

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDSON MAIKON DA ROCHA

QUALIDADE DE COGUMELOS COMESTÍVEIS (*Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus* E *Pleurotus djamor*) DO CULTIVO À PÓS-COLHEITA

CURITIBA

2025

EDSON MAIKON DA ROCHA

QUALIDADE DE COGUMELOS COMESTÍVEIS (*Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus* E *Pleurotus djamor*) DO CULTIVO À PÓS-COLHEITA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEAL) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Regina Maria Matos Jorge

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Danniele Miranda Bacila

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Rocha, Edson Maikon da

Qualidade de cogumelos comestíveis (*Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus* e *Pleurotus djamor*) do cultivo à pós-colheita / Edson Maikon da Rocha. – Curitiba, 2025.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Regina Maria Matos Jorge

Coorientador: Danniele Miranda Bacila

1. Substratos agrícolas. 2. Pinhão. 3. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 4. Compostos bioativos das plantas. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. III. Jorge, Regina Maria Matos. IV. Bacila, Danniele Miranda. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
ALIMENTOS - 40001016019P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE ALIMENTOS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **EDSON MAIKON DA ROCHA**, intitulada: "**Qualidade de cogumelos comestíveis (*Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus* e *Pleurotus djamor*) do cultivo à pós-colheita**", sob orientação da Profa. Dra. REGINA MARIA MATOS JORGE, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 25 de Junho de 2025.

Assinatura Eletrônica
27/06/2025 11:13:28.0
REGINA MARIA MATOS JORGE
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
27/06/2025 13:31:34.0
HELAYNE APARECIDA MAIEVES
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
27/06/2025 10:49:00.0
CRISTIANE VIEIRA HELM
Avaliador Externo (EMBRAPA FLORESTAS)

Assinatura Eletrônica
01/07/2025 20:11:03.0
ARION ZANDONÁ FILHO
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
27/06/2025 18:52:52.0
DAVID CHACÓN ALVAREZ
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE)

Agradecimentos

A Deus, por todas as bênçãos concedidas em minha vida, por colocar as pessoas certas nos momentos certos, pelo amparo nas horas de angústia e por sempre me dar forças e saúde para superar as dificuldades e seguir em frente.

À minha mãe, Veralucia, que nunca mediu esforços para que eu alcançasse todos os meus objetivos, por todo amor, apoio e dedicação.

À minha avó, Orlandina, que cuidou de mim como um filho, com todo seu carinho e atenção.

À minha companheira, Janaina Zuki, em quem encontrei o amor que procurei por toda a vida e, principalmente, durante a jornada na pós-graduação, pelo incentivo, por acreditar em mim, e pelo carinho e cuidado constantes.

À minha mentora e amiga, Suelen, uma mulher fantástica que conheci na pós-graduação. Pelas contribuições no desenvolvimento deste trabalho, pela confiança, pelos ensinamentos e pelo profissionalismo que tornaram possível a realização desta pesquisa. Sua parceria foi fundamental para que eu alcançasse este objetivo.

Ao meu amigo Jair, por todo o incentivo, pelos conhecimentos compartilhados, pelas longas conversas — das quais, às vezes, surgiam boas ideias, como o próprio branqueamento. Sua parceria foi essencial para a concretização deste trabalho.

Aos meus amigos Luiz e Ricardo, pela ajuda e pelos conhecimentos transmitidos sobre cogumelos. Suas colaborações foram indispensáveis para o alcance deste objetivo.

Às minhas orientadoras, Prof^a Dr^a Regina Maria Matos Jorge e Prof^a Dr^a Danniele Miranda Bacila, por todo o suporte prestado e pela confiança depositada durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores, técnicos e demais profissionais com quem cruzei caminhos, pelo auxílio nos experimentos, pelo conhecimento compartilhado e pelos exemplos que contribuirão para minha formação profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da UFPR e aos Departamentos de Nutrição e Ciências do Solo da UFPR, pela infraestrutura disponibilizada para a execução deste projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Pública, a quem devo toda a minha formação acadêmica — em especial às Universidades Tecnológica Federal do Paraná, e Universidade Federal do Paraná, minha segunda casa nos últimos anos, que me proporcionou inúmeras experiências e oportunidades. A Universidade Pública é uma instituição transformadora, na qual ingressei aos 20 anos e sem a qual o sonho da pós-graduação, para uma pessoa pobre, não teria sido possível. Essa instituição moldou o profissional que desejo ser, por meio dos bons exemplos de professores, pesquisadores e profissionais que lutam diariamente contra a ignorância, por meio da ciência.

A todos que estiveram comigo nesta jornada e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

AOS MEUS AMIGOS — TODOS ELES — POR TORNAREM ESSE CAMINHO MAIS LEVE.

RESUMO

Os cogumelos comestíveis têm se destacado na indústria alimentícia pela versatilidade, valor nutricional e viabilidade de cultivo em substratos alternativos. As espécies *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus* e *Pleurotus djamor* apresentam ampla aceitação e potencial de mercado. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar o cultivo de *Pleurotus djamor* em substratos à base de serragem de eucalipto e casca de sementes de pinhão. Foram avaliados os teores de macronutrientes, micronutrientes, compostos fenólicos totais, flavonoides totais e a atividade antioxidante dos cogumelos *Agaricus bisporus* (Botão e Portobello), *Lentinula edodes* (Shiitake) e *Pleurotus ostreatus* (Ostra), cultivados em diferentes substratos. Além disso, foram otimizadas as variáveis tempo e temperatura do branqueamento para *A. bisporus* (Botão e Portobello) e *L. edodes*, e aplicadas as condições ótimas para avaliação da cor e compostos antioxidantes. Para avaliar o uso da casca de sementes de pinhão como substrato alternativo no cultivo de *Pleurotus djamor*, foram utilizados diferentes percentuais de substituição (20-80%) da serragem de eucalipto, e o número de corpos de frutificação, rendimento e eficiência biológica, composição nutricional e mineral dos cogumelos foram avaliados. As amostras de *Agaricus bisporus* (Botão e Portobello), *Lentinula edodes* (Shiitake) e *Pleurotus ostreatus* (Ostra), cultivadas em substratos comerciais, foram obtidas de produtor local para avaliação de macronutrientes, micronutrientes, compostos fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante. O efeito do branqueamento na coloração dos cogumelos *A. bisporus* e *L. edodes* foi investigado utilizando delineamento composto central rotacional, variando tempo (10,3 a 349,7 s) e temperatura (53,8 a 96,2 °C), com uso de superfície de resposta. As condições ótimas foram aplicadas para análise de cor e dos compostos bioativos após o branqueamento. O substrato com 40% de casca de pinhão apresentou melhor desempenho no cultivo de *P. djamor*, com maior rendimento e eficiência biológica, favorecido pela relação C/N ideal. O cogumelo cultivado nesse substrato apresentou teor superior de fibras e baixo de gordura e presença de minerais essenciais como Cu, Fe, P, Mn, Mg e Zn. *A. bisporus* (Botão) apresentou os maiores teores de fósforo, cobre, carboidratos e valor calórico, enquanto o Portobello teve maior teor de cinzas, e o *L. edodes* (Shiitake) apresentou destaque nos teores de fibras, magnésio, manganês e zinco. *P. ostreatus* (Ostra) demonstrou alto teor de proteínas e ferro. Todos os cogumelos apresentaram compostos bioativos com atividade antioxidante, com ênfase para o Botão nos ensaios ABTS, DPPH e FRAP. O branqueamento a 80–83 °C por 170–209 s minimizou alterações de cor, especialmente no Portobello. Após o processamento, o Botão manteve elevada retenção de flavonoides e atividade antioxidante; o Portobello apresentou melhor preservação da cor e compostos fenólicos; e o Shiitake teve menor desempenho nos parâmetros avaliados. O uso da casca de pinhão como substrato alternativo para *Pleurotus djamor* representa uma solução ambiental viável, com ganhos produtivos e nutricionais. Os cogumelos avaliados apresentaram alto valor nutricional e perfis distintos influenciados pelo substrato. O branqueamento otimizado foi eficaz na preservação da cor e dos compostos bioativos, especialmente para Botão e Portobello, contribuindo para a valorização de cogumelos minimamente processados e com maior apelo comercial.

Palavras-chave: Substratos alternativos, casca de pinhão, aproveitamento de resíduos, perfil nutricional, bioativos, condições de processamento do branqueamento.

ABSTRACT

Edible mushrooms have stood out in the food industry due to their versatility, nutritional value, and the feasibility of cultivation on alternative substrates. The species *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus*, and *Pleurotus djamor* have broad acceptance and market potential. Therefore, this study aimed to evaluate the cultivation of *Pleurotus djamor* on substrates based on eucalyptus sawdust and pine nut seed husks. The contents of macronutrients, micronutrients, total phenolic compounds, total flavonoids, and antioxidant activity were evaluated for *Agaricus bisporus* (Button and Portobello), *Lentinula edodes* (Shiitake), and *Pleurotus ostreatus* (Oyster) mushrooms cultivated on different substrates. In addition, blanching time and temperature variables were optimized for *A. bisporus* (Button and Portobello) and *L. edodes*, and the optimal conditions were applied to evaluate color and antioxidant compounds. To assess the use of pine nut seed husks as an alternative substrate in *Pleurotus djamor* cultivation, different substitution percentages (20–80%) of eucalyptus sawdust were used, and the number of fruiting bodies, yield, biological efficiency, and the nutritional and mineral composition of the mushrooms were evaluated. Samples of *Agaricus bisporus* (Button and Portobello), *Lentinula edodes* (Shiitake), and *Pleurotus ostreatus* (Oyster), cultivated on commercial substrates, were obtained from a local producer for the evaluation of macronutrients, micronutrients, total phenolic compounds, total flavonoids, and antioxidant activity. The effect of blanching on the color of *A. bisporus* and *L. edodes* mushrooms was investigated using a central composite rotational design, varying time (10.3 to 349.7 s) and temperature (53.8 to 96.2 °C), applying response surface methodology. Optimal conditions were applied for color and bioactive compound analysis after blanching. The substrate containing 40% pine nut husk showed the best performance in *P. djamor* cultivation, with higher yield and biological efficiency, favored by the ideal C/N ratio. The mushroom cultivated on this substrate showed higher fiber content, lower fat content, and the presence of essential minerals such as Cu, Fe, P, Mn, Mg, and Zn. *A. bisporus* (Button) presented the highest levels of phosphorus, copper, carbohydrates, and caloric value, while Portobello had a higher ash content, and *L. edodes* (Shiitake) stood out in terms of fiber, magnesium, manganese, and zinc content. *P. ostreatus* (Oyster) showed high levels of protein and iron. All mushrooms contained bioactive compounds with antioxidant activity, with an emphasis on Button in the ABTS, DPPH, and FRAP assays. Blanching at 80–83 °C for 170–209 s minimized color changes, especially in Portobello. After processing, Button retained high levels of flavonoids and antioxidant activity; Portobello showed better preservation of color and phenolic compounds; and Shiitake performed less favorably in the evaluated parameters. The use of pine nut husk as an alternative substrate for *Pleurotus djamor* represents a viable environmental solution, with productive and nutritional gains. The evaluated mushrooms demonstrated high nutritional value and distinct profiles influenced by the substrate. Optimized blanching was effective in preserving color and bioactive compounds, especially in Button and Portobello mushrooms, contributing to the valorization of minimally processed mushrooms with greater commercial appeal.

Keywords: Alternative substrates, pine nut shell, waste utilization, nutritional profile, bioactives, bleaching processing conditions.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I - Revisão de Literatura.

FIGURA 1. ESTRUTURAS BÁSICAS DE UM COGUMELO 24

FIGURA 2. MODELO DE COR CIELAB 29

CAPÍTULO II - Redução de resíduos da casca de sementes de *Araucaria angustifolia* através de sua utilização na diversificação de substratos para produção de *Pleurotus djamor*.

FIGURA 3. A) LOCALIZAÇÃO DO EUCALIPTO BOM PASTOR COMÉRCIO DE MADEIRAS, ONDE FORAM COLETADAS AS AMOSTRAS; B) CONÍFERA *Araucária angustifolia*; C) PINHÃO; D) CASCA E) PARTE COMESTÍVEL 36

FIGURA 4. A) CULTURA LÍQUIDA COM MICÉLIO DE *P. djamor*, B) TAMPA ADAPTADA, C) SEMENTE COLONIZADA 36

FIGURA 5. A) FORMULAÇÕES DE SUBSTRATOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA SERRAGEM DE EUCALIPTO POR CASCA MOÍDO DE *Araucária angustifolia* (P20 – P80) OU NÃO (P0), B) COLONIZAÇÃO DE MICÉLIO, E C) COLHEITA 37

FIGURA 6. A) CINÉTICA DE CRESCIMENTO MICELIAL E PROPORÇÃO DE CRESCIMENTO MICELIAL EM RELAÇÃO AO P40. B) CRESCIMENTO MICELIAL ESPECÍFICO AO LONGO DE 14 DIAS 41

FIGURA 7. NÚMERO DE CORPOS FRUTIFICADOS (NFB), RENDIMENTO BIOLÓGICO (BY) E EFICIÊNCIA BIOLÓGICA (BE) AO LONGO DE 28 DIAS DE COLHEITA 42

CAPÍTULO III - Análise nutricional e antioxidante dos cogumelos *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* e *Pleurotus ostreatus*.

FIGURA 8. A) COGUMELO *Agaricus bisporus* (BOTÃO) E B) DIÂMETRO DO PÍLEO; C) COGUMELO *Agaricus bisporus* (PORTOBELLO) E D) DIÂMETRO DO PÍLEO; E) COGUMELO *Lentinula edodes* (SHIITAKE) E F) ROMPIMENTO DO VÉU E

EXPOSIÇÃO DAS LAMELAS; G) COGUMELO <i>Pleurotus ostreatus</i> (OSTRA) E H) DIÂMETRO DO CACHO	51
--	----

CAPÍTULO IV – Avaliação da eficácia do branqueamento e das condições ideais de temperatura e tempo para minimizar o escurecimento de cogumelos comerciais

FIGURA 9. A APARÊNCIA VISUAL DOS COGUMELOS. BOTÃO A) FRESCO, B) EXPERIMENTO 10, C) EXPERIMENTO 7; PORTOBELLO D) FRESCO, E) EXPERIMENTO 10, F) EXPERIMENTO 3 E SHITAKE G) FRESCO, H) CORRIDA 10, I) CORRIDA 3	70
---	----

FIGURA 10. DIAGRAMAS DE SUPERFÍCIE E CONTORNO DE RESPOSTA PARA VARIAÇÃO TOTAL DE CORES (ΔE) DE: (A) BOTÃO, (B) PORTOBELLO AND (C) SHIITAKE. PELO TESTE DE TUKEY, LETRAS DIFERENTES CORRESPONDEM A DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ($P < 0.05$)	74
---	----

CAPÍTULO V - Avaliação da Incerteza dos Modelos Preditivos do Branqueamento otimizado de Cogumelos Comerciais e a Preservação de Compostos Fenólicos Totais, Flavonoides Totais e Atividade Antioxidante em Comparação com outros Processos.

FIGURA 11. VISTA SUPERIOR E ORIENTAÇÃO DO CORTE TRANSVERSAL DOS COGUMELOS. A) BOTÃO, B) PORTOBELLO E C) SHIITAKE	82
---	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - Revisão de Literatura.

TABELA 1. PRODUÇÃO DE COGUMELOS NO ANO DE 2023	23
--	----

CAPÍTULO II - Redução de resíduos da casca de sementes de *Araucaria angustifolia* através de sua utilização na diversificação de substratos para produção de *Pleurotus djamor*.

TABELA 2. CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO	40
---	----

TABELA 3. COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL, MACRO E MICROELEMENTOS DE BASIDIOMICETOS DA FORMULAÇÃO P40 EM BASE ÚMIDA	41
--	----

CAPÍTULO III - Análise nutricional e antioxidante dos cogumelos *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* e *Pleurotus ostreatus*.

TABELA 4. COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DOS COGUMELOS <i>Agaricus bisporus</i> (BOTÃO), <i>Agaricus bisporus</i> (PORTOBELLO), <i>Lentinula edodes</i> (SHIITAKE) E <i>Pleurotus ostreatus</i> (OSTRA) E RESUMO DOS DADOS DA LITERATURA EXPRESSOS EM (G 100G-1)	61
--	----

TABELA 5. CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONÓIDES TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO DE <i>A. bisporus</i> (BOTÃO E PORTOBELLO), <i>L. edodes</i> (S), <i>P. ostreatus</i> (CO) EM BASE FRESCA	58
--	----

CAPÍTULO IV - Avaliação da eficácia do branqueamento e das condições ideais de temperatura e tempo para minimizar o escurecimento de cogumelos comerciais

TABELA 6. MATRIX EXPERIMENTAL FATORIAL COMPOSTO ROTACIONAL CENTRAL. VALORES DE VARIÁVEIS CODIFICADAS E REAIS (ENTRE PARÊNTESES). C É O PONTO CENTRAL	68
--	----

TABELA 7. PARÂMETROS CIE L*A*B*, DIFERENÇA DE LUMINOSIDADE ΔL^* , E VARIAÇÃO TOTAL DA COR ΔE^*	72
---	----

TABELA 8. COEFICIENTE DE REGRESSÃO DOS MODELOS AJUSTADOS PELO DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL	73
--	----

CAPÍTULO V – Avaliação da Incerteza dos Modelos Preditivos do Branqueamento otimizado de Cogumelos Comerciais e a Preservação de Compostos Fenólicos Totais, Flavonoides Totais e Atividade Antioxidante em Comparação com outros Processos.

TABELA 9. VALORES DE VARIAÇÃO TOTAL DA COR (EXPERIMENTAIS E PREVISTOS PELA EQUAÇÃO) DAS AMOSTRAS BRANQUEADAS OBTIDAS NAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE TRATAMENTO	84
--	----

TABELA 10. PARÂMETROS CIE L*A*B*, DIFERENÇA DE LUMINOSIDADE ΔL E VARIAÇÃO TOTAL DA COR ΔE DE AMOSTRAS FRESCAS E TRATADAS POR ULTRASSOM	86
---	----

TABELA 11. CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONÓIDES E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO DE <i>A. bisporus</i> (BOTÃO E PORTOBELLO) E <i>L. edodes</i> (S). EM BASE FRESCA	88
---	----

TABELA 12. COMPARATIVA DA LUMINOSIDADE (L^*), VARIAÇÃO DA LUMINOSIDADE (ΔL), VARIAÇÃO DA COR (ΔE) , COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS (TPC), FLAVONÓIDES TOTAIS (TFC) E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COGUMELOS EM DIFERENTES PROCESSOS	93
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a * - (vermelho – verde)

ABTS - 2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenztiazolina-6-sulfônico)

ANPC - Associação Nacional dos Produtores de Cogumelos

ANOVA - Análise de variação

AOAC - Métodos Oficiais de Análise

b * - (amarelo – azulado)

BE - Eficiência Biológica

BY - Rendimento biológico

C* - Saturação

CB - *Agaricus bisporus*, Cogumelo botão

CCRD - Planejamento fatorial composto rotacional central

CE - Catequina equivalente

CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo

CIE - Comissão Internacional de Iluminação

CO - *Pleurotus ostreatus*, Cogumelo ostra

DPPH - 2,2-difenil-1-picril-hidrazil-hidrato

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO - Food and Agriculture Organization

FRAP - Poder antioxidante redutor férrico

GAE - Ácido Gálico equivalente

ICP - OES - Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado

IDR - Ingestão diária recomendada

L* - Luminosidade

MAPE - Erro Percentual Absoluto Médio

MF - Material fresco

MGR - Taxa de crescimento micelial

MS - Material seco

NFB - Número de corpos frutificados

P - *Agaricus bisporus* Portobello

PPO - Polifenol oxidase

POX - Peroxidase

PR - Taxa de produtividade

PSC - Casca de semente de pinhão

R^2 - Coeficiente de determinação

RSM - Método de superfície de resposta

S - *Lentinula edodes* Shiitake

SD - Desvio Padrão

TE - Trolox equivalente

TFC - Flavonoides totais

TPC - Compostos fenólicos totais

TPTZ - 2,4,6-Tris (2-piridil-s-triazina)

ΔL^* - Variação de Luminosidade

ΔE^* - Variação de cor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVO GERAL	21
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA	22
1. PRODUÇÃO E CONSUMO DE COGUMELOS	23
2 SUBSTRATOS UTILIZADOS PARA PRODUÇÃO DE COGUMELOS	25
3 BRANQUEAMENTO E COLORIMETRIA	27
4 PLANEJAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (CCRD) E SUPERFÍCIE DE RESPOSTA	29
CAPÍTULO II - REDUÇÃO DE RESÍDUOS DA CASCA DE SEMENTES DE <i>Araucaria angustifolia</i> ATRAVÉS DE SUA UTILIZAÇÃO NA DIVERSIFICAÇÃO DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE <i>Pleurotus djamor</i>	31
RESUMO	32
1. INTRODUÇÃO	33
2. MATERIAIS E MÉTODOS	35
2.1 MATERIAL	35
2.2 PRODUÇÃO DA SEMENTE (SPAWN)	36
2.3 FORMULAÇÕES DE SUBSTRATO	36
2.4 CARACTERIZAÇÕES DE SUBSTRATO E <i>P. djamor</i>	37
2.5 INOCULAÇÃO E COLHEITA DO <i>P. djamor</i>	38
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	39
3. RESULTADOS	39
4. DISCUSSÃO	42
5. CONCLUSÃO	45
CAPÍTULO III - ANÁLISE NUTRICIONAL E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COGUMELOS <i>Agaricus bisporus</i>, <i>Lentinula edodes</i> E <i>Pleurotus ostreatus</i>	47
RESUMO	48
1. INTRODUÇÃO	49
2. MATERIAIS E MÉTODOS	50
2.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	51
2.2 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONÓIDES TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	52

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	53
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4. CONCLUSÃO	59
CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO BRANQUEAMENTO E	
CONDIÇÕES IDEAIS DE TEMPERATURA E TEMPO PARA MINIMIZAR O	
ESCURECIMENTO DE COGUMELOS COMERCIAIS	63
RESUMO	64
1. INTRODUÇÃO	65
2. MATERIAIS E MÉTODOS	66
2.1 AMOSTRAS	66
2.2 DESIGN EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	67
2.3 BRANQUEAMENTO	68
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
4. CONCLUSÕES	76
CAPÍTULO V - AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DOS MODELOS PREDITIVOS DO	
BRANQUEAMENTO OTIMIZADO DE COGUMELOS COMERCIAIS E A	
PRESERVAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONÓIDES	
TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM COMPARAÇÃO COM OUTROS	
PROCESSOS	77
RESUMO	78
1. INTRODUÇÃO	79
2. MATERIAIS E MÉTODOS	81
2.1 COLETA, PREPARAÇÃO E BRANQUEAMENTO DE COGUMELOS	81
2.2 ANÁLISE COLORIMÉTRICA DE COGUMELOS ANTES E APÓS O BRANQUEAMENTO	82
2.3 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONÓIDES E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	82
3. ANÁLISE DE DADOS	83
4. RESULTADOS E DISCUSÕES	84
5. CONCLUSÃO	94
CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERÊNCIAS	98
APÊNDICE I	128
APÊNDICE II	129

APÊNDICE III..... 130
APÊNDICE IV 131
APÊNDICE V 132
APÊNDICE VI 133
APÊNDICE VII 134

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse mundial por cogumelos comestíveis está associado não às suas qualidades nutricionais e funcionais, e também ao seu potencial sustentável de produção. Esse alimento é rico em fibras, proteínas, vitaminas, minerais e compostos bioativos com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas (HETLAND et al., 2021; KRISHNAMOORTHY et al., 2022). Características que justificam sua valorização tanto na alimentação quanto aos efeitos terapêuticos.

Das aproximadamente 3.000 espécies de cogumelos comestíveis identificadas, cerca de 100 são cultivadas economicamente, com destaque para os gêneros *Agaricus*, *Pleurotus* e *Lentinula*. Esse crescente interesse tem impulsionado a produção global, liderada pela China, responsável por 94% da produção mundial em 2022 (FAO, 2024). Espécies como *Agaricus bisporus* variantes (Botão e Portobello), *Pleurotus ostreatus* (Ostra), *Pleurotus djamor* (Ostra-rosa) e *Lentinula edodes* (Shiitake) dominam amplamente o mercado (KRISHNAMOORTHY et al., 2022; SHAMS et al., 2022; SIWULKI et al., 2021; YADAV; NEGI, 2021; GONG et al., 2020; RATHORE et al., 2022).

A produção de cogumelos como o *Pleurotus djamor* é favorecida pela sua facilidade de cultivo em regiões tropicais, exigindo condições menos rigorosas e apresentam bom desempenho em diversos substratos lignocelulósicos (JEGADEESH et al., 2018; MARTOS; HECK, 2021). Estudos recentes indicam que a escolha e a suplementação do substrato influenciam significativamente o rendimento, a composição química e a qualidade dos corpos de frutificação (ONYEKA; OKEHIE, 2018; WANG et al., 2022). Apesar da ampla utilização de diferentes materiais como substrato, não há informações na literatura sobre o uso da casca do pinhão para esse fim. Nesse sentido, a utilização de resíduos agrícolas regionais como substratos tem ganhado destaque, promovendo alternativas sustentáveis com impacto ambiental positivo (PARDO-GIMÉNEZ et al., 2018; LEONG et al., 2022).

A expansão do cultivo de cogumelos está também associada à sua capacidade de crescer em uma ampla variedade de substratos, especialmente aqueles provenientes de resíduos agroindustriais. O aproveitamento de resíduos agrícolas, como bagaço, cascas, palhas e serragens, contribui para a sustentabilidade do cultivo, reduzindo impactos ambientais e agregando valor a materiais descartados

(HOA et al., 2015; PARDO-GUIMÍNEZ et al., 2016; (AGUIAR et al., 2021; (GONZÁLEZ, 2021). Essa característica pode reduzir os custos de produção, como também contribui para a sustentabilidade ambiental. No entanto, a diversidade de substratos pode influenciar diretamente a composição química dos cogumelos, alterando os teores de macro e micronutrientes, compostos bioativos e a atividade antioxidante. Apesar da quantidade de estudos na área, ainda persistem lacunas quanto à padronização dos substratos utilizados, o que dificulta comparações consistentes entre diferentes pesquisas.

Com o aumento do consumo e da produção de cogumelos frescos, torna-se cada vez mais relevante garantir a preservação da qualidade pós-colheita, especialmente em relação a atributos sensoriais como textura e coloração. A aparência visual, particularmente o escurecimento e a intensidade da cor, é um dos principais critérios de aceitação pelo consumidor. No entanto, devido ao elevado teor de umidade, à intensa atividade enzimática e à ausência de uma barreira natural protetora, os cogumelos apresentam vida útil reduzida, variando de 3 a 7 dias sob refrigeração, e de 1 a 3 dias em temperatura ambiente (20–25 °C) (XIAO et al., 2011; DIAMANTOPOULOU; PHILIPPOUSSIS, 2015; SUBRAMANIAM et al., 2021).

