0,000037$) de acordo com o teste t de Student não pareado.

A caracterização micoquímica, revelou variações metabólicas em função do substrato utilizado. Os resultados compilados na Tabela 2 demonstram que o teor de fenóis totais obtido em meio EPCP ($195,85 \pm 9,42 \mu\text{g EAG/mg}$) foi 2,29 vezes maior do que de MC. De forma semelhante, o teor de flavonoides totais também foi maior no meio EPCP ($302,50 \pm 12,44 \mu\text{g EQ/mg}$), com teores 48% superiores aos do meio contendo MC. Para ambos, as diferenças foram altamente significativas ($p < 0,0001$).

Tabela 2. Teor de fenóis totais e de flavonoides totais dos extratos do micélio de *Favolus brasiliensis* cultivado em meio com melaço de cana (MC) ou extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP).

Método	MC	EPCP	p-valor
Fenóis totais ($\mu\text{g EAG/mg}$)	$85,50 \pm 8,66^b$	$195,85 \pm 9,42^a$	$p < 0,0001$
Flavonoides totais ($\mu\text{g EQ/mg}$)	$204,42 \pm 9,18^b$	$302,50 \pm 12,44^a$	$p < 0,0001$

Os resultados são expressos como média $\pm$ desvio padrão de três repetições. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas de acordo com o Teste t de Student ($p \leq 0,05$).

Quanto à atividade antioxidante (Tabela 3), os resultados revelaram comportamentos distintos dependendo do mecanismo de ação testado. No ensaio FRAP, destacou-se o extrato proveniente do cultivo em EPCP ($95,60 \pm 3,48 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$), que apresentou um poder redutor 41,3% superior ao MC. Em contrapartida, nos ensaios de sequestro de radicais livres, o extrato obtido do micélio cultivado em MC apresentou maior eficácia, com valores de IC_{50} para DPPH• ($63,91 \pm 0,18 \text{ mg/mL}$) e ABTS•+ ($34,63 \pm 0,03 \text{ mg/mL}$) significativamente menores que os do EPCP.

Tabela 3. Atividades antioxidantes dos extratos do micélio de *Favolus brasiliensis* cultivado em meio com melaço de cana-de-açúcar (MC) ou extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP), determinadas pelos métodos do poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP) e de captura dos radicais livres 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH•) e 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS•+).

Método	MC	EPCP	p-valor
FRAP ($\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$)	$67,65 \pm 1,13^b$	$95,60 \pm 3,48^a$	$p = 0,00019$
DPPH• (IC_{50}) (mg/mL)	$63,91 \pm 0,18^a$	$72,57 \pm 0,48^b$	$p = 0,0001$
ABTS•+ (IC_{50}) (mg/mL)	$34,63 \pm 0,03^a$	$53,11 \pm 0,87^b$	$p = 0,0007$

Os resultados são expressos como média $\pm$ desvio padrão, com três repetições. IC_{50} = concentração inibitória, que representa a concentração de extrato necessária para inibir 50% dos radicais DPPH e ABTS. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas de acordo com o Teste t de Student ($p \leq 0,05$). Controles positivos - Quercetina, $\text{IC}_{50} = 0,0148 \pm 0,01 \text{ mg/mL}$ (DPPH), Trolox, $\text{IC}_{50} = 0,003 \pm 0,00 \text{ mg/mL}$ (ABTS) e Trolox $10,5 \pm 0,9 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ (FRAP).

A análise de fotoproteção revelou que os valores de FPS e a razão UVA/UVB foram influenciados de forma dose-dependente, elevando-se conforme o incremento na concentração dos extratos. O meio EPCP destacou-se pelos resultados mais significativos. Conforme ilustrado na Tabela 4, este substrato apresentou um FPS de $22,53 \pm 0,63$ já na concentração de 5 mg/mL, valor 48,5% superior ao obtido pelo meio MC, além disso, o extrato do micélio do meio EPCP atingiu o patamar máximo de sensibilidade do ensaio (FPS ~ 39) de forma mais precoce, na concentração de 10 mg/mL, enquanto o meio MC exigiu a dosagem máxima (15 mg/mL) para alcançar desempenho equivalente.

Tabela 4. Fator de proteção solar (FPS) dos extratos obtidos do micélio de *Favolus brasiliensis* cultivado em meio com melaço de cana-de-açúcar (MC) ou extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP).

Concentração de extrato (mg/mL)	FPS	
	MC	EPCP
5	15,17 ± 0,12 ^{dB}	22,53 ± 0,63 ^{cA}
7,5	22,89 ± 0,56 ^{cB}	34,05 ± 1,39 ^{bA}
10	30,71 ± 0,85 ^{bB}	39,09 ± 0,22 ^{aA}
15	39,39 ± 0,02 ^{aB}	39,48 ± 0,00 ^{aA}

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 cultivo micelial. Médias indicadas por letras distintas diferem significativamente ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

No que tange à qualidade da proteção, ambos os substratos proporcionaram classificação 'Ultra' para a proteção anti-UVA (razão UVA/UVB > 0,91) (Tabela 5). A proteção de amplo espectro foi consolidada mais rapidamente pelo EPCP, cujo comprimento de onda crítico (λ_c) atingiu o limiar de 370 nm a partir de 10 mg/mL (Figura 4). Em contraste, o meio MC demandou a concentração de 15 mg/mL para atingir o mesmo parâmetro de comprimento de onda crítico (Figura 3), confirmando a superioridade do substrato EPCP na indução de metabólitos com maior capacidade de absorção nas faixas UVB e UVA.

Tabela 5. Razão UVA/UVB, proteção anti-UVA e comprimento de onda crítico (λ_c) dos extratos hidroalcoólicos obtidos do micélio de *Favolus brasiliensis* cultivado em meio com melaço de cana-de-açúcar (MC) ou extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP).

Extrato (mg/mL)	MC			EPCP		
	Razão UVA/UVB	Proteção anti-UVA	λ_c	Razão UVA/UVB	Proteção anti-UVA	λ_c
5	0,99 ± 0,00 ^{bB}	Ultra	365	1,14 ± 0,00 ^{cA}	Ultra	365
7,5	0,99 ± 0,00 ^{bB}	Ultra	365	1,15 ± 0,01 ^{cA}	Ultra	365
10	0,98 ± 0,01 ^{bB}	Ultra	365	1,35 ± 0,02 ^{bA}	Ultra	370
15	1,20 ± 0,02 ^{aB}	Ultra	370	1,80 ± 0,03 ^{aA}	Ultra	370

Os resultados são a média $\pm$ desvio padrão de três repetições. Classificação da proteção anti-UVA segundo o *Boot's star rating* (Boots, 2008). Comprimento de onda crítico ≥ 370 nm indica proteção solar de amplo espectro. Letras minúsculas na mesma coluna comparam as médias de razão 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 cultivo. Médias indicadas por letras distintas diferem significativamente ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

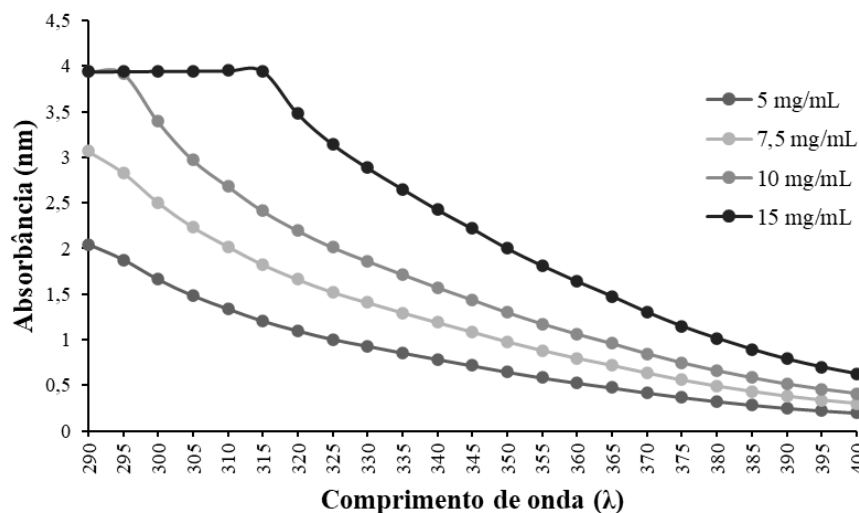


Figura 3. Espectro de absorção de luz ultravioleta nas faixas UVB (290-320 nm) e UVA (320-400 nm) dos extratos obtidos do micélio de *Favolus brasiliensis* cultivado em meio com melado de cana-de-açúcar (MC).