Diante disso, métodos de conservação tornam-se essenciais para prolongar a durabilidade e manter a qualidade desses alimentos (DA ROCHA et al., 2024). Entre as técnicas disponíveis, o branqueamento hidrotérmico destaca-se por sua simplicidade, baixo custo e eficácia na inativação de enzimas deteriorativas, como a peroxidase (POX) e a polifenoloxidase (PPO), além de reduzir a carga microbiana (LATORRE et al., 2021). Contudo, é necessário investigar as condições ideais de tempo e temperatura para esse processo, de modo a preservar as propriedades nutricionais e organolépticas dos cogumelos de forma eficaz.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do substrato contendo casca de pinhão e do branqueamento otimizado na qualidade nutricional de cogumelos comestíveis.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar a produção e os substratos utilizados para cultivo dos cogumelos *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* e *Lentinula edodes*;
- Avaliar o cultivo do cogumelo Ostra rosa em substratos contendo serragem de eucalipto e casca de pinhão;
- Determinar e comparar os macronutrientes e micronutrientes, compostos fenólicos totais, flavonoides totais e a atividade antioxidante dos cogumelos Botão, Portobello, Shiitake e Ostra cultivados em diferentes substratos;
- Otimizar as variáveis tempo e temperatura do processo de branqueamento para minimizar a variação de cor nos cogumelos Botão, Portobello e Shiitake, e determinar as condições ótimas de operação para cada espécie;
- Aplicar as condições ótimas de tempo e temperatura para o branqueamento nos cogumelos Botão, Portobello e Shiitake e avaliar a variação de cor e os compostos antioxidantes antes e após o processo;

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

1. PRODUÇÃO E CONSUMO DE COGUMELOS

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2023) destaca a Ásia como a principal região produtora de cogumelos e trufas, responsável por 96,4% da produção mundial, que totaliza 50.010.109 toneladas. Países como China, Japão e Índia.

A China, em especial, apresenta um crescimento em sua produção de 16.828.518 toneladas em 2007 para 47.149.437,68 toneladas em 2023. A (TABELA 1) apresenta a produção, em toneladas, dos dez maiores produtores de cogumelos no mundo no ano de 2023 (FAO, 2023). Este crescimento evidencia a importância de valorizar a produção desse tipo de alimento. Desta produção, o cogumelo Botão representa cerca de 38% da produção mundial, seguidos dos cogumelos do gênero *Pleurotus spp.*, de 25% e Shiitake de 12% (FAO, 2023).

TABELA 1 - PRODUÇÃO DE COGUMELOS NO ANO DE 2023

País	Produção (t)	%	País	Produção (t)	%
China	47.149.437,68	94,66	Espanha	163.920,00	0,33
Japão	462.158,24	0,93	Canadá	140.787,00	0,28
Índia	315.000,00	0,63	França	94.550,00	0,19
Estados Unidos	302.390,00	0,61	Rússia	93.502,46	0,19
Polônia	240.400,00	0,48	Alemanha	79.770,00	0,16
Holanda	205.000,00	0,41	Brasil	12.000,00	0,02

FONTE: FAO (2023).

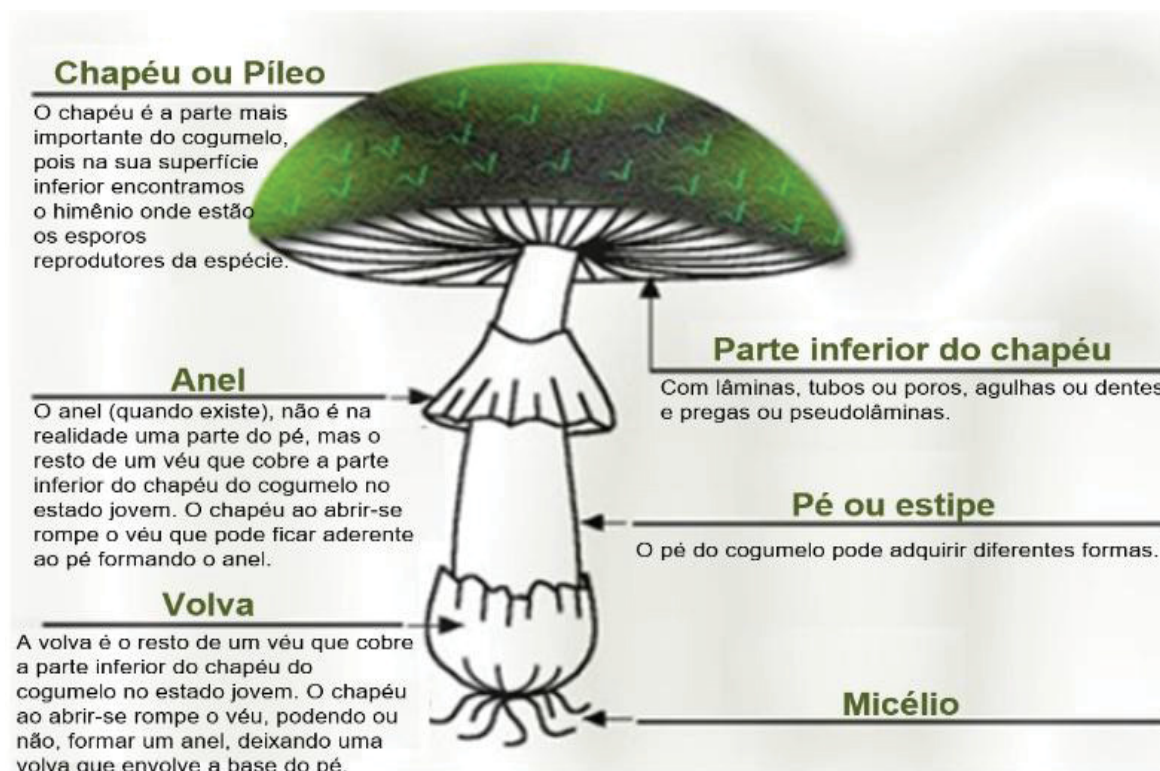
No Brasil, embora a produção de cogumelos seja mais modesta em comparação aos maiores produtores mundiais, ainda é significativa. O estado de São Paulo concentra a maior parte dessa produção, com destaque para municípios próximos à capital, como Mogi das Cruzes (responsável por 88,06% da produção nacional), Campinas (10,85%) e Sorocaba (1,09%) (SACOMANI; TONIN, 2016). Segundo a Associação Nacional dos Produtores de Cogumelos (ANPC, 2021), cerca de 80% dos produtores são agricultores familiares, com produções de pequena e média escala, totalizando aproximadamente 12 mil toneladas de cogumelos por ano.

No Paraná, as principais cidades produtoras são Castro, Tijucas do Sul e Curitiba (CABRERA et al., 2020). Ainda em âmbito nacional, a ANPC (2021) destacou que a comercialização de cogumelos aumentou cerca de 80% nos últimos cinco anos.

O *Agaricus bisporus* é a espécie de cogumelo mais cultivada no Brasil, com uma produção estimada de 8.000 toneladas por ano. Em seguida, destaca-se o gênero *Pleurotus spp.*, com uma produção de 2.000 toneladas, e *Lentinula edodes* de 1.500 toneladas (ANPC, 2021). A preferência mundial e nacional por estas espécies de cogumelos exibem a importância de aprofundar estudos a cerca destes alimentos.

Os cogumelos apresentam uma ampla variedade de formas, tamanhos e cores. As estruturas básicas de um cogumelo estão representadas na (FIGURA 1): píleo, anel, estipe, volva e micélio (SOARES; COSTA, 2014). A parte comestível limita-se do píleo ao estipe. A porção inferior do cogumelo, que inclui a volva e os detritos do micélio presentes no substrato, é removida durante a lavagem, pois se trata de um material extremamente fibroso, pouco apreciado para o consumo (GOMES; SILVA, 2000).

FIGURA 1 - ESTRUTURAS BÁSICAS DE UM COGUMELO



FONTE: Soares e Costa (2014).

O corpo frutificado dos cogumelos apresenta quantidades significativas de vitaminas, minerais, proteínas, polissacarídeos, fibras, gorduras insaturadas, compostos fenólicos, flavonoides e tocoferol. Esses compostos são bem conhecidos por suas atividades benéficas, como propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes, antifúngicas, antibacterianas e antitumorais (KRISHNAMOORTHY et al., 2022; YADAV; NEGI, 2021; GARCÍA et al., 2021; PRIYADARSHINI et al., 2022).

2. SUBSTRATOS UTILIZADOS PARA PRODUÇÃO DE COGUMELOS

A capacidade dos cogumelos de serem cultivados em diferentes composições de substrato tem contribuído significativamente para o aumento da produção. De acordo com Sassine et al. (2024), a composição do substrato influencia de maneira relevante o perfil nutricional dos cogumelos. Entre as principais matérias-primas utilizadas como substrato, destacam-se a casca de café e o sulfato ferroso (VIEIRA et al., 2013); bagaço de cana-de-açúcar, espiga de milho e madeira de acácia com farelo de arroz (HOA et al., 2015); palha de trigo e esterco de galinha (PARDO-GUIMÍNEZ et al., 2016); serragem de eucalipto e farelo de trigo (BACH, 2018); sabugo de milho e farelo de milheto (JIN et al., 2018); semente de palmeira de açaí e tucumã, casca de castanha-do-Brasil e serragem de pinus (AGUIAR et al., 2021); forragem de sorgo, grãos de cevada, farelo de trigo, amêndoas e casca de nozes (GONZÁLEZ, 2021); serragem, cacho de palma, cacho de palma fermentado, haste de palma, farelo de arroz e farelo de trigo (ELKANAH et al., 2022). Entretanto, alguns estudos não descrevem o meio utilizado para o cultivo dos cogumelos (BACH, 2017; RONCERO-RAMOS et al., 2017; RZYMSKI et al., 2017; MAJESTY et al., 2019; USDA, 2021; CARDOSO et al., 2021; KALA et al., 2021; PODKOWA et al., 2021; SIWULSKI et al., 2021; KRISHNAMOORTHY et al., 2022; AGBOOLA et al., 2023; WICKRAMASINGHE et al., 2023).

Os cogumelos dos gêneros *Agaricus* e *Lentinula* estão entre os mais cultivados em resíduos florestais, mesmo necessitando de um sistema rigoroso de cultivo, principalmente no controle da temperatura e umidade no período de desenvolvimento do micélio (AGBOOLA et al., 2023; SASSINE et al., 2024).

O *Eucalyptus urograndis* é um híbrido desenvolvido no Brasil por meio do cruzamento entre *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. A serragem do *Eucalyptus urograndis* é amplamente utilizada como componente de substratos no

cultivo de cogumelos. Devido a isso, essa matéria-prima tem ganhado destaque entre os pesquisadores (ZIED et al., 2024; OLIVEIRA et al., 2022).

A conífera *Araucaria angustifolia* é nativa da América do Sul, sendo encontrada principalmente nas regiões Sul e Sudoeste do Brasil, bem como no norte da Argentina. No território brasileiro, sua distribuição ocorre majoritariamente nos estados do Paraná e de Santa Catarina, com remanescentes em Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul (DE SOUSA et al., 2020; KLEIN, 1960; CARVALHO, 1994). Esta conífera possui grande relevância econômica para as populações locais (FIGUEIREDO FILHO et al., 2011). Além do uso de sua madeira, destaca-se pelo valor do artesanato e pelo cultivo e consumo de sua semente, o pinhão, reconhecido como um alimento nutritivo e energético, tanto para a alimentação humana quanto para a fauna silvestre. Trata-se de um produto sazonal, com colheita entre abril e agosto (DE GODOY et al., 2018). A *Araucária angustifolia* é protegida por lei, segundo a Portaria nº 046/2015 do IAP, tem como objetivo conciliar a geração de renda com a proteção da reprodução da araucária, autorizando a colheita do pinhão desde que esteja maduro para comercialização (IAT, 2022).

A casca do pinhão é um material lignocelulósico rico em celulose, hemicelulose e lignina. Até o momento, não tinha sido explorada como componente de substratos. Ainda, complementar o conhecimento sobre a interferência de diferentes substratos na composição nutricional dos cogumelos.

No entanto, os cogumelos do gênero *Pleurotus* estão amplamente distribuídos ao redor do mundo, especialmente em ambientes florestais (BONONI et al., 1995; MILES; CHANG, 2004), cultivados em substratos simples, com a capacidade de utilizar resíduos agrícolas e florestais como substratos viáveis (PARDO-GIMÉNEZ et al., 2018; LEONG et al., 2022). O que se deve a sua eficiência em degradar resíduos lignocelulósicos, devido ao complexo sistema enzimático (RUDAKIYA; GUPTA, 2019; ATIWESH et al., 2022).

Por exemplo, o *Pleurotus eryngii* destaca o seu potencial em decompor resíduos agrícolas, decomponho eficazmente vários materiais, incluindo resíduos de algodão, palha de trigo, bagaço de cana-de-açúcar, espigas de milho, palha de arroz e serradura de acácia (SARDAR et al., 2017).

O *Pleurotus djamor*, conhecido como cogumelo Ostra-rosa, é um fungo saprofítico que se alimenta da matéria orgânica sobre a qual cresce. Esse cogumelo é encontrado em regiões tropicais, frutificando em um amplo intervalo de temperaturas

de cultivo, o que o torna uma espécie extremamente adaptável (JEGADEESH et al., 2018). Ou seja, não necessita de um controle de cultivo rigoroso (MARTOS; HECK, 2021) e apresenta resistência a patógenos, sendo um cogumelo de crescimento sazonal, com frutificação predominante no verão (PINEDA-ALEGRÍA et al., 2017; OTALI et al., 2024). Quando o cultivo é bem sucedido, o fungo, produz corpos frutíferos carnosos, esbranquiçados na fase jovem e com coloração rosa-alaranjada na fase madura (VALDEZ-SOLANA et al., 2023).

3. BRANQUEAMENTO E COLORIMETRIA

A produção de cogumelos no Brasil não é suficiente para atender à demanda interna (CABRERA et al., 2020), o que estimula a pesquisa de processos que aumentem a vida útil dos alimentos. Uma dessas alternativas é o branqueamento, um procedimento de preservação simples e de baixo custo, que atua na eliminação de substâncias indesejáveis. Em alguns casos, este método é aplicado antes do armazenamento para inativar enzimas deletérias e reduzir a carga microbiana (REIS, 2023).

O processo de branqueamento consiste na exposição do alimento a uma fonte de calor, em temperatura e tempo previamente determinados, seguida de um resfriamento (LATORRE et al., 2013). Esse procedimento oferece diversos benefícios, como o prolongamento da vida útil do alimento, a redução de custos e da carga microbiana, a facilitação da remoção de cascas, a eliminação de substâncias indesejadas e o amolecimento da textura, o que favorece seu envase ou preparo culinário posterior. Além disso, o branqueamento contribui principalmente para a inativação enzimática, modificação da textura, além de ajudar na preservação da cor e do sabor dos alimentos (REIS, 2023; RICHTER REIS, 2017; MCCANN et al., 2006; MATÉ et al., 1999; HELDMAN et al., 1997; BARRETT; THEERAKULKAIT, 1995).

Segundo Chaquilla-Quilca et al. (2024), o cogumelo *Suillus luteus* desidratado e previamente submetido ao branqueamento apresentou maior luminosidade (menor escurecimento) em comparação às amostras sem tratamento ou imersas em ácido cítrico. Reforçando essa observação, (GONÇALVES et al., 2017) aponta que o cogumelo *Pleurotus ostreatus*, quando cozido, obteve melhores avaliações na análise sensorial de cor do que a forma fresca.

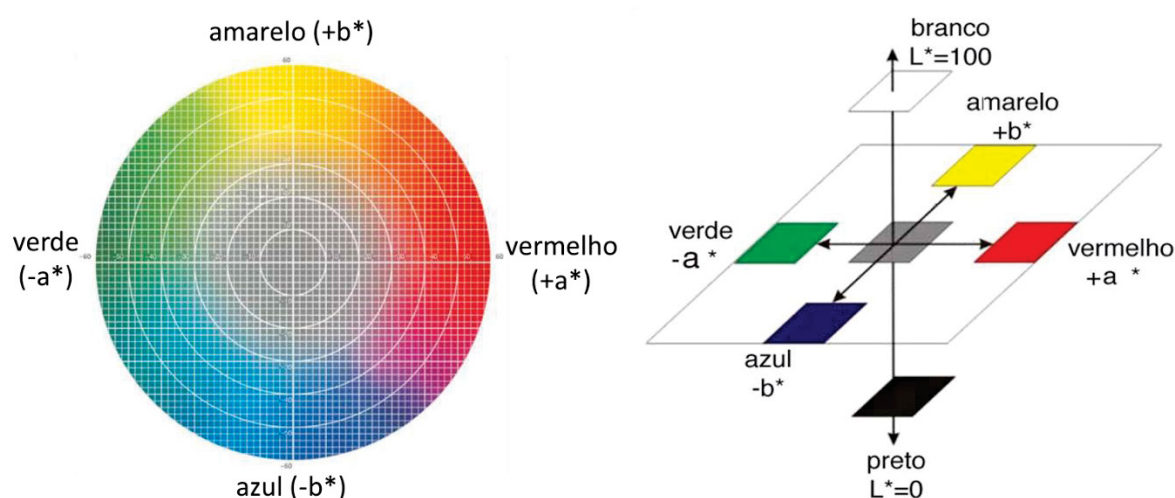
A eficiência do branqueamento é geralmente avaliada com base na inativação de enzimas termo resistentes, como a peroxidase e a polifenoloxidase, responsáveis por alterações indesejáveis no valor nutritivo, no sabor e na cor dos alimentos, incluindo o aparecimento de pigmentos escuros. Entre os atributos sensoriais, a cor exerce um papel fundamental na aceitação dos alimentos pelo consumidor.

O aspecto visual é o primeiro contato que o consumidor tem com um produto alimentício; se a cor não for atrativa, outros atributos de qualidade, como o sabor e a textura, muitas vezes nem chegam a ser considerados (CLYDESDALE, 1993). Segundo Haminiuk (2007), as cores dos alimentos também costumam ser associadas aos sabores que os produtos podem apresentar.

No comércio, a coloração adequada dos alimentos é fundamental, pois a cor do produto é imediatamente associada ao seu estado de conservação e à sua qualidade (SALDAÑA et al., 2014). Para quantificar o escurecimento causado por enzimas, uma das abordagens utilizadas é o estudo da colorimetria. Essa técnica é empregada na avaliação da coloração de diversos produtos alimentícios, como carnes, bebidas, frutas e vegetais (CALVO; DURÁN, 1997).

O sistema adotado nesta pesquisa segue o modelo CIE, que define a cor com base em três componentes: luminosidade (ou claridade), tonalidade (ou matiz) e saturação (ou cromaticidade), os quais compõem o sistema conhecido como CIELab (FIGURA 2). A luminosidade é representada pela variável “ L^* ”, que estabelece a escala de cinza entre o branco e o preto, variando de 0 (preto absoluto) a 100 (branco total), e é expressa graficamente por uma reta perpendicular a um círculo que passa por seu centro. A tonalidade refere-se às cores primárias — vermelho, verde, amarelo e azul — e é caracterizada em um círculo cromático atravessado por duas retas perpendiculares (horizontal e vertical), que se cruzam no centro. As cores são representadas pelas variáveis “ $+a^*$ ” (vermelho), “ $-a^*$ ” (verde), “ $+b^*$ ” (amarelo) e “ $-b^*$ ” (azul), respectivamente (HUNTER, 1987). A saturação, por sua vez, é expressa pela variável “ C ” e varia de 0 a 60 (SILVA et al., 2015).

FIGURA 2 - MODELO DE COR CIELAB



FONTE: LEONE (2014).

4. PLANEJAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (CCRD) E SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

Diversos estudos têm adotado o delineamento fatorial como abordagem metodológica no planejamento experimental de processos alimentícios. Esse tipo de delineamento é amplamente reconhecido por suas vantagens, especialmente pela eficiência na investigação de múltiplos fatores com um número reduzido de experimentos, o que o torna uma ferramenta valiosa em etapas exploratórias de pesquisa. Além disso, o delineamento fatorial permite identificar tendências, interações entre variáveis e possíveis efeitos significativos, contribuindo para o direcionamento de estudos subsequentes e para a otimização de processos tecnológicos.

Além disso, quando é necessária uma investigação mais aprofundada em determinada região do espaço experimental, é possível complementar os experimentos por meio da Metodologia de Superfície de Resposta, com o objetivo de alcançar a região ótima (máxima ou mínima) do espaço analisado (MARINHO et al., 2005).

A Metodologia do Delineamento Composto Central Rotacional (CCRD) é uma extensão do planejamento fatorial, composta por um conjunto de métodos estatísticos e matemáticos utilizados no estudo das inter-relações entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) e diversos fatores (variáveis independentes). Esta prática

estatística tem sido amplamente empregada na modelagem de diversos processos industriais (BARROS NETO et al., 1996).

O CCRD é utilizado dentro da Metodologia de Superfície de Resposta, constituindo um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas aplicadas para modelar e investigar problemas em que a resposta de interesse é influenciada por determinadas variáveis, buscando-se, nesse contexto, alcançar um valor ótimo para essa resposta (MONTGOMERY, 2013). Essa metodologia é descrita como prática, econômica e de fácil implementação (RAO, 2007).

De acordo com Almeida et al. (2018), o polinômio de segunda ordem representa de forma satisfatória os problemas associados à superfície de resposta, sendo expresso pela equação $Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{1 \leq i < j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$, em que Y representa a resposta de interesse, k é o número de variáveis independentes, β são os coeficientes estimados, $\mathbf{x}$ os parâmetros e ε o termo de erro associado. A partir desse modelo, é possível localizar o ponto ótimo. Assim, o principal objetivo da Metodologia de Superfície de Resposta é estabelecer as condições ótimas de operação de um sistema ou determinar a região do espaço onde as exigências operacionais sejam atendidas (MONTGOMERY, 2013).

A aplicação do CCRD para identificar as melhores condições de processamento no branqueamento de cogumelos ainda não foi realizada. (NAINGGOLAN et al., 2023; ALMEIDA et al., 2025; SEVERINI et al., 2004). O sistema CIE (Commission Internationale de l'Éclairage – Comissão Internacional de Iluminação) mostra-se como um aliado na mensuração das alterações colorimétricas ocorridas nos cogumelos. O CCRD já foi previamente aplicado no delineamento experimental de outros alimentos (LE MOS et al., 2020; DA SILVA LEAL et al., 2022).

O fluxograma (APÊNDICE VII) apresenta a estrutura básica dos estudos desenvolvidos na tese, conforme os objetivos propostos. A avaliação da casca de pinhão como substrato alternativo no cultivo de *Pleurotus djamor*, a caracterização nutricional e funcional de cogumelos comestíveis e a otimização do branqueamento para preservação da cor e compostos bioativos.

CAPÍTULO II - REDUÇÃO DE RESÍDUOS DA CASCA DE SEMENTES DE *Araucaria angustifolia* ATRAVÉS DE SUA UTILIZAÇÃO NA DIVERSIFICAÇÃO DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE *Pleurotus djamor*

ROCHA, E, M.; AVILA, S.; LIMA, J, J.; SILVA, R, S, A.; ANDRADE, L, E, P.; BACILA, D, M.; MATHIAS, A, L.; JORGE, R, M, M.

Scientia Horticulture. Qualis – Capes A1. (2024)

Publicado.

(Apêndice I, II)

RESUMO

Os cogumelos do gênero *Pleurotus* são a segunda variedade mais cultivada e consumida no mundo devido a seu perfil nutricional e utilização eficiente de resíduos agrícolas e florestais como substratos. Para explorar a eficiência da lignocelulose da casca de sementes de *Araucaria angustifolia* (pinhão) (PSC) como substrato substituto (20%, 40%, 60% ou 80%) de serragem de eucalipto para produção de *Pleurotus djamor* (PD) foi estimada a número de corpos de frutificação (NFB), rendimento biológico (BY), eficiência biológica (BE) e valores nutricionais e minerais. O PSC foi separado da semente da amêndoa, seco, moído e utilizado como substrato alternativo (0-80%) à serragem de eucalipto (400 g), que foi misturada com farelo de trigo (97 g) e CaCO_3 (3 g). Devido a uma maior relação Carbono/Nitrogênio do substrato PSC, foi observado melhor compatibilidade para uma atividade enzimática do cogumelo PD do que substrato de serragem de *E. urograndis*. O substrato enriquecido com 40% de PSC apresentou teor elevado de cinzas conteúdo (minerais) e níveis de umidade reduzidos, maior relação carbono/nitrogênio, condições ideais para NFB, e aumentou BY e BE. PD apresentou níveis significativos de valores de fibras alimentares e elementos essenciais, incluindo Cu, Fe, P, Mn, Mg e Zn, com teor mínimo de gordura. Redução de resíduos de *Araucaria angustifolia* através de seu aproveitamento com diversificação de substratos para a produção de PD traz resultados ambientais e sociais favoráveis, melhorando tanto o rendimento dos cogumelos como o seu conteúdo nutricional. Esta abordagem serve como uma medida ambiental com solução sustentável para resíduos da casca de pinhão e deve ser incentivada e ampliada para uso mais amplo.

Palavras chave: Cogumelo ostra rosa, substratos alternativos, aproveitamento de resíduos, composição nutricional, eficiência biológica, sustentabilidade na horticultura.

1. INTRODUÇÃO

Os cogumelos comestíveis surgiram como uma solução promissora e sustentável para responder à crescente procura de fontes alimentares nutricionalmente ricas e ambientalmente sustentáveis. Dentro disso, o gênero *Pleurotus* conquistou reconhecimento específico por sua adaptabilidade e rápido crescimento (KALAČ, 2016). Superado apenas pelo gênero *Agaricus*, os cogumelos *Pleurotus* são os segundos cogumelos mais cultivados e consumidos em todo o mundo (MLECZEK, 2013). Estes cogumelos possuem uma riqueza em fibras, proteínas, elementos minerais essenciais e vitaminas, o que os torna altamente valiosos para consumo dietético (PAPADAK et al., 2019). A proliferação global do cultivo do cogumelo *Pleurotus* tem sido impulsionada pelos seus benefícios económicos e ambientais, bem como pela sua capacidade de utilizar resíduos agrícolas e florestais como substratos viáveis (PARDO-GIMÉNEZ et al., 2018; LEONG et al., 2022).

As espécies do gênero *Pleurotus* exibem uma capacidade distinta de decompor matéria orgânica, facilitada por suas capacidades de secreção enzimática, permitindo a quebra de celulose, hemicelulose, pectina e lignina (BELLETTINI et al., 2019). O exemplo do *Pleurotus eryngii* sublinha o seu potencial para decompor resíduos agroindustriais, decompondo eficazmente vários materiais, incluindo resíduos de algodão, palha de trigo, bagaço de cana-de-açúcar, espigas de milho, palha de arroz e serradura de acácia (SARDAR et al., 2017). Além disso, o cogumelo *Pleurotus djamor* frutifica sem esforço em climas tropicais num amplo espectro de temperaturas, tornando-o uma espécie extremamente adaptável (JEGADEESH et al., 2018) e não necessita de condições de cultivo rigorosas (MARTOS; HECK, 2021). Apesar da expansão contínua da produção global dos cogumelos, o mercado não consegue satisfazer as exigências em todas as regiões (MAHARI et al., 2020).