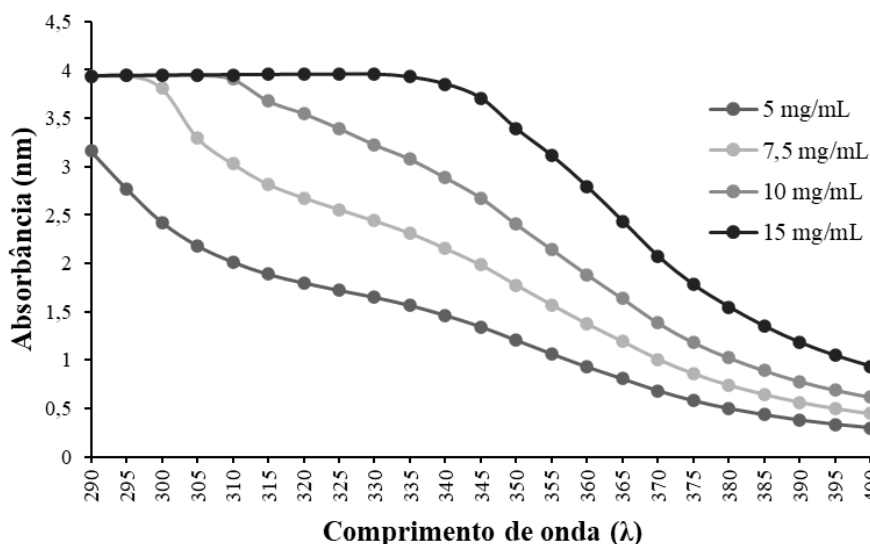


Figura 4. Espectro de absorção de luz ultravioleta nas faixas UVB (290-320 nm) e UVA (320-400 nm) dos extratos obtidos do micélio de *Favolus brasiliensis* cultivado em meio com extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP).

Os extratos miceliais de *F. brasiliensis* exibiram elevada atividade inibitória da tirosinase, com aumento significativo da inibição em função da concentração (Tabela 6). Em todas as concentrações testadas, o extrato obtido do micélio cultivado em EPCP exibiu percentuais de inibição superiores aos observados para o extrato produzido em MC, com diferenças significativas mesmo nas menores concentrações. O extrato do micélio cultivado em MC apresentou inibição variando de 81,34% a 95,63%, enquanto o de EPCP alcançou valores entre 93,60% e 100%, alcançando a inibição total da atividade enzimática na maior concentração avaliada. De modo geral, os resultados indicam que o meio de cultivo influenciou significativamente o potencial antitirosinase do micélio, sendo a polpa cítrica mais eficiente na indução da produção de metabólitos com elevada capacidade inibitória, especialmente nas concentrações mais baixas do extrato.

Tabela 6. Inibição da atividade de tirosinase dos extratos do micélio de *Favolus brasiliensis* cultivado em meio com melaço de cana (MC) ou extrato de polpa cítrica peletizada (EPCP).

Extrato (mg/mL)	MC	EPCP
1	81,34 ± 0,37 ^{cB}	93,68 ± 0,62 ^{bA}
1,5	88,73 ± 0,64 ^{bB}	94,15 ± 2,63 ^{bA}
2	92,98 ± 2,66 ^{aA}	96,13 ± 0,96 ^{bA}
3	95,63 ± 0,44 ^{aB}	100,00 ± 0,00 ^{aA}

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 médias de inibição nas diferentes concentrações de extrato. Letras maiúsculas na mesma linha comparam médias de inibição em diferentes condições de cultivo.

Em contraste, os testes para as enzimas AChE e α -glicosidase não revelaram potencial biotecnológico nas condições avaliadas. O extrato proveniente do meio MC demonstrou baixa inibição para a AChE (máximo de $1,91 \pm 0,68\%$ a $0,25 \text{ mg/mL}$), enquanto o meio EPCP não inibiu a enzima. Quanto à α -glicosidase, nenhum dos extratos apresentaram atividades inibitórias nas concentrações testadas.

DISCUSSÃO

A suplementação do meio de cultura com coprodutos agroindustriais constituiu um fator determinante para a eficiência biotecnológica do processo, evidenciando que a modulação nutricional é uma estratégia para direcionar o metabolismo fúngico. O meio suplementado com MC apresentou o maior rendimento de biomassa de *F. brasiliensis*, quatro vezes superior ao de *Lentinus crinitus* produzido em extrato de malte sob as mesmas condições laboratoriais (Halabura *et al.*, 2023). Este vigor produtivo no meio MC demonstra que o melaço de cana-de-açúcar é uma fonte de carbono de fácil assimilação e nutrientes (Bumroongsri, 2024), que maximizam o crescimento vegetativo, consolidando-o como um substrato de alto rendimento para a produção de biomassa micelial, com potencial para produção em escala.