O cultivo bem-sucedido de cogumelos depende da seleção meticulosa de substratos, pois eles influenciam significativamente o crescimento, o desenvolvimento e a qualidade geral dos cogumelos. Várias espécies de *Pleurotus* foram cultivadas com sucesso usando diversos substratos, incluindo restos agrícolas como serragem de *Eucalyptus urograndis* (COSTA et al., 2022), palha de trigo, folhas de plantas e serragem (ADEBAYO et al., 2021; ELATTAR et al., 2019; GARUBA et al., 2017; SARDAR et al., 2017). No entanto, avanços na composição do substrato foram

alcançados através da suplementação com farelo de arroz, farelo de trigo, resíduos de milho, folha de bananeira e palha de trigo, resultando em benefícios como maior conteúdo nutricional, maior rendimento, melhor eficiência biológica, crescimento acelerado de micélio e maior qualidade dos corpos de frutificação (WANG et al., 2022; ODUNMBAKU; ADENIPEKUN, 2018; ONYEKA; OKEHIE, 2018).

A otimização da composição do substrato por meio da suplementação com substratos contendo celulose, pectina, lignina e uma proporção adequada de carbono para nitrogênio influenciou as taxas de crescimento do micélio. Onyeka e Okehie (2018) com mistura de substrato de 75% de serragem e 25% de casca de mandioca para *Pleurotus ostreatus* proporcionou maior rendimento de corpo frutífero e eficiência biológica. Da mesma forma, Odunmbaku e Adenipekun (2018) relataram melhores resultados usando serragem de *G. arborea* combinada com 20% de farelo de arroz para *Pleurotus ostreatus*. Wang; Zhao, (2023) observaram que um substrato com 83% de serragem de pinheiro, 15% de farelo de trigo e 2% de CaCO_3 para *Pleurotus pulmonarius* maximizou o conteúdo de proteínas e aminoácidos, mas exibiu menor eficiência biológica em comparação com substratos alternativos (apenas serragem, farelo de arroz, resíduos de milho, folha de banana).

Nesse contexto, a utilização da casca da *Araucaria angustifolia*, que corresponde a aproximadamente 22% da semente conhecida como pinhão, subproduto de agroindustriais de pinhão em conserva, poderia ser um suplemento do substrato alternativo. *Araucaria angustifolia*, uma árvore encontrada principalmente no Sul e Sudoeste do Brasil, bem como no Norte da Argentina (WENDLING; ZANETTE, 2017), possui significativa importância sociocultural local, mas atualmente é classificada como espécie ameaçada de extinção (PERALTA et al., 2016). Consequentemente, o abate deste pinheiro é restringido por lei, garantindo a produção e utilização das suas sementes. A floração da *Araucária angustifolia* produz sementes conhecidas coletivamente como pinha. Cada uma delas apresenta diâmetro de 10 a 25 cm e contém cerca de 700 a 1.200 escamas, com aproximadamente 150 sementes pesando até 4,7 kg (BRASIL et al., 2006).

O pinhão colhido é fervido em água e amplamente consumido devido às suas propriedades funcionais, composto principalmente por amido e quantidades mínimas de açúcares e lipídios. Sua versatilidade foi demonstrada em diversos setores, incluindo as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (CASTRILLON et al., 2023). No entanto, aproximadamente 700 toneladas de cascas de sementes de

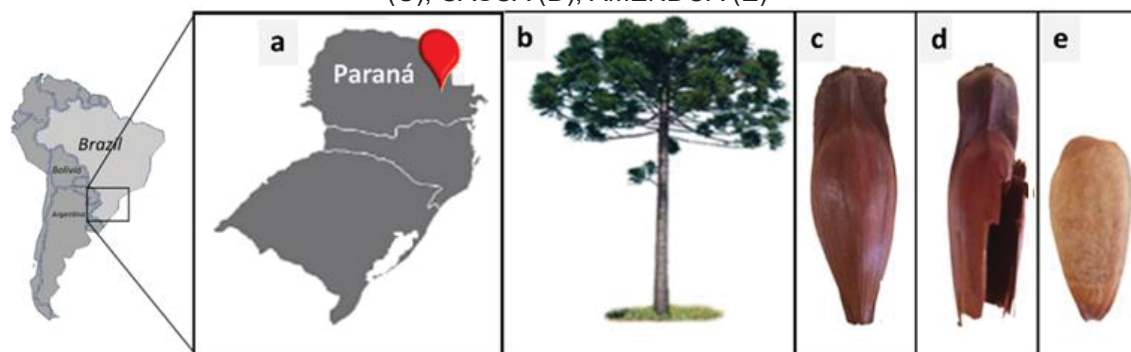
pinhão são normalmente descartadas como resíduos anualmente, necessitando de um período significativo para decomposição (BRASIL et al., 2006). Considerando que a casca do pinhão é um resíduo rico em compostos carbonáceos e elementos essenciais (BACH, 2019; DAUDT et al., 2017) e considerando a capacidade do *Pleurotus djamor* de prosperar em vários substratos, incluindo resíduos agrícolas, este estudo visa avaliar a produção e crescimento do cogumelo ostra rosa (*Pleurotus djamor*) em substratos contendo serragem de eucalipto e casca de *Araucaria angustifolia* (pinhão).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

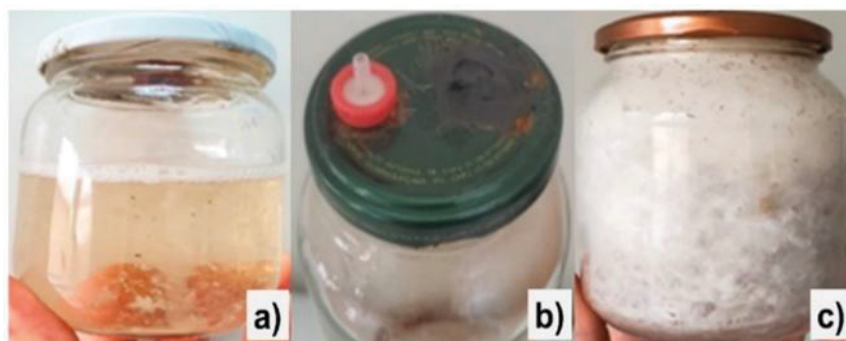
A serragem de madeira da conífera *Eucalyptus urograndis* foi doada pela Eucalipto Bom Pastor Comércio de Madeiras em 2021 (25°52'45,88"S, 49°19'75,08" W). O farelo de trigo foi adquirido no mercado municipal de Curitiba, marca Campo Verde da safra 2021 de São Paulo. O carbonato de cálcio (CAS: 471-34-1) foi adquirido da marca Neon, Brasil. Sementes de pinhão de *Araucaria angustifolia* foram coletadas no município de São José dos Pinhais Paraná, Brasil (25°19'18,2"S, 49°09'33,7"W) em 2021 (FIGURA 3(A), 3(B)). A casca e a amêndoa do pinhão seco foram separadas com auxílio de uma faca (FIGURA 3(C), 3(D), 3(E)). A casca foi seca em estufa com circulação de ar a 60°C por 72 horas e moída em moinho de facas (Willye Star FT50) para produção de material (PSC) em substituição à serragem de madeira no substrato de produção de cogumelos. O inóculo de *P. djamor*, na forma de cultura líquida, contendo aglomerados miceliais com diâmetro variando de 0,5 mm a 5 mm, foi adquirido da empresa Mushroom Partners, localizada no Brasil, nas coordenadas 25°43'35.87" S, 49°27'41.95" W (Figura 4(A)).

FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DO EUCALIPTO BOM PASTOR COMÉRCIO DE MADEIRAS, ONDE FORAM COLETADAS AS AMOSTRAS (A); CONÍFERA ARAUCÁRIA ANGUSTIFÓLIA, (B); PINHÃO (C); CASCA (D); AMÊNDOA (E)



FONTE: Autor (2024).

FIGURA 4 - CULTURA LÍQUIDA COM MICÉLIO DE *P. djamor* (A); TAMPA ADAPTADA, (B); SEMENTE COLONIZADA (C)



FONTE: Autor (2024).

2.2 PRODUÇÃO DA SEMENTE (SPAWN)

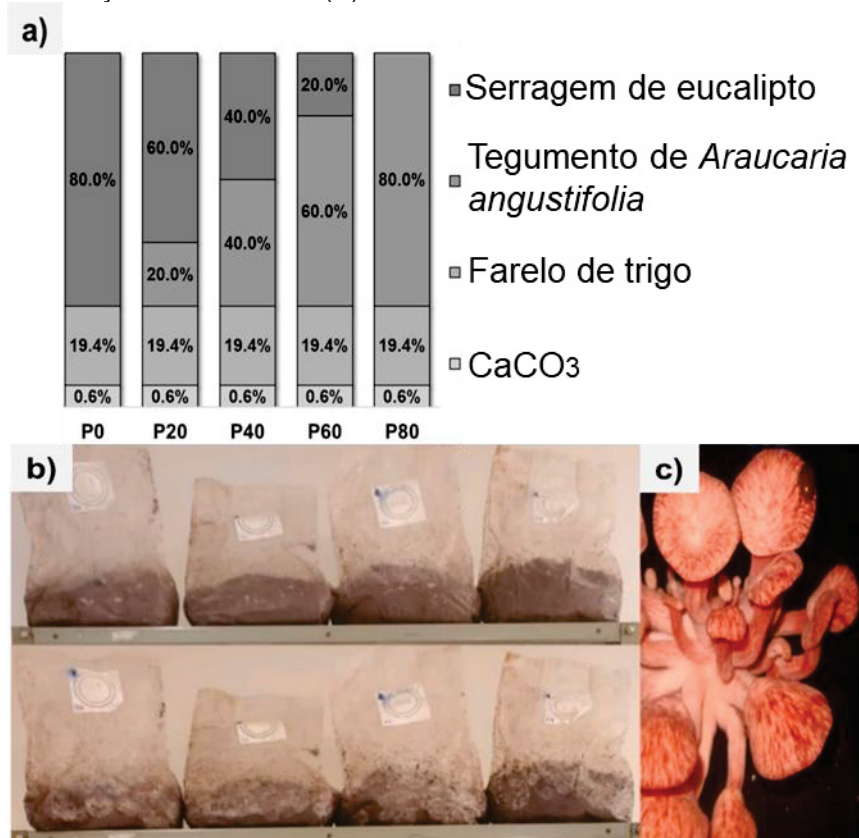
A inoculação foi realizada com tampas modificadas, que possuíam porta de injeção asséptica para entrada da cultura líquida e filtro de ar para bloquear contaminações externas, permitindo apenas a troca de ar (FIGURA 4 (B)). Para o processo de cultivo foram adicionados em um recipiente estéril 350 g de casca de aveia, 3,5 g de carbonato de cálcio, 50 ml de água e 2 mL de inóculo; todos os materiais eram estéreis. Todo o procedimento de inoculação foi realizado em câmara de fluxo laminar e o período de colonização durou 14 dias em temperatura ambiente.

2.3 FORMULAÇÕES DE SUBSTRATO

O substrato controle (500 g, P0) foi preparado em quadruplicata, utilizando serragem de eucalipto (400 g, 80%), farelo de trigo (97 g, 19,4%) e CaCO_3 (3 g, 0,6%)

(SILVA et al., 2021). Aditivamente, o PSC foi utilizado como alternativa parcial à serragem de eucalipto em proporção variável (P20: 20% PSC (100 g) e 60% Eucalipto (300 g), P40: 40% PSC (200 g) e 40% Eucalyptus (200 g), P60: 60% PSC (300 g) e 20% Eucalyptus (100 g), ou P80: 80% PSC (400 g)) para compor quatro novos substratos a serem testados na produção de *Pleurotus djamor*, (FIGURA 5(A)).

FIGURA 5 - FORMULAÇÕES DE SUBSTRATOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL OU TOTAL DE SERRAGEM DE EUCALIPTO E/OU CASCA DE *Araucaria angustifolia* (P0 – P80) (A). COLONIZAÇÃO DE MICÉLIO (B). COLHEITA DE CORPOS FRUTIFICADOS (C)



FONTE: Autor (2024).

2.4 CARACTERIZAÇÃO DE SUBSTRATO E *P. djamor*

Amostras frescas de substrato (P0, P20, P40, P60 e P80) antes da inoculação foram primeiro moídas em moinho de facas, seguido de moinho de bolas para obtenção de partículas menores ou iguais a 0,51 mm (20 mesh). As amostras dos diferentes substratos foram pesadas em finas folhas de estanho e levadas diretamente ao equipamento para quantificação de carbono e nitrogênio. Foram posteriormente

caracterizados por combustão seca de carbono e nitrogênio usando um analisador elementar de cubo Vario EL (ELEMENTAR, Vario EL CUBE, Alemanha).

Para caracterização nutricional e elementar do *P. djamor* foram realizadas determinações de umidade (AOAC 925.10), cinzas (AOAC 923.03), proteínas (AOAC 920.87), lipídios (AOAC 920.39), fibras solúveis e insolúveis (AOAC 991.43) (AOAC, 2019). O teor total de carboidratos foi calculado por diferença ($100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{lipídeo} + \text{proteína})$). O valor energético ou calórico (kcal/100g) foi calculado por $= [(16,7 \times \text{Proteína}) + (37,7 \times \text{Lípideos}) + (16,7 \times \text{Carboidrato})]$. Para análise elementar, 0,25 g de *P. djamor* previamente seco e triturado foram imersos em 1 ml de peróxido de hidrogênio, 4 ml de ácido nítrico e 3 ml de água ultrapura, seguido de decomposição assistida por micro-ondas. As amostras digeridas foram analisadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado conforme metodologia de (JASINSKA et al., 2022) para determinação dos elementos Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P e Zn, expressos em mg/ 100 g de cogumelo.

2.5 INOCULAÇÃO E COLHEITA DO *P. djamor*

As formulações foram acondicionadas em sacos de polietileno de alta densidade, equipados com filtro de 0,2 μm . Cada unidade foi ajustada para 60% de umidade e pH 6,5, conforme recomendação de Bellettini et al. (2019). Em seguida, os sacos com os substratos foram submetidos à esterilização em autoclave (AV-75 Tecnal) a 121°C e 1 kg/cm² por um período de 3h, (FIGURA 5B) (RYU et al., 2015).

Após a esterilização, o substrato foi inoculado com a spawn. Essa etapa foi realizada em câmara de fluxo laminar com condições uniformes de temperatura, umidade e iluminação. A colonização micelial foi monitorada durante sete dias e, posteriormente, o progresso da frutificação foi monitorado. A colheita foi realizada quando o corpo de frutificação de *P. djamor* atingiu diâmetro médio de $4,75 \pm 1,29$ cm (FIGURA 5C).

Ao longo do experimento, os basidiomas foram colhidos nos dias 7, 10, 17, 18, 23 e 28. Durante as colheitas foram feitos registros do número de corpos frutificados (NFB) e da biomassa de cogumelos produzida, do rendimento biológico (BY). Além disso, foi calculada a eficiência biológica (BE), que representa a proporção do peso fresco dos cogumelos produzidos em relação ao peso seco inicial do substrato, e a taxa de produtividade (PR), obtida pela divisão da eficiência biológica

(BE) pelo número de dias do processo de fermentação no estado sólido. No mesmo horário, todos os dias, o avanço da colônia em termos da extensão linear do crescimento micelial entrelaçado de *P. djamor* foi medido usando um paquímetro e expresso em cm/dia, denominado taxa de crescimento micelial (MGR).

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O software STATISTICA (StatSoft Inc., EUA) versão 10 foi utilizado para análise dos resultados. Médias e desvios padrão foram empregados para representar os resultados de cada ensaio. Primeiramente foram verificadas a normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e a homogeneidade (teste de Levene) para todas as variáveis. Em seguida, a ANOVA determinou as diferenças significativas. Em seguida, foi aplicado o teste de Tukey para comparação das amostras a 95% ($p < 0,05$) utilizando o software SASM-Agri versão 8.2. Os gráficos e equações foram gerados no software Microsoft Excel versão 2019.

3. RESULTADOS

Após a moagem, a casca (PSC, em porcentagem) de *Araucaria angustifolia* (pinhão) apresentou granulometria variando entre 150 e 2000 μm e maior teor de cinzas ($1,50 \pm 0,06$ g/100g) em relação à serragem de eucalipto ($0,20 \pm 0,02$ g/100g), 7,5 vezes maior e menor umidade em relação à serragem (11%). A adição da casca de pinhão (PSC) não influenciou significativamente no teor de nitrogênio (N) (TABELA 2). P60 (60%) é um outlier, assim, o P60 foi excluído na modelagem das equações N% e C%, N% pode ser previsto por $N\% = 0,0002 \cdot \text{PSC} + 0,4626$ ($R^2 = 0,9757$) de acordo com os resultados de PSC 0 (controle), P20, P40 e P80 (FIGURA 4A). Da mesma forma, a adição da casca de pinhão (PSC) aumenta diretamente o teor de carbono (C) ($R^2 = 0,9759$, $C\% = 0,0822 \cdot \text{PSC} + 37,86$, com PSC 0, 20, 40, 60 e 80). As formulações de substrato com quantidades mais significativas de PSC (80%) apresentaram teor de carbono de quase 45% (TABELA 2).

TABELA 2 - CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS COM 20% DE FARELO DE TRIGO (97G) E CaCO_3 (3G), E QUANTIDADES VARIADAS DE SERRAGEM DE EUCALIPTO E PSC; P0: 80% EUCALIPTO (400G), P20: 20% PSC (100G) E 60% EUCALIPTO (300G), P40: 40% PSC (200G) E 40% EUCALIPTO (200G), P60: 60% PSC (300G) E 20% EUCALIPTO (100G), OU P80: 80% PSC (400G)

Parâmetros	Formulações dos Substratos				
	P0	P20	P40	P60	P80
Nitrogênio (%)	0,46±0,01 ^a	0,46±0,01 ^a	0,47±0,01 ^a	0,46±0,01 ^a	0,47±0,01 ^a
Carbono (%)	37,86±0,29 ^d	39,97±0,55 ^c	42,02±0,10 ^b	42,62±0,60 ^b	44,76±0,75 ^a
Carbono/Nitrogênio (C/N)	82,03±1,48 ^d	82,28±0,37 ^d	91,39±1,06 ^b	92,54±1,81 ^{ab}	94,03±2,16 ^a
MGR (cm/dia)	0,97±0,19 ^c	1,14±0,18 ^{bc}	1,40±0,20 ^a	1,24±0,08 ^{ab}	1,00±0,08 ^c
PR (BE/dia)	0,88±0,05 ^a	0,81±0,05 ^a	0,80±0,10 ^a	0,41±0,06 ^c	0,57±0,07 ^b

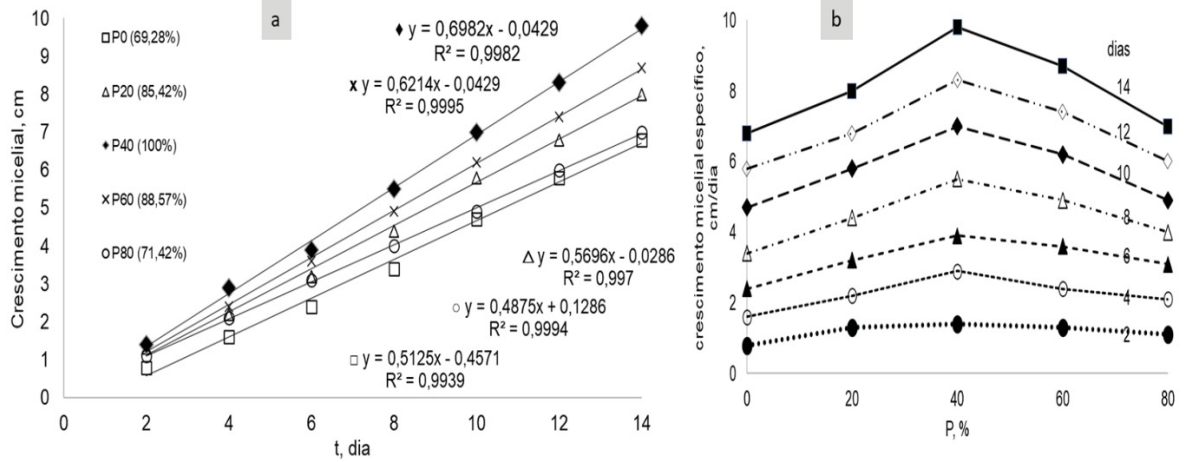
* Os dados são valores médios ± desvio padrão (SD) n = 4. Letras sobrescritas na mesma linha indicam diferenças significativas entre as formulações de acordo com o teste de diferença média de Tukey (p<0,05). MGR é taxa de crescimento micelial. PR é a taxa de produtividade.

FONTE: Autor (2024).

Em termos de produção de cogumelos, a quantidade de PSC utilizada na formulação do substrato teve um impacto significativo no desenvolvimento dos corpos frutificados de *P. djamor*. A taxa de crescimento micelial (MGR) variou de 0,97 a 1,40 cm/dia. A melhor MGR ocorreu para P40, podendo ser descrita com uma equação de segunda ordem ($\text{MGR} = -0,0002 \cdot \text{PSC}^2 + 0,01858 \cdot \text{PSC} + 0,9409$) com bom coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8948$). A adição da casca de pinhão (PSC) afetou a taxa de produtividade (PR) (TABELA 2), não havendo diferença estatística entre P40 ou P20 em relação ao grupo controle (P0).

A formulação P40 apresentou maior número de corpos de frutificação (NFB) e foi igual (p>0,05) ao grupo controle (P0) e P20 (FIGURA 7). A maior substituição pela serragem de eucalipto (P60 e P80) inibiu a produção de corpos frutificados. O crescimento do micelial (MGR) da formulação P40 foi melhor que as demais (FIGURA 6B), inclusive o grupo controle (P0). O MGR pode ser descrito por um modelo linear até o 14º dia (FIGURA 6A), sendo possível predizê-lo cineticamente por meio de uma equação linear com todos os coeficientes de determinação extremamente elevados ($R^2 > 0,99$).

FIGURA 6 - CINÉTICA DE CRESCIMENTO MICELIAL E PROPORÇÃO DE CRESCIMENTO MICELIAL EM RELAÇÃO AO P40 (A). CRESCIMENTO MICELIAL ESPECÍFICO AO LONGO DE 14 DIAS (B)



FONTE: AUTOR (2024).

O modelo linear proporcionou ajuste aos dados (FIGURA 6A), e o coeficiente de determinação (R^2) obtido para todas as funções foi superior a 0,99 e inferior a 0,19 para o erro padrão médio (APÊNDICE V). Na representação gráfica (FIGURA 6B) é possível observar a adaptação do cogumelo ao micélio ao longo do tempo, através da qual o cogumelo pode ter se desenvolvido melhor em condições mistas, P40 e P60. Em substratos sem mistura de P0 e P80, a evolução adaptativa do microrganismo ocorreu de forma mais lenta.

TABELA 3 - COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL, MACRO E MICROELEMENTOS DOS BASIDIOMICETOS *Pleurotus djamor* FRESCOS DA FORMULAÇÃO P40

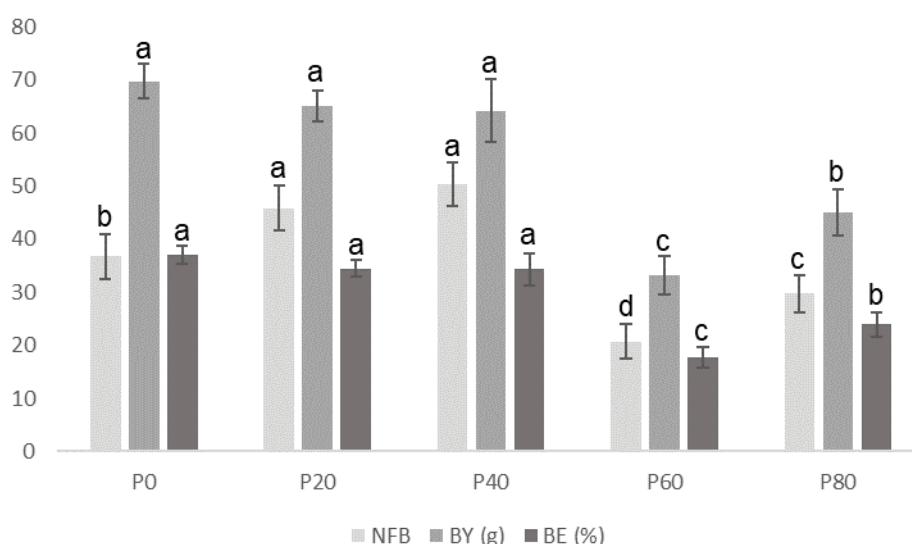
Composição nutricional	(g 100g ⁻¹)	Elementos	(mg 100g ⁻¹)
Umidade*	86,23 ± 0,07		
Cinzas	7,08 ± 0,04	Cálcio	20,49 ± 3,29
Lipídio	0,85 ± 0,01	Fósforo	500.14 ± 44,68
Proteína	22,49 ± 0,01	Manganês	0.73 ± 0,07
Carboidratos alimentares	69,58 ± 0,53	Magnésio	111.95 ± 9,07
Fibras dietéticas Totais	48,76 ± 0,03	Cobre	1.24 ± 0,08
Fibras insolúveis	48,10 ± 0,03	Ferro	9.08 ± 1,40
Fibras solúveis	0,65 ± 0,01	Zinco	10.60 ± 0,34
Energia kJ/100g	755,72		
Energia kcal/100g	180,62		

*Dados expresso em base úmida. Dados expressos em base seca. Média ± desvio padrão obtida de ensaios em triplicata.

FONTE: AUTOR (2024).

Ao longo dos 28 dias até a colheita (FIGURA 7), a formulação P40 produziu o número mais significativo de corpos de frutificação (NFB). Além disso, a formulação P0 convencional não produziu cogumelos com boas características comerciais. Ainda, a formulação P40 apresentou melhores valores de rendimento biológico (BY) e eficiência biológica (BE) para colheita em 28 dias (FIGURA 7), sendo a composição dos corpos frutificados do cogumelo ostra rosa predominantemente úmida (TABELA 3). Além do mais, apresenta (base seca) fibras alimentares (48,73%), proteínas (22,51%) e carboidratos digestíveis (20,84%). O teor de lipídios é baixo (0,87%), mas há muitos minerais estimados como cinzas (7,12%). Vários macro e microelementos essenciais são apresentados na (TABELA 3).

FIGURA 7 - NÚMERO DE CORPOS FRUTIFICADOS (NFB), RENDIMENTO BIOLÓGICO (BY) E EFICIÊNCIA BIOLÓGICA (BE) AO LONGO DE 28 DIAS DE COLHEITA (N = 4)



FONTE: O Autor (2024).

4. DISCUSSÃO

Foram encontradas características distintas entre os substratos utilizados para o cultivo do cogumelo *Pleurotus*. A característica granulométrica obtida torna o PSC um meio de cultivo heterogêneo e facilita tanto a percolação da água quanto a respiração dos cogumelos (PAIVA et al., 2018). A substituição da serragem de eucalipto pela casca de pinhão (PSC) provocou aumento diretamente proporcional no teor de carbono e nitrogênio e na relação C/N (TABELA 2). No entanto, a taxa de crescimento do micélio (MGR) vê um ponto de inflexão em P40, que acabou por ser o

substrato ideal. A taxa de produtividade (PR) foi reduzida com o aumento da substituição. De modo geral, o P40 foi a melhor opção de substrato para corpos de frutificação (NFB), rendimento biológico (BY) e eficiência biológica (BE) para colheita em 28 dias (FIGURA 7), o que o elegeu para produzir esse alimento fresco para caracterizar a composição nutricional e mineral. Além disso, a adição de PSC mostrou-se obrigatória, pois a formulação P0 convencional (grupo controle) em condições de cultivos igualitárias, não produziram corpos frutificados de cogumelo ostra rosa com boas características comerciais.

O maior teor de cinzas encontrado em *P. djamor* cultivado em substrato modificado P40 (P40 PSC) pode ser correlacionado com o alto teor de minerais, como Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P e Zn (HOA et al., 2015). Autores destacaram que a serragem de eucalipto é frequentemente utilizada na produção de cogumelos *Pleurotus* devido à elevada quantidade de água e elementos (GARCEZ et al., 2017; MARTINS et al., 2018). No entanto, a utilização de resíduos de *Araucaria angustifolia* (PSC) na diversificação de substratos para o cultivo de cogumelos *P. djamor* proporcionou maior teor de minerais do que a utilização apenas de serragem de *E. urograndis*, proporcionando condições favoráveis ao crescimento fúngico (GARCEZ et al., 2017; HOA et al., 2015; MARTINS et al., 2018).

A maior quantidade de minerais encontrados no PSC pode explicar o rendimento biológico, a eficiência biológica, a taxa de produtividade e, eventualmente, a relação C/N. Esses resultados corroboram estudos anteriores que destacaram a importância dos carboidratos, como celulose, hemicelulose e lignina, em todas as etapas do cultivo de cogumelos e enfatizaram que a relação carbono e nitrogênio desempenham papel essencial no crescimento das espécies de *Pleurotus* (SALES-CAMPOS et al., 2010). A taxa de crescimento do micélio (TABELA 2) foi inferior a 0,85 cm/dia, em relação ao *P. ostreatus* cultivado em substrato semelhante (DA SILVA et al., 2021). Ainda assim, foi semelhante aos 1,44 cm/dia que *P. pulmonarius* cultivou em palha de arroz (VEGA; FRANCO, 2013).

Os cogumelos envolvem-se na degradação de substratos lignocelulósicos, produzindo enzimas lignocelulósicas e utilizando os produtos degradados resultantes para gerar os seus corpos de frutificação. Da mesma forma, para Ye et al. (2023), as indicações e resultados ótimos foram derivados da substituição de 40% dos substratos por palha de *Phragmites australis* no cultivo de *Pleurotus*. Os materiais descartados pelas empresas agrícolas e florestais, como a serragem de eucalipto e a casca de

Araucaria angustifolia (casca de pinhão), têm potencial como substratos para a produção de cogumelos, oferecendo uma alternativa às práticas ambientalmente problemáticas de descarte e queima de resíduos.

O modelo cinético linear proporcionou excelente ajuste aos dados, conforme relatado por De Veaux et al. (2005), sendo capaz de prever com precisão os fenômenos de crescimento micelial. O coeficiente de regressão (R^2) é uma métrica essencial para avaliar a qualidade do ajuste de modelos lineares, onde valores próximos de 1 indicam maior representatividade da variável resposta. Porém, mesmo que os dados mantenham uma distribuição normal, é essencial considerar as limitações associadas a um tamanho de amostra pequeno, pois o R^2 pode ser influenciado pela variabilidade dos dados, especialmente se o tamanho da amostra for maior. Este resultado sugere que o modelo linear utilizado neste estudo pode servir como ferramenta para prever preliminarmente o crescimento micelial (PIEPHO, 2023). Além disso, a abordagem de modelagem linear também tem sido utilizada por outros pesquisadores em estudos semelhantes relacionados ao crescimento micelial de cogumelos (SILVERMAM et al., 2020).

Quando a quantidade de PSC foi igual ou superior a 60%, os parâmetros avaliados, como número de corpos de frutificação (NFB), rendimento biológico e eficiência biológica, indicaram que a relação carbono/nitrogênio e a biodisponibilidade de carbono aplicada foram prejudiciais à produção. Neste caso, pode ser necessária a adição de um componente nitrogenado, e se aprofundar neste contexto.

O elevado teor de fibras (48% em base seca) do *Pleurotus djamor* cultivado em substrato misto contendo 40% de casca de pinhão (PSC) e 40% de serragem de eucalipto pode impactar positivamente diversas funções fisiológicas. Isto inclui a promoção da saúde intestinal e a redução do risco de doenças coronárias, hipertensão, obesidade, diabetes e cancro do cólon (SLAVIN, 2007, 2013). Reconhecendo a importância da ingestão de fibras alimentares, a Organização Mundial da Saúde (2023) recomenda um consumo diário de 25 g.

P. djamor cultivado em substrato modificado P40 contém 6,71 g em base úmida (48,73 g em base seca) de fibra alimentar por 100 gramas, composta principalmente de fibras insolúveis. Este valor é superior ao obtido por Nayak et al. (2022), que utilizaram palha de trigo em seu substrato e registraram teores de fibras de 21,47%. Da mesma forma, Vega e Franco (2013) relataram teores de fibras

semelhantes, variando de 8,12 a 12,15%, ao utilizar palha de arroz e milho como componentes do substrato.

Além disso, os cogumelos poderiam servir como uma escolha viável para uma dieta com baixo teor de gordura. Cumprindo as orientações dietéticas delineadas pela Organização Mundial da Saúde (2020), que defende que a ingestão global de gordura não deve ultrapassar 30% da ingestão total de energia, apenas 4,3% da energia total nos cogumelos P40 é atribuída aos ácidos graxos poli-insaturados (TABELA 3).

O teor de proteína foi de 22,4% para o *P. djamor*, em base seca (TABELA 3). De acordo com a ingestão diária recomendada de 0,8 g de proteína/kg de peso corporal para adultos com menos de 65 anos, de ambos os sexos, 100 gramas (base seca) representa 40% da dose diária recomendada, considerando um indivíduo com 70 kg (RICHTER et al., 2019). A proteína desempenha um papel fundamental no funcionamento de órgãos vitais, além de compor moléculas reguladoras e de transporte. No entanto, a ingestão deficitária pode causar nanismo, anemia, fraqueza física, edema, disfunção vascular e comprometimento do sistema imunológico (JIANG et al., 2023).

O conteúdo de cinzas de P40 *P. djamor* está de acordo com resultados de pesquisas anteriores (KABIR et al., 2019; NAYAK et al., 2022). Os níveis desses elementos apresentam variabilidade influenciada por fatores como maturidade do cogumelo, diâmetro do corpo de frutificação e composição do meio de cultivo (AGARWAL et al., 2017). P40 *P. djamor* contribui significativamente para o cumprimento das recomendações diárias de ingestão de minerais essenciais, promovendo um regime alimentar mais saudável de P, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn e Cu (TABELA 3). Esses elementos desempenham papéis essenciais na sustentação e regulação de diversas funções fisiológicas no corpo humano.

5. CONCLUSÃO

Recomenda-se na produção comercial do cogumelo ostra rosa (*P. djamor*) a adição de casca de pinhão (PSC) para ter boas características comerciais. A formulação composta por 40% de PSC revelou-se a melhor opção em termos de taxa de crescimento micelial e número de corpos de frutificação ou igual ($p < 0,05$ para P0 e P20) para rendimento biológico e eficiência biológica ao longo de 28 dias de colheita. No entanto, pode comprometer uma baixa taxa de produtividade. Os cogumelos ostra

rosa contêm níveis muito elevados de fibras alimentares, altos níveis de proteínas e níveis médios de carboidratos digeríveis. Este cogumelo possui baixos níveis de lipídios e pode fornecer minerais essenciais, como P, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn e Cu. O conteúdo nutricional faz do *P. djamor* P40 um alimento para pessoas com ingestão limitada de lipídios e carboidratos. Fornece proteínas, fibras e açúcares para consumidores veganos para promover a saúde gastrointestinal e outras partes do corpo humano. Aditivamente, valoriza um resíduo que pode ser gerado na industrialização da amêndoa para produção de alfajores, bolos, conservas, etc., além de contribuir para a manutenção da *Araucária angustifolia*, que está em risco de extinção.

**CAPÍTULO III - ANÁLISE NUTRICIONAL E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS
COGUMELOS *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* E *Pleurotus ostreatus***

ROCHA, E, M.; AVILA, S.; LIMA, J, J.; BACILA, D, M.; MATHIAS, A, L.; JORGE, R,
M, M.

ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. Qualis – Capes A3. (2025)
Submetido dia 09 de Novembro, em processo de revisão.

(Apêndice VII)

RESUMO

O aumento na produção de cogumelos tem sido impulsionado pela versatilidade desses fungos em se desenvolver em vários substratos. Este estudo avaliou e comparou os macronutrientes, micronutrientes, compostos fenólicos totais, flavonoides totais e a atividade antioxidante dos cogumelos Botão, Portobello, Shiitake e Ostra. Os cogumelos cultivados em diferentes substratos comerciais foram obtidos de um produtor local no Paraná, Brasil. Proteínas (16-22%), carboidratos (30-51%) e fibras (17-43%) foram os macronutrientes predominantes nos cogumelos, enquanto lipídios, açúcares totais e cinzas estavam presentes em menores quantidades. Os principais minerais encontrados foram fósforo (509-1004 mg/100g), magnésio (107-154 mg/100g) e cálcio (14-48 mg/100g). O cogumelo Botão apresentou os maiores teores de fósforo, cobre (2,55 mg/100g), valor calórico (1253 kJ/100g) e carboidratos, mas o menor teor de fibras. O Portobello teve o maior teor de cinzas (13%), enquanto o Shiitake apresentou os maiores teores de fibras, magnésio, manganês (2,34 mg/100g) e zinco (7,22 mg/100g), além do menor teor de carboidratos. O cogumelo Ostra destacou-se por seu alto conteúdo de proteínas e ferro (8,77 mg/100g). Teores mais elevados de compostos fenólicos e flavonoides, assim como maior atividade antioxidante (ensaios ABTS, DPPH e FRAP), também foram observados para o cogumelo Botão. Todos os cogumelos apresentaram valores altos de proteínas, fibras, minerais e compostos fenólicos com atividade antioxidante, apresentando perfis distintos influenciados pelos substratos. Esses resultados destacam o potencial dos cogumelos como fontes de nutrientes e compostos bioativos.

Palavras-chave: Cogumelos comerciais, Cogumelos comestíveis, Compostos bioativos, Perfil nutricional, Análises físico-químicas.

1. INTRODUÇÃO

A produção, consumo e uso culinário de cogumelos têm crescido devido aos seus atributos nutricionais, benefícios à saúde, características organolépticas e seus usos medicinais (HETLAND et al., 2021). Entre os principais países produtores de cogumelos, a China, em 2022, foi responsável por 94% da produção global (aproximadamente 45 mil toneladas), seguida por Japão, Estados Unidos, Índia, Polônia, Países Baixos, Espanha e Canadá (FAO, 2024).

Os cogumelos do gênero *Agaricus* (Linnaeus) Fries representam 38% da produção mundial, incluindo o *Agaricus bisporus*, que abrange as variedades Portobello e Crimini, ambos de coloração marrom, com sabor umami e leve amargor, em comparação ao cogumelo branco (Botão). Todos são caracterizados por aromas terrosos e amadeirados (FAO, 2024; DU et al., 2021; RZYMSKI et al., 2017; SOBIERALSKI et al., 2009).

O segundo cogumelo mais produzido, com 25% da produção global, pertence ao gênero *Pleurotus* spp., especificamente *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm, conhecido como cogumelo Ostra. Fácil de cultivar, distingue-se por seu forte sabor umami com notas adocicadas provenientes de aminoácidos livres (FAO, 2024; YIN et al., 2019).

Em terceiro lugar, com 12% da produção, destaca-se *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler, ou Shiitake, que possui sabor umami, cor variando de marrom claro a escuro, textura carnuda e succulenta, além de aromas que lembram repolho e cebola quando cozido (FAO, 2024; LIU et al., 2022; DOS SANTOS et al., 2020).

O aumento na produção de cogumelos tem sido impulsionado pela capacidade desses fungos de crescerem em diferentes substratos, incluindo o uso de resíduos agroindustriais, classificando-os como sapróbicos. Além disso, Sassine et al. (2024) e Da Rocha et al. (2024) relataram que o substrato tem impacto significativo na composição nutricional dos cogumelos.

Entre os principais materiais usados como substratos, destacam-se: casca de café e sulfato ferroso (VIEIRA et al., 2013); bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho e madeira de acácia com farelo de arroz (HOA et al., 2015); palha de trigo e esterco de galinha (PARDO-GUIMÍNEZ et al., 2016); serragem de eucalipto e farelo de trigo (BACH, 2018); sabugo de milho e farelo de painço (JIN et al., 2018); sementes de açaí e tucumã, cascas de castanha-do-pará e serragem de pinus (AGUIAR et al.,

2021); forragem de sorgo, grãos de cevada, farelo de trigo, amêndoas e cascas de nozes (GONZÁLEZ, 2021); serragem, cacho de palma, cacho de palma fermentado, caule de palma, farelo de arroz e farelo de trigo (ELKANAH et al., 2022); palha de trigo, casca de arroz, raspas de madeira de faia, resíduo de café, cevada e palha de aveia (DIAMANTOPOULOU et al., 2023).

No entanto, alguns estudos não descrevem o meio usado para o cultivo de cogumelos (AGBOOLA et al., 2023; DIAMANTOPOULOU et al., 2023; WICKRAMASINGHE et al., 2023; KRISHNAMOORTHY et al., 2022; USDA, 2021; CARDOSO et al., 2021; KALA et al., 2021; PODKOWA et al., 2021; SIWULSKI et al., 2021; MAJESTY et al., 2019; BACH, 2017; RONCERO-RAMOS et al., 2017; RZYMSKI et al., 2017).

A alta diversidade e a escassez de informações sobre os materiais usados como substratos para o cultivo de cogumelos dificultam a obtenção de cogumelos com composição nutricional e biológica padronizada. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar os macronutrientes e micronutrientes, compostos fenólicos totais, flavonoides totais e a atividade antioxidante dos cogumelos *Agaricus bisporus* (variedades Botão e Portobello), *Lentinula edodes* (Shiitake) e *Pleurotus ostreatus* (Ostra) cultivados em diferentes substratos.

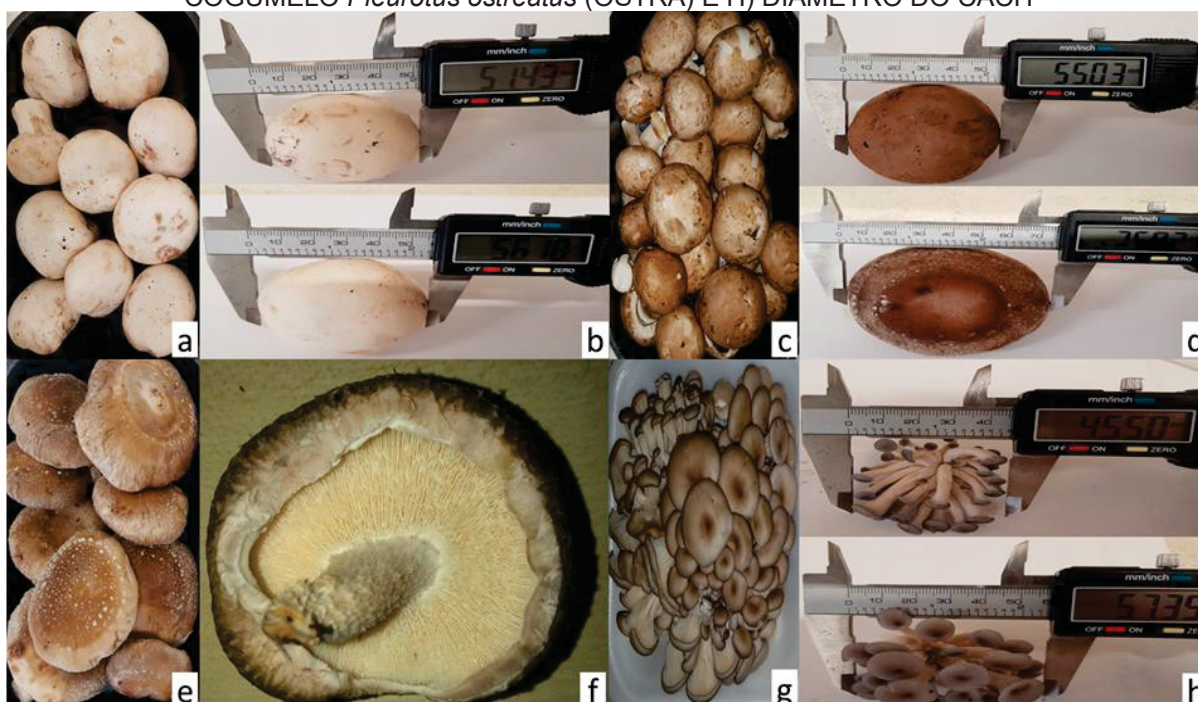
2. MATERIAL E MÉTODOS

Um total de aproximadamente 1,5 kg de cada espécie de cogumelo foi adquirido de um produtor local na chácara Aguro, em São José dos Pinhais, Paraná, Brasil. As matérias-primas comerciais utilizadas nos substratos para os cogumelos Botão e Portobello foram palha de trigo, esterco de galinha, gesso e sulfato de amônio, com uma relação C:N de 20,7:1 (CONTÒ et al., 2019). O Shiitake foi cultivado em um bloco axênico composto de serragem de eucalipto, farelo de arroz, casca de trigo e de soja, carbonato de cálcio e pó de carvão, com uma relação C:N de 54:1 (SILVA et al., 2024). O substrato utilizado para os cogumelos Ostra era composto por *Brachiaria* e bagaço de cana-de-açúcar, com uma relação C:N de 62:1.

Os cogumelos foram colhidos no ponto ótimo de frutificação, de acordo com Maass et al. (2016) e Xia et al. (2021). Os basidiocarpos foram colhidos com base no diâmetro aproximado do chapéu, sendo de $5,38 \pm 0,33$ cm para *Agaricus bisporus* (Botão), (FIGURA 8A), e $6,50 \pm 1,41$ cm para *Agaricus bisporus* (Portobello), (FIGURA

8B). *Lentinula edodes* (Shiitake) foi colhido após o rompimento do véu ou exposição das lamelas, (FIGURA 8C). No caso de *Pleurotus ostreatus* (Ostra), a colheita ocorreu quando a margem do chapéu estava plana (SILVA et al., 2024; BONONI et al., 1995), com preferência para quando o diâmetro do cacho atingiu $5,53 \pm 0,78$ cm, (FIGURA 8D).

FIGURA 8 - A) COGUMELO *AGARICUS BISPORUS* (BOTÃO) E B) DIÂMETRO DO PÍLEO; C) COGUMELO *Agaricus bisporus* (PORTOBELLO) E D) DIÂMETRO DO PÍLEO; E) COGUMELO *Lentinula edodes* (SHIITAKE) E F) ROMPIMENTO DO VÉU E EXPOSIÇÃO DAS LAMELAS; G) COGUMELO *Pleurotus ostreatus* (OSTRA) E H) DIÂMETRO DO CACHO



FONTE: Autor (2025).

2.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Os chapéus dos cogumelos Botão, Portobello e Shiitake e os cachos de cogumelos Ostra foram pesados individualmente ($n = 15$ unidades). As análises de umidade (AOAC 925.10), proteína (AOAC 920.87), lipídios (AOAC 920.39), fibras solúveis e insolúveis (AOAC 991.43) e teor de cinzas (AOAC 923.03) foram realizadas de acordo com métodos padronizados oficiais (AOAC, 2019). A porcentagem de matéria seca foi igual a $(100 - \% \text{ umidade})$.

Os açúcares totais foram avaliados segundo Dubois et al. (1956), com leitura em espectrofotômetro a 490 nm ($y = 0,0087x - 0,0105$; $R^2 = 0,9966$), utilizando glicose como padrão (20 a 100 $\mu\text{g/mL}$) e o resultado foi expresso em g de equivalentes de

glicose/100 g de cogumelos. Os carboidratos foram calculados por diferença, e a energia (KJ/100 g) foi igual a $[(16,7 \times \text{Proteína}) + (37,7 \times \text{Lipídios}) + (16,7 \times \text{Carboidrato})]$ (AOAC, 2019).

A quantificação de minerais (As, Ba, Ca, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn, P, Pb, Se, V e Zn) por espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) (Varian® Inc., modelo 720-ES) utilizou amostras trituradas em moinho de facas e peneiradas (70 mesh), resultando em pó com tamanho de partícula de 0,21 mm.

2.2 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONÓIDES TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A extração foi realizada com 0,5 g de cogumelos frescos, em triplicata. Foram adicionados 2,5 mL de etanol a 80%, seguidos de agitação em vórtex e incubação em banho ultrassônico por 30 min. As amostras foram centrifugadas a 1.109 g por 15 min, os sobrenadantes foram coletados e uma segunda extração foi realizada. Os sobrenadantes foram combinados, filtrados e armazenados a $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ até a análise (BACH et al., 2019). As amostras foram previamente diluídas.

Os compostos fenólicos totais (TPC), os flavonoides totais (TFC) e a atividade antioxidante foram avaliados pelos métodos FRAP (poder antioxidante de redução férrica), DPPH (hidrato de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil) e ABTS (captura do radical 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)). Esses ensaios foram realizados em microplacas de 96 poços, em octuplicata.

O TPC foi determinado com o reagente de Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Singleton e Rossi (1965), com algumas modificações. Nos poços, foram adicionados 10 μL de cada amostra diluída, 240 μL de água destilada e 15 μL de reagente Folin-Ciocalteu. Após 3 min de reação, foram adicionados 15 μL de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 20% (m/v).

O TFC foi determinado de acordo com Zhishen et al. (1999). Nos poços, 10 μL da amostra diluída foram misturados com 90 μL de nitrito de sódio. Após 5 min, foram adicionados 10 μL de 10% de cloreto de alumínio e a solução foi deixada reagir por mais 5 min. Em seguida, 90 μL de uma solução de hidróxido de sódio a 1 mol/L foram adicionados.

As absorbâncias foram medidas em um espectrofotômetro de microplacas (MultiSkan FC, Thermo Fisher Scientific K.K., Tóquio, Japão) a 690 nm e 540 nm,

respectivamente, após 60 min no escuro. A curva padrão foi construída utilizando dez concentrações de ácido gálico, começando com 1 mmol/L diluído até 0,000781 mmol/L. Os resultados do TPC foram expressos como mg de equivalente de ácido gálico (GAE)/g de cogumelo fresco ($y=0.5338x-0.0105$; $R^2=0.9964$) e os do TFC como mg de equivalente de catequina (CE)/g de cogumelo fresco ($y=1.5375x-0.0405$; $R^2=0.9957$).

A atividade de captura de radicais ABTS foi determinada conforme Re et al. (1999), com adaptações. O radical ABTS foi formado pela reação de 5 mL de ABTS+ 7 mM com 88 μ L de persulfato de potássio 140 mM e incubação a 25°C na ausência de luz por 16 h. Nos poços da microplaca, foram adicionados 10 μ L da amostra e 300 μ L do radical ABTS.

A captura do radical DPPH pelas amostras foi determinada conforme o método descrito por Brand-Williams et al. (1995), com modificações. Foram adicionados 10 μ L da amostra e 190 μ L da solução de DPPH (0,12 mmol/mL) às microplacas.

A análise FRAP foi realizada conforme Benzie & Strain (1996). A solução FRAP foi composta por 100 mL de tampão de acetato 300 mM a pH 3,63, 10 mL de cloreto férrico 20 mM e 10 mL de TPTZ (2,4,6-Tris (2-piridil-s-triazina) previamente dissolvido em ácido clorídrico 40 mM). Foram pipetados 10 μ L da amostra e 300 μ L de FRAP nos poços da microplaca.

Após 30 min de incubação no escuro, as absorbâncias foram medidas a 690 nm para ABTS, 540 nm para DPPH e 570 nm para FRAP. Os ensaios ABTS, DPPH e FRAP foram expressos em mmol de equivalente Trolox (TE)/g de cogumelo. A curva padrão foi construída utilizando dez concentrações dos reagentes ABTS, DPPH e FRAP, começando com 0,1 mmol/L diluído até 1,6 mmol/L.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov) e a homogeneidade (teste de Brown-Forsythe) das variâncias foram verificadas para todas as variáveis, e os resultados foram apresentados como médias $\pm$ desvio padrão. A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para determinar diferenças significativas ($p<0,05$) entre as amostras, e o teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para variâncias não homogêneas.

O teste de Duncan foi usado para comparar as médias. A correlação de Pearson foi utilizada para determinar o grau de associação entre as variáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os atributos de macronutrientes em base seca mostraram diferenças significativas entre as variedades de cogumelos (Botão, Portobello, Shiitake e Ostra) (TABELA 4). Outro atributo que pode ter contribuído para essa diferença são os nutrientes no substrato para o crescimento dos fungos (DESSA et al., 2024; PARDO-GUIMÍNEZ et al., 2016).

Os cogumelos frescos apresentaram até 10% de matéria seca. As proteínas, carboidratos e fibras foram os macronutrientes mais abundantes, enquanto lipídios e cinzas (minerais) foram detectados em menores quantidades. O teor de proteínas variou de 16,3% para o Shiitake a 21,5% para o Ostra, em base seca (TABELA 4). De acordo com a ingestão diária recomendada de 0,8 g de proteína/kg de peso corporal para adultos com menos de 65 anos, de ambos os sexos, 100 gramas (base seca) das quatro variedades representam de 29% a 37% da dose diária recomendada, considerando um indivíduo com 70 kg (RICHTER et al., 2019). Os cogumelos representam uma fonte alternativa de proteínas de alta qualidade, contendo aminoácidos essenciais e não essenciais. As proteínas exercem um papel fundamental na manutenção da estrutura de células, tecidos e órgãos, além de serem indispensáveis para o reparo celular (BACH et al., 2017). No entanto, a ingestão diária inferior à recomendada pode resultar em diversos problemas de saúde, como nanismo, anemia, fraqueza física, edema, disfunção vascular e comprometimento do sistema imunológico (JIANG et al., 2023).