Em contrapartida, o menor rendimento em EPCP não deve ser interpretado como uma limitação técnica, mas sim como um estímulo a modificações metabólicas. A polpa cítrica é reconhecidamente rica em polissacarídeos complexos, como a pectina, celulose e hemicelulose (Liu *et al.*, 2022), cuja hidrólise requer a secreção de pectinases e de outras enzimas lignocelulolíticas (Araújo *et al.*, 2021). Contudo, a polpa cítrica também contém em torno de 16% de açúcares solúveis (Rivas *et al.*, 2008), provavelmente extraídos durante a produção de EPCP.

Essa menor taxa de crescimento de *F. brasiliensis* no meio EPCP pode ter atuado como indutor do metabolismo secundário, fenômeno relatado em basidiomicetos sob estresse nutricional (Zhong; Xiao, 2009). Enquanto o MC direcionou o fluxo de carbono predominantemente para o acúmulo de biomassa, o que pode limitar a disponibilidade de precursores para as vias dos chiquimatos e policetídeos (Berger *et al.*, 2022), a característica nutricional do EPCP pode ter favorecido respostas adaptativas relacionadas à síntese de compostos bioativos. Além disso, compostos voláteis e óleos essenciais residuais presentes na polpa cítrica podem atuar como indutores químicos e eliciadores metabólicos (Berikashvili *et al.*, 2023).

A análise micoquímica corrobora essa hipótese, revelando que a composição do extrato fúngico foi alterada pelo substrato. O meio EPCP induziu uma produção de fenóis totais 2,29 vezes superior à do meio MC, além de elevar em 48% os teores determinados pelos métodos de flavonoides. A observação de que os valores obtidos para flavonoides foram numericamente superiores aos de fenóis totais em ambos os meios encontra respaldo nas particularidades metodológicas dos ensaios. O método de Folin–Ciocalteu

avalia a capacidade redutora global do extrato, sendo mais sensível a fenóis simples e a compostos de baixo peso molecular com elevado poder redutor, já o método do cloreto de alumínio quantifica a presença de metabólitos capazes de formar complexos estáveis com íons alumínio (Al^{3+}), como flavonoides e estruturas aromáticas conjugadas (Ferreira *et al.*, 2009; Heleno *et al.*, 2015). Em basidiomicetos, a biossíntese é frequentemente direcionada para poliketídeos fenólicos, melaninas, pigmentos de alto peso molecular e outras estruturas aromáticas complexas, que têm a capacidade de formar complexos estáveis com íons metálicos como Al^{3+} , Fe^{3+} e Cu^{2+} , por meio de grupos funcionais doadores de elétrons (Barros *et al.*, 2009). Dessa forma, a predominância dessas estruturas no micélio de *F. brasiliensis* pode explicar a discrepância entre os teores e está diretamente relacionada ao desempenho antioxidante observado.

Quanto à atividade antioxidante, o extrato EPCP apresentou potencial redutor (FRAP) significativamente maior ao MC, indicando maior capacidade de transferência de elétrons e redução de íons férricos. Em contrapartida, os ensaios de DPPH e ABTS foram favorecidos pelo meio MC, sugerindo diferenças no perfil de compostos antioxidantes produzidos em cada condição de cultivo. Essa variação pode estar relacionada à especificidade dos mecanismos avaliados por cada método, uma vez que DPPH e ABTS se baseiam predominantemente na capacidade de sequestro de radicais livres, enquanto o FRAP avalia o potencial redutor dos extratos (Huang; Ou; Prior, 2005). A superioridade do EPCP no ensaio FRAP indica maior presença de compostos com capacidade redutora, característica relevante para a inibição de enzimas metalo-dependentes, como a tirosinase (Felegyi *et al.*, 2023), e para a fotoproteção biológica (Sułkowska-Ziaja *et al.*, 2021).

A eficácia fotoprotetora de *F. brasiliensis* foi elevada em ambos os tratamentos, com destaque para o meio EPCP, que atingiu o FPS de 39 e ampla proteção UVA. A consolidação do comprimento de onda crítico ($\lambda_c = 370 \text{ nm}$) na concentração de 10 mg/mL, conforme o método de Diffey (1994), indica uma proteção de amplo espectro que atende aos rigorosos critérios da FDA *et al.* (2011) e da norma ISO 24443 (2012). Esse desempenho é clinicamente relevante, pois assegura proteção tanto contra o eritema (UVB) quanto contra o fotoenvelhecimento e danos ao DNA dérmico (UVA) (Krutmann *et al.*, 2017; Pecorelli; Valacchi, 2022). Os polifenóis fúngicos oferecem uma defesa multifuncional, absorvendo a radiação UV enquanto neutralizam o estresse oxidativo secundário induzido pela exposição solar (Vamanu *et al.*, 2024).

No campo da dermocosmética, a inibição total (100%) da tirosinase pelo extrato EPCP a 3,0 mg/mL é um resultado relevante. Essa eficácia superior pode estar relacionada à presença de metabólitos com alta afinidade pelo centro catalítico binuclear de cobre da enzima (Felegyi *et al.*, 2023). Comparativamente, Sułkowska-Ziaja *et al.* (2022) observaram que a maior inibição alcançada por seis espécies de *Ganoderma* foi de apenas 50,53% em concentrações superiores (5 mg/mL) sob protocolos de fermentação submersa comparáveis. Essa disparidade ressalta a eficácia do meio EPCP em direcionar o metabolismo de *F. brasiliensis* para a síntese de inibidores de tirosinase, indicando maior eficiência nas condições avaliadas.

Em contrapartida, a ausência de atividade relevante para AChE e α -glicosidase sugere uma seletividade funcional dos metabólitos. A literatura aponta que a inibição dessas enzimas por basidiomicetos depende frequentemente da presença de alcaloides (Deveci *et al.*, 2024) ou esteroides específicos (Huo *et al.*, 2025), que podem não ter sido expressos ou extraídos sob as condições atuais. Embora os extratos brutos não tenham mostrado potencial para uso em Diabetes ou Alzheimer, isso não descarta a presença de moléculas bioativas em concentrações sub-detectáveis ou a necessidade de fracionamento para remover interferentes do extrato bruto (Xie *et al.*, 2020; Angelini *et al.*, 2019).

Em conclusão, o conjunto de bioatividades observado para o extrato EPCP indica um perfil funcional integrado: a capacidade antioxidante, a fotoproteção de amplo espectro e a inibição da tirosinase atuam de forma sinérgica. Os resultados posicionam *F. brasiliensis* como uma nova e promissora matriz biotecnológica, provando que a bioconversão de resíduos agroindustriais não é apenas uma solução ambiental, mas uma via sofisticada para a obtenção de insumos de alto valor agregado.

CONCLUSÃO

Este estudo revelou, de forma inédita, o potencial biotecnológico do micélio de *F. brasiliensis* produzido via fermentação submersa na presença de subprodutos agroindustriais, consolidando essa espécie como uma fonte de biomoléculas de interesse. A escolha do substrato resultou na modulação do metabolismo fúngico, validando a conversão de subprodutos agroindustriais como estratégia sustentável para direcionar a biossíntese de compostos bioativos.

Enquanto o MC foi mais eficiente para maximizar o rendimento de biomassa, o EPCP favoreceu a síntese de metabólitos de interesse biotecnológico. Os extratos obtidos a partir do cultivo em polpa cítrica apresentaram maiores teores de flavonoides e de fenóis totais, elevada capacidade redutora, potencial fotoprotetor associado à proteção solar de amplo espectro e, especialmente, a inibição total da enzima tirosinase. Os achados deste estudo indicam caminhos promissores para pesquisas futuras, com perspectivas de investigações que envolvam identificação de compostos dos extratos, escalonamento produtivo e otimização de processos fermentativos. Tais avanços poderão viabilizar o aproveitamento industrial sustentável dos bioativos de *F. brasiliensis* no desenvolvimento de insumos dermocosméticos naturais.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura pelo apoio acadêmico e científico ao longo desta trajetória.

À Universidade Paranaense (UNIPAR), pela infraestrutura laboratorial e suporte institucional indispensáveis à execução deste projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento.