Os cogumelos apresentaram baixo teor de lipídios, variando de 2,4% para o cogumelo Ostra a 3,7% para o Shiitake em base seca, semelhante aos valores previamente relatados (TABELA 4). Embora o teor de lipídios dos basidiomicetos seja pequeno, essa fração pode consistir em ácidos graxos poli-insaturados, que incluem as famílias ômega-3 (ácido linolênico) e ômega-6 (ácido linoleico), responsáveis por ajudar na prevenção de doenças cardiovasculares (KARAGEORGOU et al., 2023; CALDER, 2017; SANDE et al., 2019; BARROS et al., 2007; BREENE, 1990).

A quantidade de fibras nos cogumelos variou de 17% para o cogumelo Botão a 43% para o Shiitake. Outro estudo relatou menor teor de fibras e maior teor de

carboidratos para cogumelos Portobello (Wang et al., 2018) em comparação aos valores observados neste estudo. Para o Shiitake, a literatura reporta maior teor de fibras, o que pode ser atribuído às diferenças nos substratos utilizados (TABELA 4). A alta quantidade de fibras no Shiitake observada neste estudo (TABELA 4) pode estar associada ao tipo de material usado no substrato, como apresentado por Bach et al., (2018), que utilizou farelo de trigo, gérmen de milho e calcário como componentes do substrato.

Em 2009, o Codex Alimentarius expandiu a definição de fibra alimentar para incluir carboidratos indigestíveis de baixo peso molecular, como certos oligossacarídeos, e carboidratos de alto peso molecular, como o amido resistente. As proporções de matéria orgânica, cinzas, celulose, hemicelulose, lignina e a relação C:N no substrato podem influenciar os teores de carboidratos e fibras (SASSINE et al., 2024; DA ROCHA et al., 2024).

As fibras são essenciais para o bom funcionamento intestinal, além de contribuir para a redução do colesterol, controle da glicose no sangue e redução de processos inflamatórios associados a condições como hipertensão, diabetes e câncer (WILLIAMS et al., 2019; BERNAUD; RODRIGUES, 2013; ELLEUCH et al., 2011). De acordo com a EFSA (2010), a ingestão diária recomendada de fibras alimentares para adultos é de 25 g por dia para garantir o bom funcionamento intestinal. Entre as quatro espécies de cogumelos analisadas, o Shiitake fresco apresentou o maior teor de fibras totais, com 4,46 g por 100 g, representando 18% da ingestão diária recomendada (EFSA, 2010).

O teor de fibras solúveis nos cogumelos variou de 1,40% nos cogumelos Ostra a 2,57% no Shiitake. Conforme relatado por Diamantopoulou et al. (2023), concentrações significativas de fibras solúveis, como as α -glucanas e β -glucanas, foram previamente identificadas nos cogumelos Botão e Ostra. Esses polissacarídeos são conhecidos por suas diversas propriedades funcionais, incluindo atividades imunomoduladoras, antioxidantes e anticancerígenas (DU et al., 2019; BROWN; GORDON, 2003).

O valor calórico total das amostras, associado ao teor de carboidratos, proteínas e lipídios, variou de 914 KJ/100 g (Ostra) a 1252 KJ/100 g (Botão). O cogumelo Botão apresentou o maior valor calórico, o maior teor de carboidratos e o menor teor de fibras. Contudo, todos os cogumelos apresentaram menos de 4% do valor energético proveniente de lipídios. Essa porcentagem está dentro das

recomendações da Organização Mundial da Saúde (2020) para uma dieta saudável, que estabelece que o teor total de gordura não deve exceder 30%.

Os cogumelos apresentaram valores de cinzas variando de 6,1% para o Shiitake a 12,7% para o Portobello. Considerando que a quantidade de cinzas está correlacionada com a presença de compostos inorgânicos no cogumelo e no substrato, o alto valor de cinzas no Portobello pode estar relacionado ao uso de palha de trigo, esterco de galinha, gesso e sulfato de amônio durante o cultivo.

Os cogumelos são reconhecidos como acumuladores eficientes de metais-traço, extraíndo-os do substrato pelo micélio durante a fase micelial e transferindo-os para o cogumelo durante o processo de formação. Uma maior quantidade de minerais geralmente é encontrada em plantas agrícolas, vegetais, frutas ou até mesmo em tecidos animais (FALANDYSZ; BOROVIČKA, 2013; MLECZEK et al., 2013; KALAČ, 2016; CHANG; MILES, 1989).

Pardo-Guiménez et al. (2016) usaram um substrato semelhante para o cultivo do cogumelo Botão do presente estudo, os principais componentes eram palha de trigo e esterco de galinha. Portanto, observou-se uma grande semelhança no teor de proteínas, carboidratos totais, cinzas e energia, exceto para o teor de lipídios do cogumelo Botão analisado.

Diferenças significativas nos teores de Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P e Zn foram verificadas entre os cogumelos (TABELA 4). No entanto, os elementos Ca, Co, Fe, Mg, P e Zn estavam dentro do intervalo determinado por outros autores, com exceção do Portobello, que apresentou um valor abaixo do limite para Cu, e do Shiitake, que apresentou um valor acima do limite para Mn.

A menor quantidade de Mn relatada pelos autores na literatura (TABELA 4) pode estar relacionada ao método de detecção utilizado. De acordo com Mallikarjuna et al. (2013), a quantificação foi realizada por ICP-AES (espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente) e também por AAS (espectrometria de absorção atômica), técnicas que geram calor na fonte de energia em comparação com o ICP-OES (espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente), também utilizado por Bach et al. (2017, 2018). Além disso, Bach (2018) utilizou diferentes substratos, como farelo de trigo, gérmen de milho e calcário, que podem ter influenciado a quantidade do elemento. Por sua vez, Siwulski et al. (2021) empregaram o método ICP-MS (espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente), que mede íons gerados no plasma por espectrometria de massa,

diferindo do ICP-OES, que detecta elementos com base na emissão de luz de átomos excitados no plasma.

Segundo Peres et al. (2016) e Aschner; Erikson (2017), o nível máximo tolerável de ingestão diária de Mn para adultos está entre 9 e 11 mg. De acordo com a Autoridade Europeia de Segurança Alimentar (EFSA, 2023), a ingestão diária recomendada para adultos é de 8 mg. Assim, 100 g de cogumelos Shiitake fornecem aproximadamente 30%, indicando que o consumo de Shiitake é seguro dentro dos níveis recomendados. Essas variações podem resultar da composição do substrato, incluindo a quantidade de carbono orgânico dissolvido, os aditivos adicionados, a umidade e o pH. Além disso, o teor de minerais também pode ser influenciado pela variedade do cogumelo, idade, momento da colheita e temperatura da sala de cultivo (NADJOMBÉ et al., 2022; OLIVEIRA; NAOZUKA, 2019; PAZZA et al., 2019; HELM et al., 2009). Os elementos As, Ba, Cd, Pb, Se e V não foram detectados. Corroborando isso, elementos como Ag, Ba, Co, Cs, Na, Sr, Ti, Th, U e V são encontrados raramente (RZYMSKI et al., 2017).

A correlação de Pearson indica que um aumento nos níveis de compostos fenólicos totais (TPC) está associado a uma maior capacidade antioxidante, conforme evidenciado pelos ensaios ABTS ($r = 0,977$; $p = 0,02$) e FRAP ($r = 0,980$; $p = 0,02$). Esses resultados corroboram estudos prévios (DEDOUSI et al., 2024; ZHOU et al., 2023; AKATA et al., 2019; BACH et al., 2019; RONCERO-RAMOS et al., 2017). Além disso, o conteúdo total de flavonoides (TFC) também demonstrou uma correlação significativa com a atividade antioxidante medida pelo ensaio DPPH ($r = 0,962$; $p = 0,04$), reforçando os achados de estudos anteriores (JIN et al., 2020; GARRAB et al., 2019).

Os cogumelos Botão apresentaram os maiores conteúdos de TPC e TFC, além de demonstrarem alta atividade antioxidante nos ensaios ABTS, DPPH e FRAP, seguidos por Portobello, Shiitake e Ostra (TABELA 5). Selli et al. (2021) identificaram compostos fenólicos totais de 5,6 mg/100 g para cogumelos Botão, dos quais 40% eram compostos por ácido cinâmico (2,2 mg/100 g) e 26% por ácido p-hidroxibenzóico (1,2 mg/100 g). Os autores também encontraram compostos fenólicos no cogumelo Ostra (2,8 mg/100 g), dos quais 33% eram compostos por ácido cinâmico (0,9 mg/100 g) e 15% por ácido p-hidroxibenzóico (1,2 mg/100 g). Além disso, em menores quantidades, ambos os cogumelos continham ácido gálico, ácido protocatecuico,

ácido gentísico, ácido clorogênico, ácido vanílico, ácido p-cumárico, um isômero de ácido vanílico e ácido ferúlico.

Os compostos fenólicos totais (TPC) são amplamente reconhecidos por sua capacidade de neutralizar radicais livres e proteger o organismo contra o estresse oxidativo. Eles se destacam por suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias, contribuindo para a defesa do sistema imunológico (MATEUS et al., 2024; ZENG et al., 2023; DE MORAES ARNOSO et al., 2019).

O perfil fenólico e a atividade antioxidante dos cogumelos são conhecidos por serem influenciados por características intrínsecas e fatores ambientais, incluindo a composição do substrato e as práticas de cultivo (AGBOOLA et al., 2023; AGUIAR; GOUVÊA, 2022). Nesse contexto, os achados de Kała et al. (2021) demonstram uma variabilidade significativa no conteúdo de ácidos fenólicos entre espécies, com cogumelo Botão exibindo maiores concentrações de ácido p-hidroxibenzóico (14 mg/100 g) em comparação com cogumelos Shiitake (1,55 mg/100 g).

TABELA 5 - CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONÓIDES TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO DE *A. bisporus* (BOTÃO E PORTOBELLO), *L. edodes* (S), *P. ostreatus* (CO) EM BASE FRESCA

Cogumelo	Análises				
	Compostos	Flavonoides	Atividade antioxidante		
	Fenólicos Totais	Totais	(mmol TE/g)		
	(mg GAE/g)	(mg CE/g)	ABTS	DPPH	FRAP
<i>A. bisporus</i> (Botão)	7,72±0,89 ^a	3,00±0,19 ^a	38,05±6,48 ^a	22,42±1,93 ^a	27,45±1,82 ^a
<i>A. bisporus</i> (Portobello)	5,25±0,50 ^b	2,59±0,18 ^b	25,51±2,80 ^b	16,94±3,74 ^b	18,30±0,30 ^b
<i>L. edodes</i> (Shiitake)	4,30±0,62 ^c	1,93±0,03 ^c	19,04±3,68 ^c	10,75±0,09 ^c	16,92±0,12 ^b
<i>P. ostreatus</i> (Ostra)	4,91±0,95 ^b	1,49±0,12 ^d	19,05±1,77 ^c	10,32±1,73 ^c	16,63±0,48 ^b

GAE – Ácido gálico equivalente. CE – Catequina equivalente. TE – Trolox Equivalente. Letras diferentes na mesma coluna, possuem diferença significativa para ($p < 0,05$) no teste de Duncan's. Média ± desvio padrão obtida de ensaios em octuplicada.

FONTE: Autor (2025).

Apesar do maior conteúdo fenólico, a atividade antioxidante do cogumelo Botão, medida pelos ensaios ABTS, DPPH e FRAP, é consistentemente maior do que a de outras espécies de cogumelos quando se utilizam solventes semelhantes (WICKRAMASINGHE et al., 2023; DIAMANTOPOULOU, 2023). Essa aparente discrepância entre o TPC e a atividade antioxidante destaca a complexidade da bioatividade dos compostos fenólicos. Sugere que não apenas a quantidade, mas

também a composição específica e as interações dos compostos fenólicos influenciam o potencial antioxidante.

Por exemplo, o cogumelo Ostra exhibe valores de TPC variando de 10,41 a 70,67 mg GAE/g, com atividade antioxidante variando amplamente de 1,04 a 11,27 pelo ABTS e de 0,36 a 11,06 pelo FRAP (DIAMANTOPOULOU, 2023). Esses resultados estão alinhados com os de RAHIMAH et al. (2019) para espécies relacionadas, indicando que membros do gênero *Pleurotus* possuem uma composição fenólica diversificada que contribui para seu pronunciado potencial antioxidante. Nesse sentido, ácidos fenólicos como ácido gálico, ácido siríngico e ácido cafeico, além de flavonoides como catequina e rutina, foram identificados em *Pleurotus spp.* (HASSAN et al., 2021), sustentando as capacidades antioxidantes observadas.

As sobreposições observadas na atividade antioxidante entre os cogumelos Portobello e Ostra (para TPC e FRAP) e entre os cogumelos Ostra e Shiitake (para ABTS e DPPH) sugerem similaridades nos compostos fenólicos funcionais compartilhados entre essas espécies. No entanto, discrepâncias nos valores de TPC, como os resultados mais baixos neste estudo em comparação com RAHIMAH et al. (2019) e HASSAN et al. (2021), podem ser atribuídas a diferenças nos protocolos de extração, variações geográficas ou condições de cultivo. Pesquisas futuras devem explorar as interações sinérgicas dos compostos fenólicos e sua biodisponibilidade para entender melhor suas contribuições funcionais para a saúde humana.

Neste estudo, não foi possível avaliar individualmente os compostos bioativos presentes nas amostras. Além disso, os substratos podem influenciar sua composição e biodisponibilidade por meio de mecanismos específicos, que ainda não foram explorados detalhadamente. Portanto, recomenda-se que estudos futuros investiguem essas interações e seus impactos na atividade antioxidante.

4. CONCLUSÃO

Os cogumelos *Agaricus bisporus* (Botão e Portobello), *Lentinula edodes* (Shiitake) e *Pleurotus ostreatus* (Ostra) contêm quantidades significativas de proteínas, fibras insolúveis, minerais como cálcio, cobre, ferro, magnésio, manganês, fósforo e zinco, além de compostos fenólicos com atividade antioxidante. Além disso, possuem baixo teor de açúcar. Cada espécie possui características nutricionais distintas.

O cogumelo Botão possui um valor calórico mais elevado e altos níveis de carboidratos, cobre, fósforo, compostos fenólicos e atividade antioxidante, com menor teor de fibras. O cogumelo Ostra apresenta alto teor de proteínas e ferro, em concordância com dados da literatura. O cogumelo Portobello mostrou maior teor de cinzas em comparação aos cogumelos Botão, Shiitake e Ostra, além de menor teor de fibras e uma maior quantidade de carboidratos do que indicam estudos anteriores. O cogumelo Shiitake apresentou altos níveis de fibras, magnésio, manganês e zinco, com menor teor de carboidratos em relação aos demais e variações em comparação com a literatura para fibras e manganês.

As variações nutricionais observadas, possivelmente resultantes do substrato de cultivo, os cogumelos apresentaram quantidades significativas de compostos bioativos e se destacaram como fontes de nutrientes essenciais como Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P e Zn, alinhando-se às demandas por alternativas alimentares saudáveis e incentivando pesquisas sobre seu valor nutricional e funcional. Quanto às possíveis aplicações dos cogumelos ricos em antioxidantes na indústria de alimentos funcionais, os resultados ressaltam o papel crítico dos substratos na determinação da composição dos cogumelos, devendo este ser enfatizado como uma área-chave para pesquisas futuras.

TABELA 4 - COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DOS COGUMELOS *Agaricus bisporus* (BOTÃO), *Agaricus bisporus* (PORTOBELLO), *Lentinula edodes* (SHIITAKE) E *Pleurotus ostreatus* (OSTRA) E RESUMO DOS DADOS DA LITERATURA EXPRESSOS EM (g 100 g⁻¹)

	Botão			Portobello			Shiitake			Ostra		
	Analisado	^a Referência	Analisado	^b Referência	Analisado	^c Referência	Analisado	^c Referência	Analisado	^d Referência		
Matéria Seca	8,52±0,05 ^c	-	6,61±0,03 ^d	-	10,20±0,10 ^a	-	9,73±0,07 ^b	-	21,52±0,56 ^a	10,09–36,96	-	-
Proteínas	16,86±1,72 ^{bc}	15,2–35,24	20,14±1,69 ^{ab}	20–29,78	16,27±0,41 ^c	14,87–27,13	21,52±0,56 ^a	14,87–27,13	21,52±0,56 ^a	10,09–36,96	10,09–36,96	10,09–36,96
Lipídios	2,99±0,38 ^b	0,53–14,8	2,76±0,30 ^{bc}	1,1–13,4	3,72±0,18 ^a	0,80–13,5	2,36±0,30 ^c	0,80–13,5	2,36±0,30 ^c	1,59–13,3	1,59–13,3	1,59–13,3
Fibras Insolúveis	15,59±0,03 ^d	-	19,66±0,03 ^c	-	41,18±0,07 ^a	-	23,99±0,04 ^b	-	23,99±0,04 ^b	-	-	-
Fibras Solúveis	1,52±0,01 ^c	-	1,60±0,01 ^b	-	2,57±0,01 ^a	-	1,40±0,01 ^d	-	1,40±0,01 ^d	-	-	-
Fibras Totais	17,11±0,03 ^d	7,31–33,04	21,26±0,04 ^c	22,35–24,47	43,76±0,07 ^a	24,39–41,89	25,39±0,04 ^b	24,39–41,89	25,39±0,04 ^b	5,6–43,24	5,6–43,24	5,6–43,24
Carboidratos	51,37±1,31 ^a	24,19–61,53	43,12±1,92 ^b	32,47–33,8	30,10±0,41 ^c	29,02–73,43	40,78±0,85 ^b	29,02–73,43	40,78±0,85 ^b	19,73–70,59	19,73–70,59	19,73–70,59
Açúcar Solúvel Total	3,499±0,111 ^c	-	3,883±0,102 ^c	-	7,170±0,453 ^b	-	8,121±0,046 ^a	-	8,121±0,046 ^a	-	-	-
Energia [©]	1252,52±5,57 ^a	-	1160,48±11,80 ^b	-	914,74±5,89 ^d	-	1129,48±5,97 ^c	-	1129,48±5,97 ^c	-	-	-
Energia [#]	299,35±1,33		277,35±2,82		218,62±1,41		269,94±1,43		269,94±1,43			
Cinzas	11,64±0,16 ^b	9,4–27,8	12,71±0,43 ^a	9,41–10,7	6,12±0,16 ^d	4,9–8,82	9,93±0,13 ^c	4,9–8,82	9,93±0,13 ^c	5,9–9,9	5,9–9,9	5,9–9,9
Cálcio*	24,24±3,51 ^b	5–107,21	21,71±3,38 ^{bc}	3–56	48,03±0,99 ^a	1–88	14,11±0,96 ^c	1–88	14,11±0,96 ^c	0,36–46,13	0,36–46,13	0,36–46,13
Cobre*	2,55±0,03 ^a	0,027–25,4	1,97±0,03 ^b	0,203–49,71	0,48±0,02 ^d	0,012–1,38	1,67±0,04 ^c	0,012–1,38	1,67±0,04 ^c	0,54–3,15	0,54–3,15	0,54–3,15
Ferro*	3,39±0,44 ^b	0,23–12,15	3,62±0,44 ^b	0,14–9,42	1,52±0,02 ^c	0,14–13,2	8,77±0,22 ^a	0,14–13,2	8,77±0,22 ^a	0,29–14,91	0,29–14,91	0,29–14,91
Magnésio*	108,22±5,96 ^b	10,2–125	107,48±2,12 ^b	9–135	154,71±6,24 ^a	14,1–194,2	109,66±1,87 ^b	14,1–194,2	109,66±1,87 ^b	0,26–217,76	0,26–217,76	0,26–217,76
Manganês*	0,52±0,01 ^{bc}	0,054–1,55	0,45±0,01 ^c	0,049–0,9	2,34±0,10 ^a	0,173–2,23	0,61±0,01 ^b	0,173–2,23	0,61±0,01 ^b	0,086–2,06	0,086–2,06	0,086–2,06
Fósforo*	1004,17±33,06 ^a	0,76–1350	975,82±20,46 ^a	0,92–1530	567,50±13,38 ^b	76–1087,4	509,50±11,21 ^b	76–1087,4	509,50±11,21 ^b	3,64–1540	3,64–1540	3,64–1540
Zinco*	4,06±0,01 ^c	0,51–6,95	3,97±0,10 ^c	0,39–7,7	7,22±0,06 ^a	0,15–10	5,71±0,74 ^b	0,15–10	5,71±0,74 ^b	0,29–12,45	0,29–12,45	0,29–12,45

*Dados expressos em mg/100g. © Energia expresso em kJ/100g. # Energia expresso em kcal/100g. Dados expressos em base seca. Letras diferentes na mesma linha possuem diferença significativa para (p<0,05) no teste de Duncan's. Média ± desvio padrão obtida de ensaios em quadruplicada. ^d(VIEIRA et al., 2013); ^d(HOA et al., 2015); ^d(HOA et al., 2015); ^{ad}(PARDO-GUIMINEZ et al., 2016); ^{abcd}(BACH, 2017); ^{acd}(RONCERO-RAMOS et al., 2017); ^{ab}(RZYMSKI et al., 2017); ^c(BACH, 2018); ^d(JIN et al., 2018); ^d(MAJESTY et al., 2019); ^d(AGUIAR et al., 2021); ^d(GONZÁLEZ, 2021); ^{bc}(CARDOSO et al., 2021); ^c(SIWULSKI et

al., 2021); ^{abcd}(USDA, 2021); ^{ac}(KALA et al., 2021); ^{ac}(PODKOWA et al., 2021); ^d(ELKANAH et al., 2022); ^a(KRISHNAMOORTHY et al., 2022); ^b(AGBOOLA et al., 2023); ^{ad}(WICKRAMASINGHE et al., 2023).

FONTE: Autor (2025).

**CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO BRANQUEAMENTO E
CONDIÇÕES IDEAIS DE TEMPERATURA E TEMPO PARA MINIMIZAR O
ESCURECIMENTO DE COGUMELOS COMERCIAIS**

ROCHA, E, M.; AVILA, S.; LIMA, J, J.; SILVA, R, S, A.; BACILA, D, M.; MATHIAS, A,
L.; JORGE, R, M, M.

Scientia Plena. Qualis – Capes A4. (2023)
Publicado.

(Apêndice III)

RESUMO

A operação de branqueamento tem sido utilizada para aumentar a vida útil, reduzir a atividade enzimática e diminuir a carga microbiana dos alimentos. Este estudo teve como objetivo investigar os efeitos do tempo e da temperatura de branqueamento na luminosidade e na variação de cor de três variedades comerciais de cogumelos e determinar as condições ótimas de operação. Três espécimes foram coletados nos pontos ótimos de frutificação: *Agaricus bisporus* Botão, *Agaricus bisporus* Portobello e *Lentinula edodes* Shiitake. O delineamento composto central rotacional e a metodologia de superfície de resposta foram empregados para avaliar os efeitos combinados da temperatura de branqueamento (variando de 53,8°C a 96,2°C) e tempo (variando de 10,3 segundos a 349,7 segundos) nos parâmetros de cor L^* (luminosidade), a^* (vermelho-verde) e b^* (amarelo-azul) de fatias dos cogumelos. O corte, a exposição ao oxigênio do ar e a temperatura abaixo de 75°C afetaram significativamente a cor, reduzindo os valores de L^* e b^* e aumentando os valores de a^* , favorecendo o escurecimento dos cogumelos (maior ΔL). A operação de branqueamento otimizada para minimizar a variação de cor (ΔE) foi de 80°C por 170 segundos para Botão, 83°C por 209 segundos para Portobello e 82°C por 186 segundos para Shiitake. O branqueamento de cogumelos frescos nessas condições operacionais pode ajudar a prevenir o desenvolvimento de cores escuras, melhorando assim sua qualidade para consumo humano, prolongando sua vida útil e reduzindo o desperdício causado pela aparência.

Palavras-chave: parâmetro de qualidade, condições de processamento, branqueamento em água, cogumelos comestíveis.

1. INTRODUÇÃO

Os seres humanos consomem cogumelos para benefícios à saúde, de 1 a 5 kg por pessoa por ano (peso fresco); assim, a demanda comercial de cultivo de cogumelos e os mercados globais aumentaram rapidamente nas últimas décadas. De acordo com as estimativas atuais, das mais de 10.000 espécies relatadas, 3.000 são reconhecidas como comestíveis, quase 200 espécies silvestres são usadas para fins medicinais, cerca de 100 estão sendo cultivadas economicamente, cerca de 60 variedades de cogumelos são cultivadas comercialmente e dez tipos são produzidos em escala industrial em muitos países. É relatado que os cogumelos mais cultivados globalmente têm sido o *Agaricus bisporus* branco (Botão), *Lentinula edodes* (Shiitake) e espécies do gênero *Pleurotus* spp. como *P. ostreatus*. (GONG et al., 2020; KRISHNAMOORTHY et al., 2022; RATHORE et al., 2017; SHAMS et al., 2022; SIWULSKI et al., 2021; YADAV; NEGI, 2021).

Os cogumelos tornaram-se uma parte essencial da nossa dieta. Eles têm sido amplamente utilizados na culinária e em diversas receitas devido à sua atraente textura aveludada, sabor umami e aroma suave. Os cogumelos também são fontes de vitaminas, minerais, proteínas, polissacarídeos, fibras, gorduras insaturadas, compostos fenólicos, flavonoides e tocoferol. Esses compostos são bem conhecidos por suas atividades benéficas, como propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes, antifúngicas, antibacterianas e antitumorais (KRISHNAMOORTHY et al., 2022; YADAV; NEGI, 2021; GARCÍA et al., 2021; PRIYADARSHINI et al., 2022).

Geralmente, os cogumelos oxidam e se degradam rapidamente se não forem tomados os devidos cuidados pós-colheita. Eles têm alto teor de umidade e atividade enzimática, apresentando uma vida útil curta de 3 a 7 dias sob refrigeração a 4°C. Considerando a alta perecibilidade, a disponibilidade sazonal de algumas variedades e suscetibilidade a alterações sensoriais, principalmente de cor, técnicas que preservem o frescor dos cogumelos são necessárias para prolongar sua vida útil e melhorar sua percepção sensorial e valor comercial (YADAV; NEGI, 2021).

No entanto, o branqueamento com água é um procedimento de preservação simples e de baixo custo no processamento industrial aplicado antes do armazenamento para inativar enzimas deletérias e reduzir a carga microbiana. No branqueamento, o produto é exposto a uma fonte de calor em temperatura e tempo pré-determinados e posteriormente ao resfriamento. A eficiência desse tratamento

térmico é geralmente baseada na inativação de enzimas termo resistentes como a peroxidase (POX) e a polifenol oxidase (PPO), que também estão envolvidas nas reações de deterioração e consequentes alterações indesejáveis no valor nutritivo, sabor e cor incluindo (pigmentos escuros). Assim, as condições de branqueamento devem ser controladas para manter as propriedades nutricionais e organolépticas dos cogumelos (LATORRE et al., 2021).

A aplicação do branqueamento antes do armazenamento pode reduzir as perdas de qualidade sensorial, preservar o frescor e prolongar a vida útil dos cogumelos Botão, Portobello e Shiitake. Sua viabilidade, especialmente sob condições otimizadas, se justifica por ser um processo simples e de baixo custo. Além disso, o uso de métodos instrumentais rápidos, como o colorímetro, mostra-se eficiente para avaliar a eficácia do branqueamento quanto à variação de cor dos cogumelos.

Desta forma, utilizando o método de superfície de resposta (RSM) em combinação com regressões lineares múltiplas, a otimização das condições de branqueamento de cogumelos torna-se uma abordagem viável para alcançar a cor desejada e melhor aproveitamento de temperatura, tempo e energia. Estudos limitados foram conduzidos sobre o impacto do branqueamento na cor dos cogumelos Botão, Portobello e Shiitake, ressaltando a originalidade desta pesquisa. Portanto, este estudo tem como objetivo investigar os efeitos do tempo e da temperatura de branqueamento na variação de luminosidade e cor de três variedades comerciais de cogumelos e determinar as condições ótimas de operação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAS

As amostras foram fornecidas pela fazenda de cogumelos Aguro (São José dos Pinhais, Curitiba, Paraná, Brasil) no período de agosto a outubro de 2021. Aproximadamente 2 kg de cada espécie de cogumelo foram coletados e refrigerados para o laboratório da Universidade Federal do Paraná. Três espécies foram coletados nos pontos ótimos de frutificação: *Agaricus bisporus* cogumelo Botão (CB) FIGURA 9A; *Agaricus bisporus* Portobello (P) FIGURA 9D; *Lentinula edodes* Shiitake (S) FIGURA 9G. O diâmetro da tampa do cogumelo Botão colhido foi de cerca de $5,38 \pm$

0,33 cm, e o diâmetro do chapéu do Portobello foi de cerca de $6,50 \pm 1,41$ cm (BARRÓN-GARCÍA et al., 2019). O Shiitake foi colhido diariamente enquanto o chapéu ainda estava ligeiramente enrolado ou apenas quando o véu parcial se rompeu (ZHANG et al., 2021).

2.2 DESIGN EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi utilizado o planejamento composto central rotacional fatorial (CCRD), com dois fatores experimentais: tempo de imersão (X_1 : 60 e 300 s) e temperatura (X_2 : 60 e 90°C), intervalo de controle baseado na literatura (BARRÓN-GARCÍA et al., 2019; NGUYEN et al., 2019; PRIYADARSHINI et al., 2023; TADESSE et al., 2023), quatro pontos fatoriais, quatro pontos axiais e dois pontos centrais. As variáveis de resposta foram L^* , ΔL^* , a^* , b^* e ΔE^* . A (TABELA 6) mostra a matriz experimental. O efeito estatístico dos fatores experimentais Y da ΔE foi determinado pela metodologia de superfície de resposta, usando um modelo polinomial de segunda ordem para descrever o comportamento observado (Eq. 1).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{1 \leq j} \sum \beta_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

Onde: β_0 é a largura desde a origem; β_i é o i^{th} de regressão linear; β_{ii} é o coeficiente de regressão de segunda ordem do i^{th} fator; β^{ij} é o efeito de interação do i^{th} fator mais o j^{th} ; e Y é a variável dependente (MOZAFARI et al., 2017).

Análise de variância (ANOVA) foi aplicada para determinar os efeitos significativos do tempo de imersão e da temperatura nas respostas. O coeficiente de determinação (R^2) avaliou a qualidade do modelo. Este planejamento de estudo foi analisado e gráficos de superfície de resposta tridimensionais foram desenhados usando Statistic v. 10 (StatSoft, Inc., Tulsa, Ok, EUA).

TABELA 6 - DADOS DO EXPERIMENTO GERADOS POR COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL FATORIAL 2²

Corrida	X ₁	X ₂	Tempo (s)	Temperatura (°C)
1	-1	-1	60,0	60,0
2	+1	-1	300,0	60,0
3	-1	+1	60,0	90,0
4	+1	+1	300,0	90,0
5	-1,41	0	10,3	75,0
6	1,41	0	349,7	75,0
7	0	-1,41	180,0	53,8
8	0	+1,41	180,0	96,2
9 (C)'	0	0	180,0	75,0
10 (C)'	0	0	180,0	75,0

C = central

FONTE: Autor (2023).

2.3 BRANQUEAMENTO

Todos os cogumelos foram lavados, higienizados (100 ppm de hipoclorito de sódio por 2 minutos) e secos em temperatura ambiente. As amostras foram cortadas transversalmente no píleo com espessura de 2,5 e 3,0 mm. A amostra fresca (controle) foi imediatamente analisada quanto à cor no colorímetro HunterLab MiniScan EZ (Reston, Virginia, EUA). As amostras branqueadas foram obtidas de acordo com cada corrida experimental, onde 100 g de cogumelos cortados foram imersos em 1 L de água deionizada em banho termostático em diferentes tempos e temperaturas, conforme estabelecido pelo delineamento estatístico conforme (REIS, 2023). Após o branqueamento, os pedaços de cogumelos foram resfriados em banho de gelo até atingirem 7°C, com auxílio de um termómetro. Em seguida, as frações foram escurridas em peneira plástica e enxugadas com material absorvente. Após 300 min em temperatura ambiente, as amostras não branqueadas (controle) e branqueadas foram submetidas à análise de cor para estimar seu escurecimento enzimático após o branqueamento.

Os parâmetros de cor L* (luminosidade), a* (vermelho - verde) e b* (amarelo-azul) das amostras de cogumelos foram determinados usando um colorímetro HunterLab MiniScan EZ (Reston, Virginia, EUA). Os valores de L*, a* e b* foram medidos dez vezes girando o prato em 90° e fazendo leituras em cada posição. A variação de luminosidade foi calculada pela equação: $\Delta L^* = L^* - L_0^*$, onde L* foi para

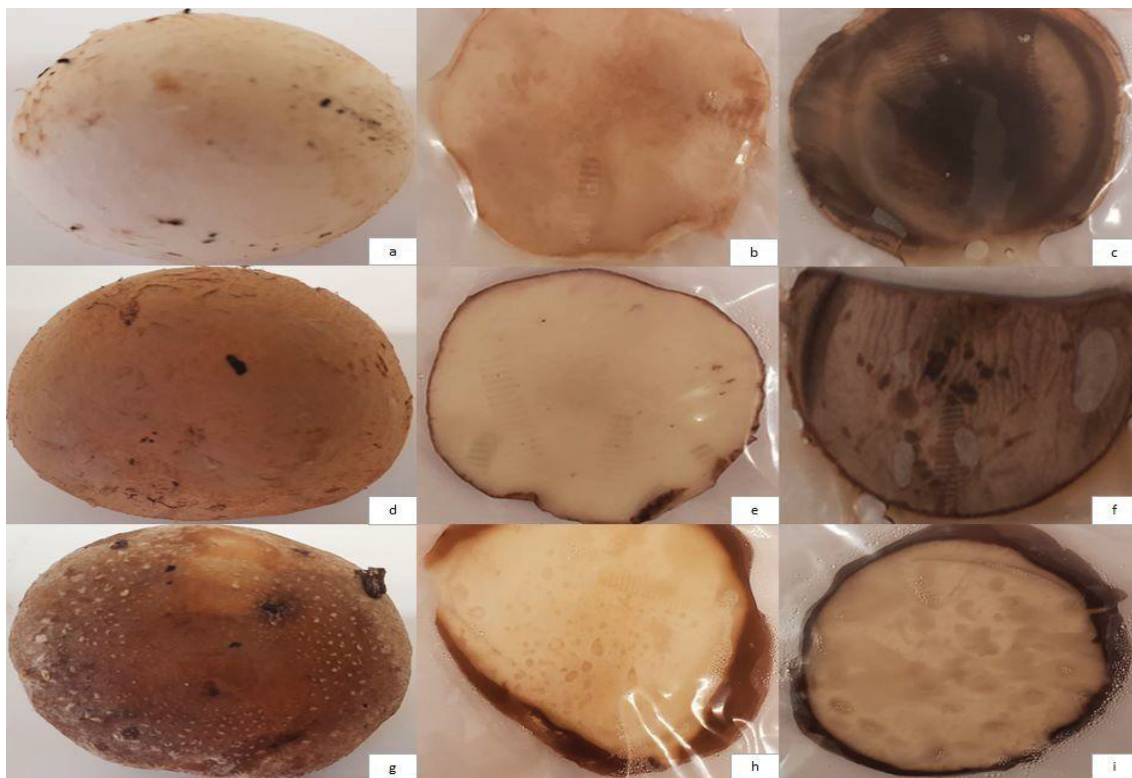
amostras de branqueamento e L_0^* para amostras de controle. A variação total da cor é avaliada pela Equação 2:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cor é um dos atributos de qualidade mais críticos nos produtos alimentícios. Os valores de cor expressos em L^* , a^* , b^* , ΔL^* e ΔE^* podem ser observados na (TABELA 7). Os cogumelos frescos apresentaram tendência ao amarelo vivo, conforme indicado pelos parâmetros da escala CIE: coordenada a^* foi de 0,10; 1,28 e 1,36 para Shitake, Portobello e Botão, respectivamente, que está próximo do zero e representa ausência de verde ou vermelho, mas com tendência ao vermelho; os valores de b^* foram positivos de 10,98 (Shitake) a 12 (Botão e Portobello), apresentando tendência à coloração amarela; os valores do parâmetro L^* ficaram próximos de 100 (87,23 a 88,88) o que representa uma tendência de cor branca, FIGURA 9A, D, E, G e TABELA 7 (FRESCO).

FIGURA 9 - APARÊNCIA VISUAL DOS COGUMELOS, COGUMELOS BOTÃO A) FRESCO, B) CORRIDA 10, C) CORRIDA 7; PORTOBELLO D) FRESCO, E) CORRIDA 10, F) CORRIDA 3 E SHITAKE G) FRESCO, H) CORRIDA 10, I) CORRIDA 3



FONTE: Autor (2023).

Os resultados foram obtidos a partir de 10 execuções experimentais seguindo o planejamento rotacional central composto fatorial. A análise de variância mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) entre todos os parâmetros de cor (TABELA 7). Como esperado, o fatiamento e a exposição ao oxigênio levaram a uma diminuição de L^* e b^* e aumento de a^* mostrando o escurecimento dos cogumelos, como pode ser visto comparando amostras não branqueadas e frescas. A formação natural de pigmentos marrom-escuros em cogumelos ocorre devido a compostos polifenólicos endógenos da família de enzimas polifenoloxidasas, incluindo tirosinases e lacases, conforme verificado em trabalhos anteriores por espectroscopia de fluorescência (KIM, 2020).

A luminosidade (L^*) pode ser o principal parâmetro indicador associado ao escurecimento enzimático. Valores altos de L^* (>80) revelam uma amostra clara, enquanto valores mais baixos (próximos de 0) significam que a fatia de cogumelo não difere da claridade da amostra padrão, indicando um cogumelo fatiado escurecido ou acastanhado e oxidado (SALVADOR-REYES; PAUCAR-MANACHO, 2019). O uso do espaço de cores foi relacionado ao tratamento de branqueamento ôhmico e

convencional para *Agaricus bisporus*. Ambas as tecnologias se mostraram promissoras na inativação do PPO com menos impacto na cor e na textura (BARRÓN-GARCÍA et al., 2022).

Os menores valores de L^* para todos os cogumelos foram evidenciados nas corridas 2, 4, 5, 9 e 10 para Botão, corrida 6, 8, 9 e 10 para Portobello e corrida 4, 8, 9 e 10 para Shitake demonstrando que a menor temperatura de escaldagem, inferior a 75°C, pode favorecer o escurecimento dos cogumelos analisados (TABELA 7). O efeito de L^* (luminosidade) em cogumelos foi confirmado por Barrón-Garcia et al. (2022), cujo escurecimento mais significativo observado foi verificado com a redução do valor de L . Comparação dos resultados de L^* com a amostra de cogumelos não branqueados apresentada na corrida 11, que não foi submetida ao branqueamento; foi apenas fatiado, embalado e submetido a uma leitura de espectrofotômetro, o branqueamento foi eficaz porque os valores de L^* foram significativamente maiores do que a corrida 11.

Na escala CIE $L^*a^*b^*$, quanto menor o valor de vermelhidão (a^*), menor o escurecimento enzimático. Os tratamentos foram satisfatórios neste quesito, pois reduziram o valor de a^* em relação ao tratamento controle. Além disso, a coordenada b^* não apresentou variações significativas entre os tratamentos, estando na faixa positiva e tendendo para o amarelo (ISMAIL et al., 2023).

A variação de luminosidade ΔL e o parâmetro de diferença de cor ΔE também são usados para verificar as mudanças de cor causadas pelo escurecimento. Os tratamentos de controle apresentaram os maiores valores para ΔE e ΔL , mostrando que os tratamentos de branqueamento foram satisfatórios, pois reduziram a diferença de cor. Além de branquear e inativar as enzimas relacionadas ao escurecimento dos cogumelos, o tratamento térmico pode minimizar as reações de escurecimento não enzimático e reduzir a carga microbiana na superfície dos alimentos (XIAO et al., 2017). Mudanças de cor em cogumelos são atribuídas principalmente a reações de escurecimento mediadas por PPO (BARRÓN-GARCÍA et al., 2019).

Os menores valores de ΔE observados para todas as amostras de cogumelos foram no ponto central nas condições de tratamento 180 segundos a 75°C. No entanto, parâmetros de 90°C por 60 e 300 também são aplicados.

TABELA 7 - CIE L*A*B* PARÂMETROS, ΔL DIFERENÇA DE LUMINOSIDADE, E ΔE VARIAÇÃO TOTAL DA COR

Variáveis Independentes						
Corrida	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Parâmetros Colorimétricos	Botão	Portobello	Shiitake
1	60	60	L	36,81±1,18 ^e	49,97±2,64 ^e	45,73±0,17 ^g
			a	4,06±0,09 ^{ab}	6,26±0,57 ^a	5,35±0,21 ^a
			b	10,39±0,03 ^d	17,34±1,61 ^a	15,38±0,50 ^{abc}
			ΔL	52,07±0,82 ^a	39,48±2,06 ^b	41,49±0,14 ^b
			ΔE	52,19±0,82 ^a	40,14±2,19 ^b	42,06±0,06 ^b
2	60	90	L	69,48±2,02 ^b	64,36±2,81 ^d	64,49±2,90 ^{ef}
			a	4,66±0,31 ^a	2,19±0,48 ^{bc}	2,60±0,48 ^b
			b	20,22±0,83 ^a	15,02±1,21 ^{abcde}	16,56±0,00 ^{ab}
			ΔL	19,40±1,65 ^d	25,09±2,24 ^c	22,74±2,58 ^c
			ΔE	21,06±1,97 ^c	25,27±2,14 ^c	23,55±2,55 ^{cd}
3	300	60	L	54,53±0,49 ^{cd}	25,03±1,86 ^f	34,60±0,20 ^h
			a	3,08±0,40 ^{abc}	6,66±0,63 ^a	5,48±0,11 ^a
			b	12,67±0,03 ^{cd}	9,83±0,61 ^f	10,55±0,33 ^d
			ΔL	34,35±0,86 ^{bc}	64,42±1,29 ^a	52,62±0,12 ^a
			ΔE	34,39±0,87 ^b	64,69±1,20 ^a	52,90±0,12 ^a
4	300	90	L	72,05±3,94 ^b	66,77±3,89 ^d	67,68±0,11 ^{def}
			a	1,75±0,31 ^{cd}	1,89±0,62 ^{bc}	1,69±0,10 ^{cd}
			b	14,18±0,69 ^{bc}	14,27±0,25 ^{bcde}	14,38±0,03 ^{abcd}
			ΔL	16,83±4,30 ^d	22,68±4,46 ^c	19,55±0,42 ^{cd}
			ΔE	16,90±4,31 ^c	22,79±4,41 ^c	19,91±0,35 ^{cde}
5	10.3	75	L	68,26±0,40 ^b	44,91±1,26 ^e	61,75±0,96 ^f
			a	3,45±0,59 ^{ab}	5,76±0,02 ^a	0,75±0,14 ^{ef}
			b	14,94±0,41 ^{bc}	12,75±0,23 ^{de}	10,84±0,04 ^d
			ΔL	20,62±0,04 ^d	44,54±1,83 ^b	25,48±1,28 ^c
			ΔE	20,85±0,06 ^c	44,76±1,82 ^b	25,49±1,28 ^c
6	349.7	75	L	57,19±0,81 ^{cd}	77,74±0,85 ^{bc}	63,04±0,86 ^{ef}
			a	4,35±0,06 ^a	0,06±0,8 ^{de}	1,06±0,02 ^{de}
			b	15,94±0,88 ^b	14,19±0,66 ^{bcde}	12,13±1,15 ^{bcd}
			ΔL	31,69±0,45 ^{bc}	11,71±0,28 ^{de}	24,19±1,17 ^c
			ΔE	32,00±0,58 ^b	11,95±0,38 ^{de}	24,24±1,20 ^{cd}
7	180	53,8	L	35,98±0,35 ^e	47,00±0,04 ^e	43,93±0,74 ^g
			a	3,56±0,30 ^{ab}	6,69±0,23 ^a	5,57±0,01 ^a
			b	7,91±0,05 ^e	16,54±0,13 ^{ab}	11,07±3,68 ^{cd}
			ΔL	52,90±0,01 ^a	42,45±0,62 ^b	43,30±1,06 ^b
			ΔE	53,17±0,01 ^a	43,01±0,60 ^b	43,70±1,04 ^b
8	180	96,2	L	49,95±2,70 ^d	80,12±1,86 ^b	73,42±3,85 ^{cd}
			a	2,70±0,34 ^{bcd}	-0,01±0,11 ^{de}	0,63±0,27 ^{ef}
			b	15,01±1,26 ^{bc}	17,00±0,86 ^{ab}	16,88±0,35 ^a

9 C	180	75,0	ΔL	38,93 $\pm$ 2,34 ^b	9,33 $\pm$ 1,29 ^e	13,81 $\pm$ 4,17 ^{de}
			ΔE	39,02 $\pm$ 2,29 ^b	10,59 $\pm$ 0,87 ^e	15,12 $\pm$ 3,50 ^{ef}
			L	71,54 $\pm$ 2,26 ^b	85,12 $\pm$ 0,66 ^{ab}	80,38 $\pm$ 0,36 ^b
			a	2,71 $\pm$ 0,24 ^{bcd}	-0,97 $\pm$ 0,04 ^e	0,23 $\pm$ 0,12 ^f
			b	16,48 $\pm$ 0,23 ^b	15,29 $\pm$ 0,12 ^{abcd}	15,81 $\pm$ 0,25 ^{ab}
			ΔL	17,34 $\pm$ 1,90 ^d	4,33 $\pm$ 1,23 ^e	6,85 $\pm$ 0,68 ^f
10 C	180	75,0	ΔE	17,79 $\pm$ 1,94 ^c	5,79 $\pm$ 0,84 ^e	8,41 $\pm$ 0,16 ^g
			L	70,06 $\pm$ 1,24 ^b	84,62 $\pm$ 2,64 ^{ab}	79,58 $\pm$ 0,15 ^{bc}
			a	3,46 $\pm$ 0,63 ^{ab}	0,65 $\pm$ 0,50 ^{cd}	1,81 $\pm$ 0,11 ^c
			b	16,51 $\pm$ 0,04 ^b	15,88 $\pm$ 0,04 ^{abc}	15,91 $\pm$ 0,25 ^{ab}
			ΔL	18,82 $\pm$ 1,60 ^d	4,83 $\pm$ 3,21 ^e	7,65 $\pm$ 0,47 ^{ef}
			ΔE	19,31 $\pm$ 1,56 ^c	6,28 $\pm$ 2,40 ^e	9,26 $\pm$ 0,25 ^{fg}
11	Não branqueado (controle)		L	58,09 $\pm$ 2,10 ^c	70,27 $\pm$ 1,60 ^{cd}	68,09 $\pm$ 0,69 ^{de}
			a	3,30 $\pm$ 0,60 ^{abc}	2,50 $\pm$ 0,06 ^b	0,63 $\pm$ 0,04 ^{ef}
			b	13,41 $\pm$ 0,28 ^c	13,05 $\pm$ 0,01 ^{cde}	10,50 $\pm$ 0,03 ^d
			ΔL	30,79 $\pm$ 2,46 ^c	19,18 $\pm$ 2,17 ^{cd}	19,14 $\pm$ 0,37 ^{cd}
			ΔE	30,87 $\pm$ 2,42 ^b	19,23 $\pm$ 2,15 ^{cd}	19,15 $\pm$ 0,37 ^{de}
			L	88,88 $\pm$ 0,36 ^a	89,45 $\pm$ 0,57 ^a	87,23 $\pm$ 0,32 ^a
12	Fresco, t=0		a	1,36 $\pm$ 0,11 ^d	1,28 $\pm$ 0,01 ^{bcd}	0,10 $\pm$ 0,08 ^f
			b	12,74 $\pm$ 0,24 ^{cd}	12,23 $\pm$ 0,24 ^{ef}	10,98 $\pm$ 0,44 ^{cd}

Resultados expressos como média obtida nos ensaios (n=10). Na análise de Tukey, letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente ($p<0.05$).

FONTE: Autor (2023).

Os parâmetros estatísticos, como coeficiente (R^2) e p -valor, foram medidos com a análise de variância (ANOVA). O valor de R^2 foi utilizado para julgar a adequação dos modelos, os resultados (TABELA 8) mostraram que os modelos desenvolvidos para ΔE para Botão e Shiitake foram significativos. A análise de regressão múltipla dos valores de ΔE mostrou que o modelo foi eficaz ($p<0,05$). Os resultados dos valores do coeficiente de correlação (R^2) mostraram que o modelo pode explicar mais que 76% de todas as variâncias dos dados. (LIANG et al., 2022)

TABELA 8 - COEFICIENTES DE REGRESSÃO PELO DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL.

Variável	Y _{Botão}		Y _{Portobello}		Y _{Shiitake}	
	Coeficiente	p-valor	Coeficiente	p-valor	Coeficiente	p-valor
β_0	406,45	<0,001	381,18	0,005	364,21	0,0018
X_1	-0,215	0,669	-0,089	0,288	-0,091	0,5646
X_1^2	0,0002	0,276	0,001	0,002	0,001	<0,001
X_2	-9,241	<0,001	-8,874	<0,001	-8,507	<0,001
X_2^2	0,05	<0,001	0,058	0,003	0,054	<0,001
X_1X_2	0,002	0,195	-0,004	0,104	-0,002	0,0434
R^2	0,79845		0,76289		0,92768	

FONTE: Autor (2023).

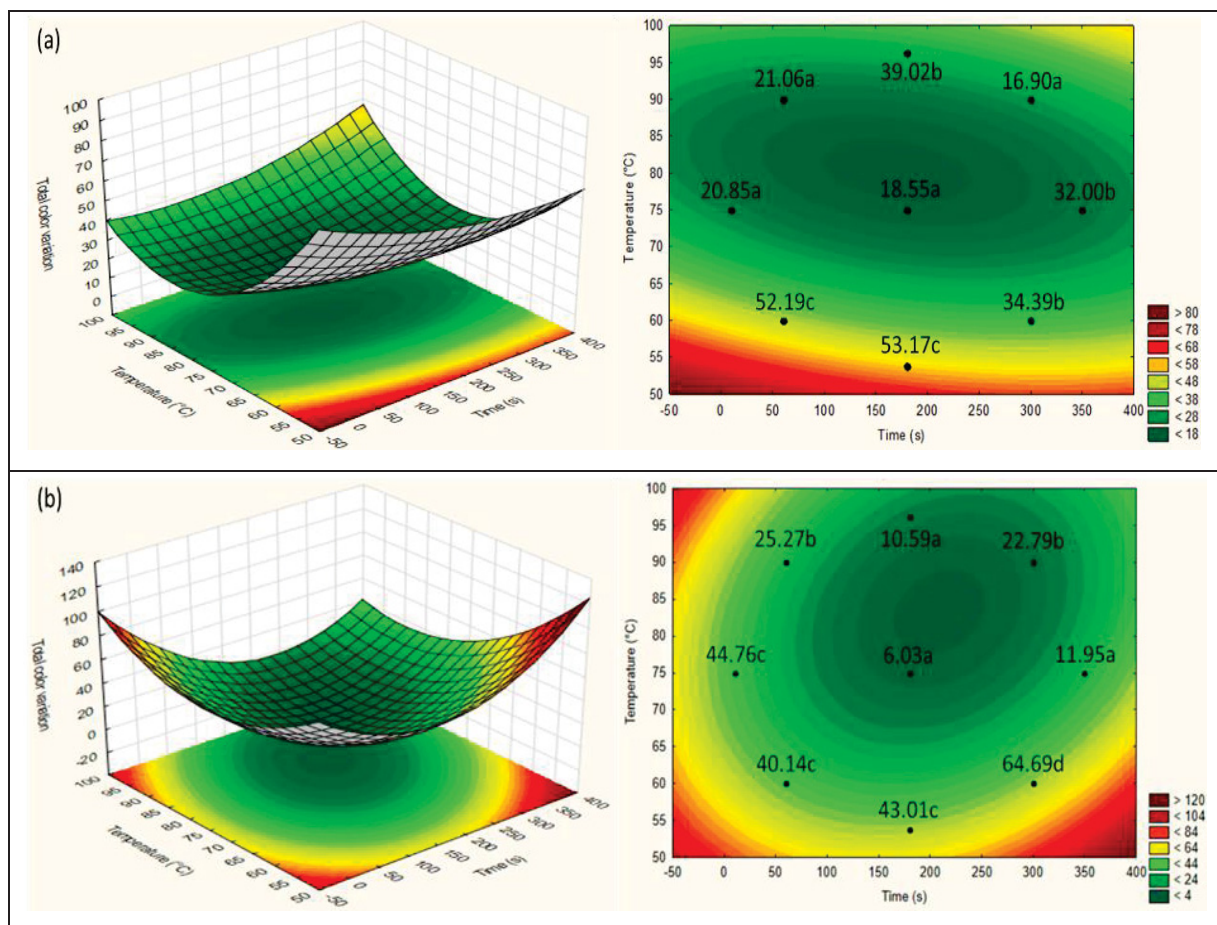
Com relação aos efeitos dos modelos, X_1^2 apresentou baixo efeito significativamente positivo para Botão, Portobello e Shiitake. A temperatura linear (X_2) tiveram um efeito negativo significativamente na variação total de cor ΔE^* para Portobello e Shiitake. Os efeitos dos parâmetros na variável dependente são mostrados em gráficos de superfície de resposta 3D (FIGURA 10) em função do tempo e da temperatura. O modelo previsto para Botão, Portobello e Shiitake estão descritos nas (Eq. 3, 4 e 5):

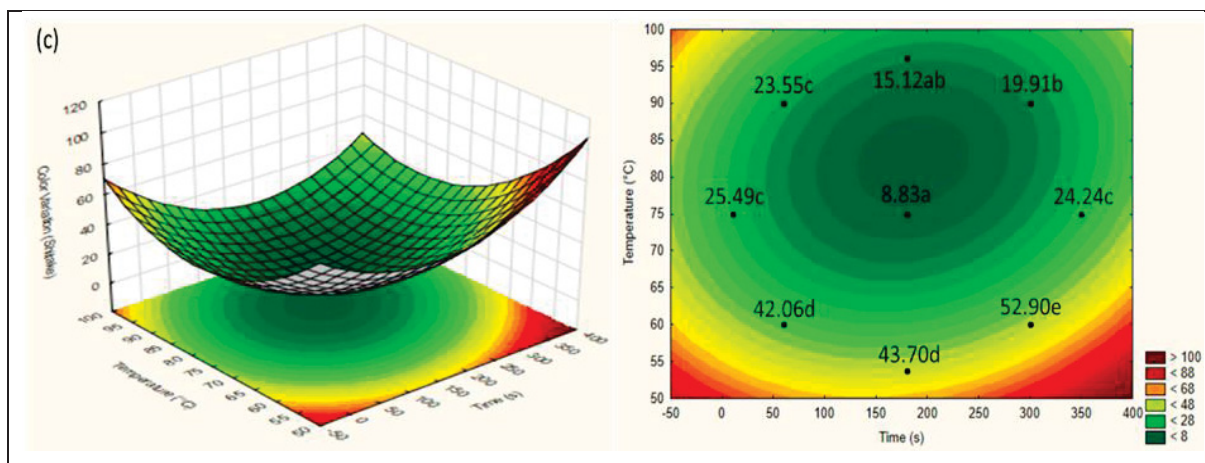
$$Y_{\text{Botão}} = 406,45 - 0,215 X_1 + 0,0002 X_1^2 - 9,241 X_2 + 0,056 X_2^2 + 0,002 X_1 X_2 \quad (3)$$

$$Y_{\text{Portobello}} = 381,18 - 0,089 X_1 + 0,001 X_1^2 - 8,874 X_2 + 0,058 X_2^2 - 0,004 X_1 X_2 \quad (4)$$

$$Y_{\text{Shiitake}} = 364,21 - 0,091 X_1 + 0,001 X_1^2 - 8,507 X_2 + 0,054 X_2^2 - 0,002 X_1 X_2 \quad (5)$$

FIGURA 10 - DIAGRAMAS DE SUPERFÍCIE E CONTOUR DE RESPOSTA PARA VARIAÇÃO TOTAL DE COR (ΔE) DE (A) BOTÃO, (B) PORTOBELLO E (C) SHIITAKE. PELO TESTE DE TUKEY, LETRAS DIFERENTES CORRESPONDEM A DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ($P < 0,05$)





Eixo x: tempo (s). Eixo y: temperatura (°C). Eixo z: variação total da cor (ΔE). Resultados expressos como média obtida nos ensaios ($n=10$). Na análise de Tukey, letras diferentes junto aos valores indicam diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

FONTE: Autor (2023).