REFERÊNCIAS

- AKRAM, Ramsha *et al.* Sustainable Utilization and Valorization of Sugar Industry Waste Products. In: Importance of Plant Based Byproducts: Nutritional and Functional Properties. **Cham: Springer Nature Switzerland**, p. 289-325, 2026.
- ALMEIDA, Patricia H. *et al.* Decolorization of remazol brilliant blue R with laccase from *Lentinus crinitus* grown in agro-industrial by-products. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 04, p. 3463-3473, 2018.
- ALVES, Elizângela; KUBOTA, Ernesto Hashime. 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.
- ANGELINI, Paola *et al.* A comparative study of the antimicrobial and antioxidant activities of *Inonotus hispidus* fruit and their mycelia extracts. **International Journal of Food Properties**, v. 22, n. 1, p. 768-783, 2019.
- ARAÚJO, Nelma Lopes *et al.* Use of green light to improve the production of lignocellulose-decay enzymes by *Pleurotus* spp. in liquid cultivation. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 149, p. 109860, 2021.
- BAKRATSAS, Georgios *et al.* Single-cell protein production by *Pleurotus ostreatus* in submerged fermentation. **Sustainable Food Technology**, v. 1, n. 3, p. 377-389, 2023.
- BARROS, Lillian *et al.* Phenolic acids determination by HPLC–DAD–ESI/MS in sixteen different Portuguese wild mushrooms species. **Food and Chemical Toxicology**, v. 47, n. 6, p. 1076-1079, 2009.
- BERGER, Ralf G. *et al.* Mycelium vs. fruiting bodies of edible fungi—A comparison of metabolites. **Microorganisms**, v. 10, n. 7, p. 1379, 2022.
- BERIKASHVILI, Violeta *et al.* Antifungal activity of medicinal mushrooms and optimization of submerged culture conditions for *Schizophyllum commune* (*Agaricomycetes*). **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 25, n. 10, 2023.
- BOOTS THE CHEMIST. Measurement of UVA: UVB Ratio according to the Boots star rating system (2008 Revision). The Boots Co.: Nottingham, UK, 2008.
- BUMROONGSRI, Pornchai. Value-added product from sugarcane molasses: Conversion of sugarcane molasses to non-caloric sweetener for applications in food and pharmaceutical industries. **Bioresource Technology**, v. 395, p. 130370, 2024.
- CINARDI, Grazia *et al.* Citrus Waste Valorisation Processes from an Environmental Sustainability Perspective: A Scoping Literature Review of Life Cycle Assessment Studies. **AgriEngineering**, v. 7, n. 10, p. 335, 2025.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2025/26, 4º levantamento**. Brasília, v. 13, n. 4, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes>-

agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/4o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-cana_4o-lev-2025-26.pdf Acesso em: 28 abr. 2026.

DAOU, Mariane *et al.* In vitro α -glucosidase inhibitory activity of *Tamarix nilotica* shoot extracts and fractions. **Plos One**, v. 17, n. 3, p. e0264969, 2022.

DE LA TORRE, I. *et al.* Utilisation upgrading of orange peel waste from a biological biorefinery perspective. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, p. 5975-5991, 2019.

DEVECI, Ebru *et al.* Inhibitory activities of medicinal mushrooms on α -amylase and α -glucosidase-enzymes related to type 2 diabetes. **South African Journal of Botany**, v. 137, p. 19-23, 2021.

DIFFEY, BLx. A method for broad spectrum classification of sunscreens. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 16, n. 2, p. 47-52, 1994.

ELLMAN, George L. *et al.* A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. **Biochemical Pharmacology**, v. 7, n. 2, p. 88-95, 1961.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Outros produtos**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/outros-produtos> Acesso em: 24 mai. 2026.

FELEGYI, Kristóf *et al.* Anticholinesterase and antityrosinase secondary metabolites from the fungus *Xylobolus subpileatus*. **Molecules**, v. 29, n. 1, p. 213, 2023.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.

FERREIRA, Isabel CFR; BARROS, Lillian; ABREU, Rui. Antioxidants in wild mushrooms. **Current Medicinal Chemistry**, v. 16, n. 12, p. 1543-1560, 2009.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, HHS *et al.* Labeling and effectiveness testing; sunscreen drug products for over-the-counter human use. Final rule. **Federal Register**, v. 76, n. 117, p. 35620-35665, 2011.

HALABURA, Marisangela Isabel Wietzikoski *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.

HELENO, Sandrina A. *et al.* Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. **Food Chemistry**, v. 173, p. 501-513, 2015.