A metodologia de superfície de resposta e análise de regressão múltipla foram utilizadas para encontrar as melhores condições para realizar o branqueamento. Além disso, o procedimento de otimização multi-resposta utilizando a função de desejabilidade foi conduzido com os modelos para minimizar a variação total de cores. O resultado desta otimização revelou que o branqueamento a 80,31°C por 170,15 segundos para Botão, a 83,33°C por 209,51 segundos para Portobello e a 82,20°C por 186,43 segundos para Shitake foram as melhores condições para esta combinação de variáveis. Lespinard et al. (2009), com o mesmo tipo de tratamento (branqueamento convencional) em faixa semelhante de 50 a 90°C para o cogumelo *A. bisporus*, mostraram que a mudança de cor também estava associada ao aumento da temperatura. Os autores evidenciaram que à medida que a temperatura do banho aumentava (60-80 °C), a enzima permanecia ativa por menos tempo, produzindo menores quantidades de produtos coloridos. Os resultados também corroboraram com Barron-García et al. (2022) que utilizam temperatura de banho variando de 67 a 90°C para *A. bisporus* e o escurecimento mais significativo também foi evidenciado na temperatura mais baixa, de 67°C.

A otimização do tempo e da temperatura no processo de branqueamento pode trazer inúmeras vantagens, que vão desde a conservação de energia na indústria até a melhoria da qualidade do produto final. Outro benefício significativo desta otimização é evitar tempos de cozimento prolongados. Períodos de cozimento prolongados podem ter efeitos adversos tanto no valor nutricional quanto na textura dos cogumelos comestíveis. O cozimento prolongado pode resultar na lixiviação de vitaminas solúveis

em água (NELSON, 2019), levando à perda de nutrientes essenciais, compostos fenólicos e compostos antioxidantes que são benéficos para a saúde (NGUYEN et al., 2019). Além disso, o tratamento térmico rápido sugerido pode garantir que os aspectos visuais e sensoriais dos cogumelos atendam às expectativas dos consumidores (BARRÓN-GARCÍA et al., 2019) e pode reduzir a carga microbiana, aumentando assim a segurança dos cogumelos.

4. CONCLUSÕES

Os valores de L^* mostraram que os tratamentos por branqueamento, em relação ao controle, foram satisfatórios em temperaturas acima de 76°C devido à tendência de aumentar a clarificação. Além disso, os valores de a^* mostraram que os tratamentos foram adequados para a manutenção da cor, e quanto à coordenada b^* , não houve variações significativas entre os tratamentos. Utilizando a metodologia de superfície de resposta aliada à regressão múltipla foi possível sugerir modelos matemáticos para avaliar as variáveis dependentes. A otimização de resposta múltipla usando variação de cor (ΔE) foi adequada para o objetivo proposto com as melhores condições de processo para minimizar as variações dos parâmetros de cor, onde aproximadamente o ponto ótimo para o tratamento de branqueamento foi encontrado a 80°C por 170 s para Botão, a 83°C por 209 s para Portobello e a 82°C por 186 segundos para Shitake. Esses resultados indicam o melhor tratamento de branqueamento para potencialmente economizar energia, reduzir as perdas de qualidade sensorial e prolongar a vida útil dos cogumelos selecionados para o estudo. Além disso, este estudo amplia o conhecimento de análises rápidas e não destrutivas, como a colorimetria, que podem ser aplicadas para avaliar o efeito do branqueamento nas características sensoriais dos cogumelos.

**CAPÍTULO V - AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DOS MODELOS PREDITIVOS DO
BRANQUEAMENTO OTIMIZADO DE COGUMELOS COMERCIAIS E A
PRESERVAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONOIDES TOTAIS
E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM COMPARAÇÃO COM OUTROS PROCESSOS.**

RESUMO

O branqueamento é uma técnica amplamente utilizada para prolongar a vida útil de alimentos, sendo essencial compreender seus efeitos sensoriais e nutricionais. Este estudo avaliou os cogumelos *Agaricus bisporus* (variedades Botão e Portobello) e *Lentinula edodes* (Shiitake) submetidos ao branqueamento otimizado, com condições específicas de tempo e temperatura definidas por modelos matemáticos. Foram analisadas alterações colorimétricas, compostos fenólicos totais (TPC), flavonoides totais (TFC) e atividade antioxidante (ensaio DPPH e FRAP). O cogumelo Botão apresentou retenção elevada de TFC (80%) e atividade antioxidante (FRAP 70%), com desempenho moderado na conservação da cor. O Portobello destacou-se pela melhor preservação da luminosidade, cor e TPC (50%), além de bons índices de TFC (70%) e atividade antioxidante (61%). Já o Shiitake mostrou resultados inferiores em todos os parâmetros avaliados. Concluiu-se que o branqueamento otimizado representou uma alternativa promissora para os cogumelos Botão e Portobello, em comparação a outros processos e ao seu cogumelo fresco, atendendo à demanda por alimentos minimamente processados e com valor nutricional preservado.

Palavras-chave: Tratamento térmico, Incerteza do modelo de predição, Bioativos, cogumelos comestíveis

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a demanda por cogumelos tem crescido globalmente devido à sua ampla utilização na gastronomia. Esse aumento se deve tanto às suas características culinárias, como textura, sabor e aroma peculiar, quanto aos seus atributos nutricionais, que incluem vitaminas, minerais, proteínas, polissacarídeos, fibras, gorduras insaturadas, compostos fenólicos, flavonoides e tocoferóis. Além disso, os cogumelos contêm compostos com propriedades funcionais, como atividades anti-inflamatórias, antioxidantes, antifúngicas, antibacterianas e antitumorais (KRISHNATAMOORTHY et al., 2022; YADAV; NEGI, 2021; GARCÍA et al., 2021; PRIYADARSHNI et al., 2022).

A demanda por cogumelos não se limita às proximidades das fazendas produtoras, mas também se estende a regiões distantes dos locais de produção. Para esse transporte, os cogumelos frescos são geralmente embalados em bandejas de isopor, envoltos em filme plástico e armazenados sob refrigeração para evitar a perda de umidade (LIN; SUN, 2019). No entanto, essas medidas são pouco efetivas, resultando em uma curta vida útil: de 1 a 3 dias à temperatura ambiente (20-25°C) para os cogumelos *Agaricus bisporus* (Botão e Portobello) e *Lentinula edodes* (Shiitake) (XIAO et al., 2011; DIAMANTOPOULOU; PHILIPPOUSSIS, 2015; SUBRAMANIAM et al., 2021). Sob refrigeração a 4°C, o Botão e o Portobello podem durar de 5 a 7 dias, enquanto o Shiitake tem uma vida útil pós-colheita de 3 a 5 dias (SUBRAMANIAM et al., 2021). Contudo, após esse período, podem ocorrer alterações visuais indesejadas, como o surgimento de pigmentação marrom-escura (ROCHA et al., 2024). Questões nutricionais também são afetadas durante o armazenamento sob refrigeração (4°C e 85% de umidade relativa), reduzindo o teor de compostos antioxidantes nos cogumelos (LIN et al., 2017; NICOLÁS-GARCÍA et al., 2021).

As modificações que ocorrem desde a colheita até a aquisição do produto estão intrinsicamente correlacionadas com a coloração, sendo esse o atributo mais afetado e de maior relevância na decisão de compra (MISHRA et al., 2013). A formação natural de pigmentos marrom-escuros nos cogumelos resulta da interação entre compostos polifenólicos endógenos e enzimas oxidativas das polifenoloxidasas, com destaque para a enzima tirosinase em *Agaricus bisporus* e a óxido de polifenileno em *Lentinula edodes* (JIANG et al., 2012; WRONA et al., 2015; KIM, 2020).

Os cogumelos possuem alta taxa respiratória, baixa resistência à contaminação microbiana, elevado teor de umidade, a ausência de uma película protetora e além de desafios associados a danos mecânicos no transporte (AGUIRRE et al., 2008; CASTELLANOS-REYES et al., 2021). O que tem impulsionado a ciência a testar diferentes processos para prolongar sua vida útil. Entre as técnicas exploradas estão: Branqueamento otimizado (AUTOR, 2025); Sem processamento (ROCHA et al., 2024); Assamento (GARCIA et al., 2021; YAO et al., 2023); Grelha; Marinação; Cozimento a vácuo (GARCIA et al., 2021); Secagem por microondas a vácuo (KANTRONG et al., 2014); Secagem centrífuga a vácuo; Secagem em ar quente (POPA et al., 2022); Liofilização (POPA et al., 2022); Fritura tradicional; Fritura a ar quente; (YAO et al., 2023); Cozimento a vapor (YAO et al., 2023; NG; TAN, 2017); Secagem natural; Secagem forçada (KIC, 2018); Fervura (NG e TAN, 2017; RADZKI et al., 2016); Microondas (NG; TAN, 2017); Branqueamento com ácido cítrico (RADZKI et al., 2016); e Congelamento assistido por campo magnético (ZHANG et al., 2024).

No entanto, durante o processamento de alimentos, compostos fenólicos e a atividade antioxidante podem sofrer alterações indesejadas (MINATEL et al., 2017; AL-JUHAIMI et al., 2018; MECHA et al., 2019; ROCHA et al., 2024; MORINA et al., 2020). O branqueamento convencional (aquecimento a 65-95°C) é frequentemente aplicado antes de processos como congelamento, fritura, secagem e enlatamento, com o objetivo de inativar enzimas deletérias e reduzir a carga microbiana (LATORRE et al., 2013; VACLAVIK; CHRISTIAN, 2014).

Os modelos preditivos aplicados aos cogumelos Botão, Portobello e Shiitake processados por branqueamento permitiram prever as condições ótimas de operação para minimizar a alteração visual (ROCHA et al., 2024). No que diz respeito à minimização do escurecimento, Rocha et al. (2024) apresentou modelos matemáticos preditivos para o branqueamento otimizado dos cogumelos *Agaricus bisporus* (Botão e Portobello) e *Lentinula edodes* (Shiitake).

Nesse contexto, investigamos a eficácia do branqueamento otimizado nos cogumelos Botão, Portobello e Shiitake por meio da análise do erro percentual absoluto médio e pelos parâmetros de luminosidade (L^*), variação da luminosidade (ΔL), variação da cor (ΔE), compostos fenólicos totais (TPC), flavonoides (TFC) e atividade antioxidante. Além disso, comparamos a eficiência do branqueamento otimizado em relação a outros processos.

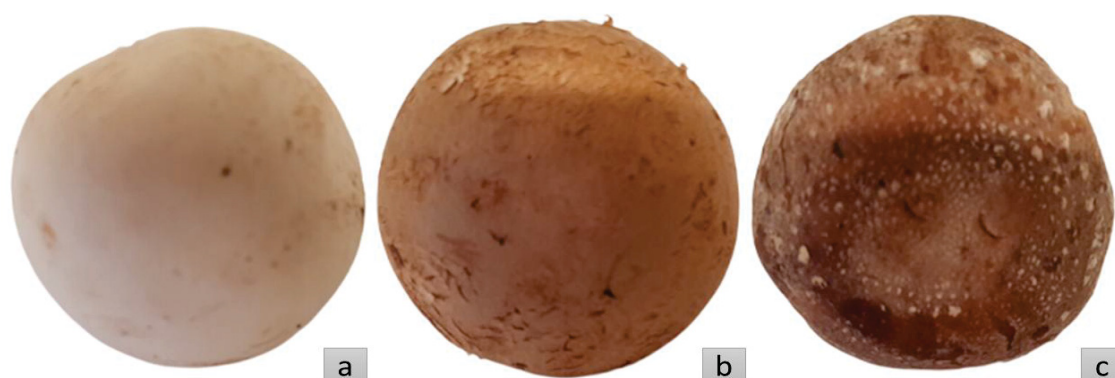
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 COLETA, PREPARAÇÃO E BRANQUEAMENTO DE COGUMELOS

Aproximadamente 2 kg de cogumelos frescos das espécies *Agaricus bisporus* (Botão e Portobello) e *Lentinula edodes* (Shiitake) foram coletados em agosto de 2024, no estágio de frutificação comercial, de acordo com Maass et al. (2016) e Xia et al. (2021). O diâmetro médio do píleo foi de $5,38 \pm 0,33$ cm para *Agaricus bisporus* (Botão) e $6,50 \pm 1,41$ cm para *Agaricus bisporus* (Portobello). Conforme Silva et al. (2024), a colheita do *Lentinula edodes* (Shiitake) ocorreu após o rompimento do véu ou exposição das lamelas, enquanto a do *Pleurotus ostreatus* (Ostra) foi realizada preferencialmente quando o diâmetro médio do cacho atingiu $5,53 \pm 0,78$ cm. A coleta foi realizada na chácara Aguro, no município de São José dos Pinhais, Paraná, Brasil, de um produtor local.

Os cogumelos foram lavados em água destilada e secos com o auxílio de papel absorvente à temperatura ambiente. Amostras de 100 g de cogumelos, incluindo os cogumelos (fresco) (não branqueados) e branqueados, foram selecionadas e subdivididas em 10 frações para análise. Corte transversal no píleo dos cogumelos Botão, Portobello e Shiitake, (FIGURA 11A;11B;11C) com espessura variando entre $2,5 \pm 0,5$ mm e, em seguida, submetido ao branqueamento. Os cogumelos foram imersos em 1 L de água, utilizando as condições ideais de branqueamento (Labinfarma Scientific, Piracicaba/SP), previamente estabelecidas por Rocha et al. (2024): $80,31^{\circ}\text{C}$ por 170,15 segundos para *Agaricus bisporus* (Botão), $83,33^{\circ}\text{C}$ por 209,51 segundos para *Agaricus bisporus* (Portobello) e $82,20^{\circ}\text{C}$ por 186,43 segundos para *Lentinula edodes* (Shiitake). Após o branqueamento, os cogumelos foram resfriados em banho de gelo até atingirem 7°C . Em seguida, foram drenados e secos com papel.

FIGURA 11 - VISTA SUPERIOR E ORIENTAÇÃO DO CORTE TRANSVERSAL DOS COGUMELOS.
A) BOTÃO, B) PORTOBELLO E C) SHIITAKE



FONTE: AUTOR (2025).

2.2 ANÁLISE COLORIMÉTRICA DE COGUMELOS ANTES E APÓS O BRANQUEAMENTO

As análises de cor dos cogumelos foram realizadas antes (fresco), imediatamente após o corte, e após o branqueamento, utilizando o colorímetro HunterLab MiniScan EZ (Reston, Virginia, EUA). Os valores foram expressos em L^* , a^* e b^* , ($n=10$), com medições realizadas em quatro posições diferentes, rotacionando a capsula em ângulos de 90° . Os parâmetros calculados foram a variação da luminosidade pela equação: $\Delta L^* = L^* - L_0^*$, onde L^* refere-se às amostras branqueadas e L_0^* às amostras frescas. A cromaticidade foi calculada pela equação: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$. O ângulo de matiz foi calculado pela equação: $h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*) \times (180/\pi)$. A variação total da cor foi avaliada pela equação $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0.5}$.

2.3 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONOIDES E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Os extratos foram preparados utilizando 0,5 g de cogumelos em 2,5 mL de etanol a 80% (em triplicata). Após a agitação em vórtex os extratos foram submetidos a banho ultrassônico por 30 minutos e centrifugados a 1,109 g por 15 minutos. Os sobrenadantes foram coletados, e uma segunda extração similar foi realizada. Os sobrenadantes resultantes foram combinados, filtrados e armazenados a $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ (BACH et al., 2019), até posterior análise de compostos fenólicos totais (TPC),

flavonoides totais (TFC) e atividade antioxidante por captura de radicais DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil-hidrato) e FRAP (poder antioxidante redutor férrico).

Os ensaios foram realizados em microplacas de 96 poços, em oito repetições, e os valores de absorbância foram medidos utilizando um espectrofotômetro de microplacas (MultiSkan FC, Thermo Fisher Scientific K.K., Tóquio, Japão). Os TPC foram determinados utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Singleton e Rossi em (1965), com algumas adaptações. Nos poços, foram adicionados 10 µL, 240 µL de água destilada e 15 µL do reagente Folin-Ciocalteu. Após 3 minutos de reação, foi adicionado 15 µL de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 20% (m/v). A absorbância foi medida a 690 nm após 60 minutos de incubação em ambiente escuro.

Os TFC foram determinados conforme descrito por Zhishen et al. (1999). Nos poços, 10 µL da amostra foi misturado a 90 µL de nitrito de sódio a 5%. Após 5 minutos, foram adicionados 10 µL de cloreto de alumínio a 10%, e a solução foi deixada reagir por mais 5 minutos. Em seguida, 90 µL de uma solução de hidróxido de sódio a 1 mol/L foi adicionado ao poço, e a absorbância foi medida a um comprimento de onda de 540 nm.

A captura do radical DPPH das amostras foi determinada conforme o método descrito por Brand-Williams et al. (1995). Adicionou-se 10 µL da amostra diluída a 190 µL da solução de DPPH (0,12 mmol/mL). Após 30 minutos em repouso no escuro, a absorbância foi medida a 540 nm.

A solução FRAP, de acordo com Benzie e Strain, (1996), foi composta por 100 mL de tampão acetato 300 mM em pH 3,63, 10 mL de cloreto férrico 20 mM e 10 mL de TPTZ (2,4,6-Tris (2-piridil-s-triazina) previamente dissolvido em ácido clorídrico 40 mM. Em 10 µL de amostra foram pipetados 300 µL de solução FRAP. A absorbância foi medida a 570 nm após 30 min em repouso no escuro.

Os resultados do TPC foram expressos em mg equivalente de ácido gálico (GAE) por grama de cogumelo ($y = 0,7732x - 0,0463$; $R^2 = 0,997$), e do TFC foram expressos em miligramas de equivalente de catequina (CE) por grama de cogumelo ($y = 0,209x + 0,0509$; $R^2 = 0,9814$), e do DPPH ($y = -0,6117x + 1,2329$; $R^2 = 0,9911$) e FRAP ($y = 1,2101x + 0,0430$; $R^2 = 0,9968$) foram expressos em mmol Trolox equivalente (TE)/ g de cogumelo.

3. ANÁLISE DOS DADOS

A métrica estatística para a validação dos modelos preditivos foi o erro percentual absoluto médio (MAPE), definido como $MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$, onde y_i representa os valores reais, $\hat{y}_i$ são os valores previstos e n é o número total de observações. A normalidade e a homogeneidade foram avaliadas por meio dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Brown-Forsythe para todas as variáveis, com os resultados apresentados como média $\pm$ desvio padrão. A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para determinar as diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os cogumelos, enquanto o teste de Duncan's foi utilizado para a comparação de médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando a métrica estatística do erro percentual absoluto médio (MAPE) amplamente utilizada para avaliar a precisão de modelos preditivos (DA VEIGA, et al., 2016; CEBALLOS-PALOMARES et al., 2021), os cogumelos Botão, Portobello e Shiitake apresentaram um *MAPE* inferior a 10% (TABELA 9), indicando previsões de alta precisão (LEWIS, 1997).

TABELA 9 - VALORES DE VARIAÇÃO TOTAL DA COR (EXPERIMENTAIS E PREVISTOS PELA EQUAÇÃO) DAS AMOSTRAS BRANQUEADAS OBTIDAS NAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE TRATAMENTO

	Variação total da cor (ΔE)		
	Valor experimental	Valor predito	MAPE (%)
Botão	22,74 ^a	22,00 ^A	3,10
Portobello	0,22 ^c	-0,11 ^B	8,81
Shiitake	16,32 ^b	16,90 ^C	3,65

Resultados expressos como média obtida nos ensaios (n=10). MAPE – Erro médio percentual absoluto. Na análise de Duncan's, diferentes letras na mesma coluna diferem significativamente ($p < 0,05$). ^A Equação 3 do capítulo 4; ^B Equação 4 do capítulo 4; Equação 5 do capítulo 4.

FONTE: Autor (2025).

Após o branqueamento, os cogumelos Botão e Shiitake apresentaram uma redução significativa na luminosidade (L^*) ($p < 0,05$) (TABELA 10), o que pode indicar escurecimento pós-tratamento, atribuído à inativação parcial das enzimas endógenas (RICHTER REIS, 2017). O Portobello não apresentou diferença significativa para L^* após o branqueamento otimizado. Entretanto, segundo Salvador-Reyes e Paucar-Menacho (2019), valores elevados de $L^* > 80$ são característicos de amostras mais claras, como foi observado para os cogumelos Botão, Portobello e Shiitake frescos.

Depois do branqueamento, os cogumelos Botão, Portobello e Shiitake apresentaram variações significativas no eixo a^* , enquanto os cogumelos Botão e Shiitake também mostraram diferenças no eixo b^* ($p < 0,05$), com aumento nas tonalidades avermelhada e amarelada, respectivamente.

O escurecimento também pode ser avaliado pela variação na luminosidade (ΔL), e a modificação visual pode ser expressa pela variação total de cor (ΔE). Sendo assim, após 5 horas do branqueamento otimizado, foi evidenciado que os cogumelos Botão, Portobello e Shiitake apresentaram valores de ΔL (21,96; 0,07 e 14,09 respectivamente) e ΔE (22,74; 0,22 e 16,32 respectivamente), inferiores a outros processos de pré preparo e conservação aplicados previamente. Em Botão, Portobello e Shiitake fatiados e embalados sem qualquer tratamento (TABELA 12), após 5 horas o valor ΔL (30,79; 19,18 e 19,14 respectivamente) e ΔE (30,87; 19,23 e 19,15 respectivamente) (ROCHA et al., 2024). Segundo a American Dental Association (2006), o olho humano é capaz de perceber diferenças de cor quando $\Delta E > 3,3$. Assim, no que tange à preservação da cor, o branqueamento otimizado do cogumelo Shiitake não apresenta benefícios significativos.

Fatias de *Boletus edulis*, apresentou ΔL de 25 após o assamento, 35 para o cozimento a vácuo e 23 depois da marinação em solução de sal e vinagre (GARCÍA et al., 2021); ΔE de 18 para secagem em centrífuga a vácuo, 19 em ar quente e 53 para liofilização (POPA et al., 2022). Os valores observados corroboram com os resultados obtidos para o cogumelo Botão submetido ao congelamento a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ assistido por campo magnético, que apresentou valor semelhante de ΔL (22), porém com uma ΔE superior (27) (ZHANG et al., 2024). Esse aumento na ΔE pode ser atribuído aos valores de a^* e b^* , indicando intensificação das tonalidades vermelha e amarela. No caso do processamento do cogumelo Portobello por secagem natural e secagem forçada a $28,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, observou-se um escurecimento mais acentuado após o processo, com valores de ΔL de 12 e 10 (KIC, 2018), em relação ao Portobello submetido ao branqueamento otimizado.

TABELA 10 - PARÂMETROS CIE L*A*B*, DIFERENÇA DE LUMINOSIDADE ΔL E VARIAÇÃO TOTAL DA COR ΔE DE AMOSTRAS FRESCAS E TRATADAS POR ULTRASSOM

Parâmetros colorimétricos	Cogumelos					
	<i>A. bisporus</i> (Botão)		<i>A. bisporus</i> (Portobello)		<i>L. edodes</i> (Shiitake)	
	Branqueado	Fresco	Branqueado	Fresco	Branqueado	Fresco
L*	66,78±0,90 ^d	88,74±0,31 ^a	88,36±0,15 ^a	88,43±0,18 ^a	73,14±0,61 ^c	87,23±0,23 ^b
a*	5,50±0,11 ^a	1,35±0,01 ^b	1,21±0,0,6 ^c	1,30±0,02 ^b	5,54±0,09 ^a	0,10±0,02 ^d
b*	16,94±0,47 ^a	12,75±0,08 ^b	12,16±0,14 ^c	12,23±0,14 ^c	17,15±0,48 ^a	10,99±0,11 ^d
C*	17,81±0,48 ^a	12,82±0,07 ^b	12,22±0,14 ^c	12,30±0,14 ^c	18,02±0,44 ^a	10,99±0,11 ^d
h°	72,00±0,28 ^c	83,94±0,07 ^b	84,32±0,27 ^b	83,94±0,11 ^b	72,10±0,65 ^c	89,50±0,09 ^a
ΔL	21,96±0,90 ^a		0,07±0,15 ^c		14,09±0,61 ^b	
ΔE	22,74±0,95 ^a		0,22±0,11 ^c		16,32±0,55 ^b	

Resultados expressos como média obtida nos ensaios (n=10). Na análise de Duncan's, diferentes letras na mesma linha diferem significativamente (p<0.05).