HUANG, Dejian; OU, Boxin; PRIOR, Ronald L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 6, p. 1841-1856, 2005.

HUO, Yaqin *et al.* Steroids from the mushroom *Ganoderma shandongense* and their AChE inhibitory activities. **Steroids**, v. 216, p. 109574, 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 24443: 2012; Determination of Sunscreen UVA Photoprotection In Vitro. **International Organization for Standardization**, 2012.

KRUTMANN, Jean *et al.* The skin aging exposome. **Journal of Dermatological Science**, v. 85, n. 3, p. 152-161, 2017.

LIU, Na *et al.* Comparison of characterization and antioxidant activity of different citrus peel pectins. **Food Chemistry**, v. 386, p. 132683, 2022.

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.

MANSUR, João de Souza *et al.* Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, p. 121-4, 1986.

OLIVEIRA, Mônica BS *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, Maria Neve; NAZZARO, Filomena; FRATIANNI, Florinda. Lowering the predicted 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.

ORTIZ-SANCHEZ, Mariana *et al.* Sustainability analysis of orange peel biorefineries. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 172, p. 110327, 2024.

PECORELLI, Alessandra; VALACCHI, Giuseppe. Oxidative-stress-sensitive microRNAs in UV-promoted development of melanoma. **Cancers**, v. 14, n. 13, p. 3224, 2022.

PINTO, Guilherme Henrique Alves *et al.* Effects of composition and pre-treatment on the physical and mechanical properties of pellets of orange juice waste. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 15, n. 6, p. 8731-8743, 2025.

RIVAS, Beatriz *et al.* Submerged citric acid fermentation on orange peel autohydrolysate. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 56, n. 7, p. 2380-2387, 2008.

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.

RUFINO, M. D. S. M. *et al.* Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007a.

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)**, 2007b.

SALTARELLI, Roberta *et al.* Biochemical characterisation and antioxidant activity of mycelium of *Ganoderma lucidum* from Central Italy. **Food Chemistry**, v. 116, n. 1, p. 143-151, 2009.

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**, p. 152-178, 1999.

SOTOME, Kozue *et al.* Taxonomic study of *Favolus* and *Neofavolus* gen. nov. segregated from *Polyporus* (Basidiomycota, *Polyporales*). **Fungal Diversity**, v. 58, p. 245-266, 2013.

SUŁKOWSKA-ZIAJA, Katarzyna *et al.* Bioactivity and mycochemical profile of extracts from mycelial cultures of *Ganoderma* spp. **Molecules**, v. 27, n. 1, p. 275, 2022.

SUŁKOWSKA-ZIAJA, Katarzyna *et al.* Mycelial culture extracts of selected wood-decay mushrooms as a source of skin-protecting factors. **Biotechnology Letters**, v. 43, n. 5, p. 1051-1061, 2021.

USDA - UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Production - Oranges - Top Producing Countries**, Washington, DC, 2026b. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/0571120>. Acesso em: 07 abr 2026

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign Agricultural Service. Citrus Annual: Brazil. Brasília, DF**. USDA, 2026a. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Citrus%20Annual_Brasilia_Brazil_BR2025-0052.pdf. Acesso em: 7 abr. 2026.

VAMANU, Emanuel *et al.* Evaluating the Efficacy of an Extract for UV Defense and Mitigation of Oxidative Stress, Transitioning from Biomass to Bioprotection. **Agronomy**, v. 14, n. 10, p. 2306, 2024.

VANDELOOK, Simon *et al.* Effects of Orange Peel Extract on Laccase Activity and Gene Expression in *Trametes versicolor*. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 6, p. 370, 2024

VARGAS-ISLA, Ruby; ISHIKAWA, Noemia Kazue; PY-DANIEL, Victor. Contribuições etnomicológicas dos povos indígenas da Amazônia. **Biota Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 58-65, 2013.

WU, Ying *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.

XIE, Chunliang *et al.* Mapping the metabolic signatures of fermentation broth, mycelium, fruiting body and spores powder from *Ganoderma lucidum* by untargeted metabolomics. **LWT – Food Science and Technology**, v. 129, p. 109494, 2020.

ZHONG, Jian-Jiang; XIAO, Jian-Hui. Secondary metabolites from higher fungi: discovery, bioactivity, and bioproduction. **Biotechnology in China I: from bioreaction to bioseparation and bioremediation**, p. 79-150, 2009.