FONTE: Autor (2025).

As fatias de Shiitake, após o branqueamento, apresentaram valores de ΔL (14) e ΔE (16) (TABELA 10). De acordo com Yao (2023), fatias de Shiitake com a mesma espessura e tempo de processamento apresentaram menor escurecimento (ΔL) quando submetidas a assamento a vapor, fritura a ar e assamento convencional, com valores de 11; 12 e 13 (TABELA 12). Por outro lado, o escurecimento foi mais acentuado quando as fatias foram submetidas à fritura tradicional (ΔL de 23), em comparação ao branqueamento otimizado. Em relação à secagem por micro-ondas a vácuo assistida por infravermelho e à secagem por micro-ondas a vácuo, Kantrong et al. (2014) observaram maior escurecimento nas fatias de Shiitake, com ΔL de 22 e 25. Além disso, os valores de ΔE de 26 e 30 foram superiores aos observados no branqueamento otimizado, indicando maior alteração de cor. Os valores mais elevados de ΔE indicam que as fatias processadas exibiram um aumento na vermelhidão e no amarelecimento em comparação às amostras frescas.

A saturação (C*) apresentou diferenças significativas (p < 0,05) para os cogumelos Botão e Shiitake entre as amostras frescas e branqueadas. Após o branqueamento otimizado, os cogumelos Botão e Shiitake apresentaram um aumento significativo na C*, indicando cores mais vibrantes e intensas em comparação às amostras frescas, exceto pelo cogumelo Portobello, que apresentou menor variação nos indicadores L*, a* e b*. A variação destes indicadores está associada à formação de manchas marrons, características do escurecimento.

Comparando a variação de luminosidade dos cogumelos processados, observou-se a seguinte ordem decrescente de escurecimento, do menos escurecido ao mais escurecido (TABELA 12): branqueamento otimizado (Portobello) (AUTOR, 2025) < secagem forçada (Portobello) (KIC, 2018) < cozimento a vapor (Shiitake) (YAO et al., 2023) < fritura a ar (Shiitake) (YAO et al., 2023) < secagem natural (Portobello) (KIC, 2018) < assamento (Shiitake) (YAO et al., 2023) < branqueamento otimizado (Shiitake) (AUTOR, 2025) < sem processamento (Shiitake) (ROCHA et al., 2024) < sem processamento (Portobello) (ROCHA et al., 2024) < congelamento (Botão – assistido por campo magnético) (ZHANG et al., 2024) < grelha (*B. edulis*) (GARCIA et al., 2021) < branqueamento otimizado (Botão) (AUTOR, 2025) < secagem por microondas assistido por infravermelho (Shiitake) (KANTRONG et al., 2014) < marinação (*B. edulis*) (GACÍA et al., 2021) < fritura tradicional (Shiitake) (YAO et al., 2023) < secagem por microondas a vácuo (Shiitake) (KANTRONG et al., 2014) < assamento (*B. edulis*) (GARCÍA et al., 2021) < sem processamento (Botão) (ROCHA et al., 2024) < Cozimento a vácuo (*B. edulis*) (GARCÍA et al., 2021) (TABELA 12). Quanto à variação colorimétrica, ΔE , dos cogumelos processados, a ordem decrescente foi a seguinte, do menor para o maior valor (TABELA 12): branqueamento otimizado (Portobello) (AUTOR, 2025) < branqueamento otimizado (Shiitake) (AUTOR, 2025) < secagem centrifuga à vácuo (*B. edulis*) (POPA et al., 2022) < secagem em ar quente (*B. edulis*) (POPA et al., 2022) < sem processamento (Shiitake) (ROCHA et al., 2024) < sem processamento (Portobello) (ROCHA et al., 2024) < branqueamento otimizado (Botão) (AUTOR, 2025) < secagem por microondas a vácuo assistido por infravermelho (Shiitake) (KANTRONG et al., 2014) < congelamento (Botão – assistido por campo magnético) (ZHANG et al., 2024) < secagem por microondas à vácuo (Shiitake) (KANTRONG et al., 2014) < sem processamento (Botão) (ROCHA et al., 2024) < liofilização (*B. edulis*) (POPA et al., 2022). O branqueamento otimizado demonstrou maior eficácia para o cogumelo Portobello, resultando na menor alteração de luminosidade e cor, tanto em comparação com outros processos quanto em relação ao cogumelo fresco.

De acordo com a correlação de Pearson, o aumento nos níveis de compostos fenólicos totais (TPC) está associado a uma maior capacidade antioxidante, e os flavonóides totais (TFC) seguiram a mesma tendência (TABELA 11). Os TPC apresentaram uma correlação muito forte, evidenciada pelos ensaios DPPH ($r = 0,940$; $p = 0,005$) e FRAP ($r = 0,938$; $p = 0,006$), corroborando com os ensaios DPPH e FRAP

(RONCERO-RAMOS et al., 2017; JIN et al., 2018; GARRAB et al., 2019; AKATA et al., 2019; BACH et al., 2019; HASSAN et al., 2021; WICKRAMASINGHE et al., 2023; ZHOU et al., 2023; AGBOOLA et al., 2023; DEDOUSI et al., 2024; ZHENG et al., 2024). Os TFC também mostraram correlação de muito forte a forte nos ensaios DPPH ($r = 0,933$; $p = 0,007$) e FRAP ($r = 0,888$; $p = 0,018$), novamente em concordância com os ensaios DPPH e FRAP (JIN et al., 2018; BAH et al., 2019; GARRAB et al., 2019; HASSAN et al., 2021; AGBOOLA et al., 2023; WICKRAMASINGHE et al., 2023). Também foi observado uma relação direta entre os métodos TPC e o TFC ($r = 0,906$; $p = 0,013$).

TABELA 11 - CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONÓIDES E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO DE *A. bisporus* (BOTÃO E PORTOBELLO) E *L. edodes* (S). EM BASE FRESCA

Cogumelo		Análises			
		Compostos Fenólicos Totais (mg GAE/g)	Flavonoides Totais (mg CE/g)	Atividade antioxidante (mmol TE/g)	
				DPPH	FRAP
<i>A. bisporus</i>	FR	0,907±0,024 ^b	0,348±0,008 ^b	1,474±0,043 ^b	1,950±0,286 ^b
(Botão)	BR	0,432±0,005 ^d	0,278±0,023 ^c	1,241±0,057 ^c	1,354±0,007 ^c
<i>A. bisporus</i>	FR	1,227±0,080 ^a	0,427±0,028 ^a	2,850±0,109 ^a	3,618±0,134 ^a
(Portobello)	BR	0,615±0,002 ^c	0,302±0,006 ^c	1,413±0,108 ^{bc}	2,213±0,075 ^b
<i>L. edodes</i>	FR	0,558±0,004 ^c	0,183±0,011 ^d	1,026±0,001 ^d	1,519±0,122 ^c
(Shiitake)	BR	0,180±0,002 ^e	0,073±0,010 ^e	0,176±0,006 ^e	0,651±0,003 ^d

FR – Fresco. BR – Cogumelos branqueadas. Resultados expressos como média obtida nos ensaios (n=10). Na análise de Duncan's, diferentes letras na mesma coluna diferem significativamente ($p < 0.05$).

FONTE: Autor (2025).

O cogumelo Portobello apresentou os maiores teores de TPC e TFC, tanto nas condições frescas quanto tratadas por branqueamento otimizado, seguido pelos cogumelos Botão e Shiitake (TABELA 11). Após o branqueamento, o cogumelo Portobello apresentou a menor redução de TPC, com uma perda de 50%, seguido pelos cogumelos Botão de 52% e Shiitake de 68% (TABELA 11). A ampla superfície exposta pelo corte do cogumelo aumenta a área de contato, facilitando a lixiviação de compostos fenólicos com alta hidrossolubilidade do interior da fatia (GARCÍA et al., 2021). Além disso, quando submetido a tratamento térmico, ocorrem alterações na permeabilidade da parede celular do cogumelo, facilitando sua solubilização e reduzindo o teor de fenólicos ligados (SHAHIDI, YEO, 2016; MEDINA-PLAZA et al.,

2019). O aumento da temperatura também exerce efeito deletério sobre os flavonoides. Corroborando, Ferreyra et al. (2023), Liu et al. (2021) relataram que a maioria das leguminosas submetidas a processos hidrotérmicos apresentou redução entre 50% e 85% nos teores de TPC devido à lixiviação.

Os cogumelos *Agaricus bisporus* conservaram maior quantidade de TPC devido à variabilidade de solubilidade dos compostos fenólicos. Segundo Kała et al. (2017) e Kała et al. (2021), a composição do cogumelo Botão inclui compostos de alta hidrossolubilidade, como o ácido protocatecuico; de solubilidade moderada, como o ácido p-hidroxibenzóico; e de baixa solubilidade, como o ácido siríngico e a L-fenilalanina. A maior redução de TPC no cogumelo Shiitake pode ser atribuída à natureza hidrossolúvel dos compostos fenólicos. Segundo WANG et al. (2022), foram identificados cinco tipos de compostos hidrossolúveis, com destaque para o ácido gálico e o ácido protocatecuico, presentes em maiores concentrações, e para o ácido cafeico, ácido clorogênico, ácido ferúlico e luteolina, em menores teores. Além disso, há compostos fenólicos livres, como o ácido cinâmico e a hesperidina, que são facilmente lixiviados. De modo geral, a maior parte dos compostos fenólicos encontrados no Shiitake apresenta alta capacidade de migração para o meio aquoso.

Ao avaliar a eficiência do branqueamento otimizado. O processamento de *Boletus edulis* por assamento resultou em uma redução de 48% no TPC e de 69% na marinação, em solução de sal e vinagre (GARCÍA et al., 2021). O autor também relata menores perdas de compostos fenólicos em métodos como o cozimento a vácuo de 29% e no grelhamento, onde não foram observadas perdas significativas. Segundo o autor, essa menor perda está associada ao uso de solução lipídica em óleo de oliva, que possivelmente contribuiu para reduzir a lixiviação dos compostos fenólicos. Nesse sentido, Lozano-Sánchez et al. (2009) também destacam que, no grelhamento, não houve perdas significativas desses compostos, uma vez que o processo, assistido com óleo de oliva, ajuda a compensar os efeitos do tratamento térmico.

O branqueamento otimizado apresentou reduções de flavonoides totais (TFC) de 20% para o cogumelo Botão, 29% para o Portobello e 60% para o Shiitake (TABELA 12). Ao processarem *B. edulis* por marinação em solução de sal e vinagre, GARCÍA et al. (2021) relataram uma redução de TFC de 60%, valor superior ao observado nos cogumelos Botão e Portobello, e equivalente ao do cogumelo Shiitake. Maiores reduções de TFC foram observadas nos processos de cozimento a vapor de 58%, fervura de 62% e fritura a ar quente de 46% em relação aos cogumelos Botão e

Portobello branqueados. Particularmente, o cozimento a vapor e a fritura exibiram reduções de TFC próximas às observadas no cogumelo Shiitake branqueado, sendo que, nesse caso, apenas a fritura a ar apresentou menor redução (YAO et al., 2023). Esses resultados reforçam que a espécie do cogumelo e o tipo de processo influenciam diretamente a manutenção dos teores de TFC.

O cogumelo Portobello apresentou a maior atividade antioxidante nas análises DPPH e FRAP, tanto nas condições frescas quanto tratadas por branqueamento otimizado, seguido pelos cogumelos Botão e Shiitake (TABELA 11). Após o branqueamento, os cogumelos apresentaram redução na atividade antioxidante na análise DPPH, sendo o Botão o que teve a menor redução de 16%, seguido pelo Portobello de 50% e Shiitake de 83%. A análise FRAP seguiu a mesma tendência, com redução de 31% para o cogumelo Botão, 39% para o Portobello e 57% para o Shiitake.

O processo de fervura, segundo Radzki et al. (2016), exibiu menor redução de TPC para os cogumelos Botão de 40% e Shiitake de 65%. Em contraste, o autor relatou maior redução da atividade antioxidante, por FRAP, para o cogumelo Botão de 34% e menor para o Shiitake de 54%. Além disso, os cogumelos também foram processados por branqueamento (5 minutos a 95 °C), assistido com ácido cítrico a 0,5%, apresentando menor redução de TPC para o cogumelo Botão de 37% e Shiitake de 41%, e também menor redução da atividade antioxidante para o cogumelo Botão de 30% e Shiitake de 14%, em comparação com seus exemplares branqueados da pesquisa. A adição de ácido cítrico durante processos hidrotérmicos atua como agente protetor, sendo oxidado no lugar de outras moléculas suscetíveis à degradação (ACTON, 2012; LIU et al., 2024).

No processo de fervura em água por 4,5 e 6 minutos, de acordo com Ng e Tan (2017), observou-se maior redução da atividade antioxidante para os cogumelos Botão (45%; 48%) e Shiitake (69%; 80%). Quando processados por micro-ondas, os cogumelos apresentaram uma redução ainda maior: Botão (45%; 58%) e Shiitake (71%; 79%). Além disso, no cozimento a vapor, observou-se uma redução da atividade antioxidante de 40% a 44% para o cogumelo Botão e de 7% a 14% para o Shiitake, em relação aos exemplares branqueados.

Ao processar *B. edulis* por secagem em ar quente, liofilização e secagem centrífuga a vácuo, Popa et al. (2022) verificaram reduções variando de 36% a 40% na atividade antioxidante por FRAP. A redução da atividade antioxidante nesses três

métodos foi superior à observada para o cogumelo Botão, apresentou valor semelhante ao do cogumelo Portobello e foi menor do que a observada no cogumelo Shiitake, processados por branqueamento otimizado. Em concordância com Giusti et al. (2019) e Ranilla et al. (2009), possivelmente a lixiviação está entre os principais fatores responsáveis pela redução dos compostos fenólicos, ocasionando a diminuição da atividade antioxidante. Essa redução pode variar dependendo do método (fervura, micro-ondas ou cozimento sob pressão), bem como do meio de cozimento (uso de açúcar ou sal) (LIU et al., 2020).

Comparando os processos, observou-se a seguinte ordem crescente de redução do TPC, do que menos reduziu para o que mais reduziu, conforme a (TABELA 12): cozimento a vácuo (*B. edulis* – assistido em óleo de oliva) (GARCIA et al., 2021) < branqueamento (Botão – assistido em ácido cítrico) (RADZKI et al., 2016) < fervura (Botão) (RADZKI et al., 2016) < branqueamento (Shiitake – assistido em ácido cítrico) (RADZKI et al., 2016) < assamento (*B. edulis*) (GARCIA et al., 2021) < branqueamento otimizado (Portobello) (AUTOR, 2025) < branqueamento otimizado (Botão) (AUTOR, 2025) < fervura (Shiitake) (RADZKI et al., 2016) < branqueamento otimizado (Shiitake) (AUTOR, 2025) < marinação (*B. edulis* – assistida em sal e vinagre) (GARCIA et al., 2021) (TABELA 12). O decréscimo do TFC nos diferentes processos segue a ordem crescente, do que menos reduziu para o que mais reduziu, conforme apresentado na (TABELA 12): branqueamento otimizado (Botão) (AUTOR, 2025) < branqueamento otimizado (Portobello) (AUTOR, 2025) < cozimento a vapor (Botão – assistido em óleo de oliva 4,5 min) (NG; TAN, 2017) < fritura a ar quente (Shiitake) (YAO et al., 2023) < fervura (Botão – 4,5 min) (NG; TAN, 2017) < fervura (Botão – 6 min) (NG; TAN, 2017) < branqueamento otimizado (Shiitake) (AUTOR, 2025) < marinação (*B. edulis* – assistida em sal e vinagre) (GARCIA et al., 2021) < microondas (Shiitake – 4,5 min) (NG; TAN, 2017) < microondas (Botão – 4,5 min) (NG, TAN, 2017) < microondas (Shiitake – 6 min) (NG; TAN, 2017) < microondas (Botão – 6 min) (NG; TAN, 2017) (TABELA 12). O branqueamento otimizado foi mais eficaz nos cogumelos Botão e Portobello, de manutenção moderada para os TPC, entretanto se destacaram para alta retenção dos TFC.

A atividade antioxidante apresentou a seguinte ordem de redução pelo método FRAP, do processo que menos reduziu para o que mais reduziu: cozimento a vapor (Shiitake – 4,5 min) (NG; TAN, 2017) < branqueamento (Shiitake – assistido em ácido cítrico) (RADZKI et al., 2016) < cozimento a vapor (Shiitake – 6 min) (NG; TAN,

2017) < branqueamento (botão – assistido em ácido cítrico) (RADZKI et al., 2016) < branqueamento otimizado (Botão) (AUTOR, 2025) < fervura (Botão) (RADZKI et al., 2016) < liofilização (*B. edulis*) (POPA et al., 2022) < secagem centrífuga a vácuo (*B. edulis*) (POPA et al., 2022) < secagem a ar quente (*B. edulis*) (POPA et al., 2022) < branqueamento otimizado (Portobello) (AUTOR, 2025) < cozimento a vapor (Botão – 4,5min) (NG; TAN, 2017) < liofilização (*B. edulis*) (POPA et al., 2022) < secagem centrífuga a vácuo (*B. edulis*) (POPA et al., 2022) < cozimento a vapor (Botão – 6 min) (NG; TAN, 2017) < fervura (Botão – 4,5 min) (NG; TAN, 2017) < microondas (Botão – 4,5min) (NG; TAN, 2017) < fervura (Botão – 6 min) (NG; TAN, 2017) < fervura (Shiitake) (RADZKI et al., 2016) < branqueamento otimizado (Shiitake) (AUTOR, 2025) < microondas (Botão – 6 min) (NG; TAN, 2017) < fervura (Shiitake – 6 min) (NG; TAN, 2017) < microondas (Shiitake – 6 min) (NG; TAN, 2017) < microondas (Shiitake – 4,5min) (NG; TAN, 2017) < fervura (Shiitake – 4,5min) (NG; TAN, 2017) (TABELA 12). Entre os diferentes processos revisados, o branqueamento otimizado mostrou-se eficiente na preservação da atividade antioxidante no cogumelo Botão e moderado no cogumelo Portobello.

Além dos benefícios destacados na pesquisa, como a preservação da cor e do valor nutricional, o branqueamento também contribui para a redução de custos, eliminação de substâncias indesejáveis, diminuição da carga microbiana e otimização do tempo e da temperatura de processamento (RICHTER REIS, 2017; DA ROCHA et al., 2024).

TABELA 12 - COMPARATIVA DA LUMINOSIDADE (L*), VARIAÇÃO DA LUMINOSIDADE (ΔL), VARIAÇÃO DA COR (ΔE), COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS (TPC), FLAVONÓIDES TOTAIS (TFC) E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COGUMELOS EM DIFERENTES PROCESSOS

Cogumelo	Processo	(ΔL)	(ΔE)	TPC (Redução %)	TFC (Redução %)	FRAP (Redução %)
Botão	¹ Branqueamento otimizado	21,96	22,74	52	20	31
	² Sem processo	30,79	30,87	-	-	-
	⁸ Fervura	-	-	-	47-51	45-48
	⁹ Fervura	-	-	40		34
	⁸ Micro-ondas	-	-	-	70-79	45-58
	⁸ Cozimento a vapor	-	-	-	41	40-44
	⁹ Branqueamento (ácido cítrico)	-	-	37	-	30
	¹⁰ Congelamento (assistido por campo magnético)	21,65	26,95	-	-	-
	¹ Branqueamento otimizado	0,07	0,22	50	29	39
	² Sem processo	19,18	19,23	-	-	-
Portobello	⁷ Secagem Natural	12,28				
	⁷ Secagem forçada	10,15	-	-	-	-
	¹ Branqueamento otimizado	14,09	16,32	68	60	57
Shiitake	² Sem processo	19,14	19,15	-	-	-
	⁶ Assamento	12,97				
	⁶ Cozimento a vapor	11,25	-	-	58	-
	⁸ Cozimento a vapor	-	-	-	-	7-14
	⁸ Fervura	-	-	-	-	69-80
	⁹ Fervura	-	-	65	-	54
	⁴ Secagem por micro-ondas a vácuo	25,00	30,00	-	-	-
	⁴ Secagem por micro-ondas a vácuo (assistida por Infravermelho)	22,50	26,00	-	-	-
	⁸ Microondas	-	-	-	67-74	71-79
	⁶ Fritura a ar	12,16	-	-	46	-
<i>B. edulis</i>	⁶ Fritura Tradicional	23,10	-	-	-	-
	⁹ Branqueamento (ácido cítrico)	-	-	41	-	14
	³ Assamento	25,31	-	48	-	-
	³ Cozimento a vácuo (óleo de oliva)	34,84	-	29	-	-
	³ Grelha (óleo de oliva)	21,69	-	Sem perdas	-	-
	³ Marinação (sal/vinagre)	23,00	-	69	60	-
	⁵ Liofilização	-	52,98	-	-	36-40
	⁵ Secagem centrífuga a vácuo	-	17,63	-	-	36-40
	⁵ Secagem em ar quente	-	18,91	-	-	36-40

¹(AUTOR, 2025); ²(ROCHA et al., 2024); ³(GARCÍA et al., 2021); ⁴(KANTRONG et al., 2014); ⁵(POPA et al., 2022); ⁶(YAO et al., 2023); ⁷(KIC, 2018); ⁸(NG; TAN, 2017); ⁹(RADZKI et al., 2016); ¹⁰(ZHANG et al., 2024).

FONTE: Autor (2025).

5. CONCLUSÕES

O branqueamento otimizado do cogumelo Botão apresentou desempenho moderado na preservação da luminosidade e da variação de cor, com resultado superior ao seu exemplar não processado, embora inferiores aos obtidos por diversos outros métodos avaliados. O cogumelo Portobello se destacou, apresentando os melhores indicadores de luminosidade e variação de cor entre todos os processos analisados, inclusive quando comparado ao escurecimento natural do cogumelo fresco. O cogumelo Shiitake também apresentou bons resultados na preservação da luminosidade e da variação de cor. No entanto, quanto à variação de cor, o uso do branqueamento otimizado não se justifica, uma vez que a alteração visual é mínima e imperceptível a olho nu em comparação à deterioração natural.

No que se refere aos compostos bioativos, o branqueamento otimizado foi capaz de conservar parte dos compostos fenólicos, dos flavonoides e da atividade antioxidante. Em comparação aos demais processos, mostrou-se um método funcional para os cogumelos Botão e Portobello, mas insatisfatório para o Shiitake na preservação dos bioativos. Por outro lado, o branqueamento otimizado destacou-se na conservação dos flavonoides nos cogumelos Botão e Portobello. Em relação à atividade antioxidante, esse tratamento se sobressaiu para o cogumelo Botão e apresentou retenção moderada para o Portobello, quando comparado a outros processos.

Como foi observado, cogumelos diferentes submetidos ao mesmo processo apresentam modificações visuais e nutricionais distintas. Por isso, é necessário analisar cada processo de forma individual, já que cada tipo de cogumelo responde de maneira particular. Portanto, o branqueamento otimizado aplicado aos cogumelos Botão e Portobello mostraram-se uma alternativa satisfatória, com potencial para minimizar alterações visuais e preservar compostos bioativos. Dessa forma, configura-se como uma opção factível tanto para a indústria alimentícia quanto para o consumidor que busca alimentos minimamente processados, com parte dos benefícios à saúde preservados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da casca de pinhão (PSC) na formulação de substratos para o cultivo comercial do cogumelo Ostra-rosa (*Pleurotus djamor*) na proporção de 40% de PSC promoveu maior crescimento micelial, taxa de produtividade, número de corpos de frutificação, rendimento e eficiência biológica; além disso, o perfil nutricional do cogumelo apresentou altos teores de fibras, proteínas e minerais essenciais.

Os cogumelos Botão, Portobello, Shiitake e Ostra também apresentaram níveis significativos de macronutrientes, minerais e compostos bioativos. Entretanto o perfil nutricional dos cogumelos difere significativamente, o cogumelo Botão apresentou o maior valor calórico, além de altos níveis de carboidratos, cobre, fósforo e compostos fenólicos, embora com baixo teor de fibras. O cogumelo Ostra, por sua vez, destacou-se pelo elevado conteúdo de proteínas e ferro. O Portobello exibiu um teor de cinzas mais alto em comparação aos cogumelos Botão, Shiitake e Ostra, além de apresentar menor teor de fibras e maior concentração de carboidratos do que o relatado em estudos anteriores. Já o Shiitake apresentou altos níveis de fibras, magnésio, manganês e zinco, com menor teor de carboidratos em relação aos demais cogumelos.

Para o aumento da vida útil dos cogumelos o branqueamento otimizado pela metodologia de superfície de resposta para os cogumelos Botão e Portobello foi possível minimizar o escurecimento ($<\Delta L$ e $<\Delta E$) e preservar os compostos bioativos (mais de 48% de TPC, TFC e FRAP). Em alimentos minimamente processados, a preservação da atividade antioxidante contribui para a manutenção e o aprimoramento do valor nutricional do produto.

Além de agregar valor a um resíduo agroindustrial, o uso do PSC como substrato para cultivo de cogumelos pode contribuir para a valorização da *Araucaria angustifolia*, espécie ameaçada de extinção. Além disso, a caracterização nutricional dos cogumelos pode contribuir para a inclusão em no banco de dados de alimentos, sendo possível observar que os substratos influenciam a composição nutricional dos cogumelos. Além do mais, as espécies de cogumelos estudadas são uma alternativa alimentar saudável que podem ser usadas em dietas veganas e com restrição de lipídios e carboidratos.

Na produção do Ostra-rosa utilizando PSC, a pesquisa encontrou dificuldades quanto ao detalhamento da metodologia de cultivo de cogumelos. Para contornar esse

desafio, optou-se por utilizar essa espécie, que apresenta características peculiares, como sistema de cultivo simples, resistência a patógenos e adaptação a condições sazonais. Outro obstáculo enfrentado foi a dificuldade em estabelecer correlações diretas entre os substratos utilizados e a composição nutricional dos cogumelos cultivados, uma vez que a maioria dos estudos disponíveis não descreve adequadamente as características dos substratos empregados. Tal lacuna evidencia a necessidade de padronização e maior transparência metodológica em pesquisas futuras.

No que se refere ao branqueamento otimizado, recomenda-se a realização de estudos complementares de análise sensorial, com foco na percepção da textura e da cor após o tratamento térmico. Além disso, estudos futuros devem investigar se o branqueamento influencia positivamente a vida útil do cogumelo, por meio de análises microbiológicas ao longo do tempo de armazenamento.

As análises colorimétricas foram inicialmente conduzidas com o cogumelo *Ostra*, tanto em sua forma fresca quanto após o branqueamento. No entanto, os resultados foram desconsiderados devido ao comportamento atípico dessa espécie em comparação aos demais cogumelos avaliados (Apêndice IV).

Dessa forma, os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciam o potencial dos cogumelos comestíveis, em especial o *Pleurotus djamor*, como alimentos sustentáveis e nutricionalmente atrativos, com possibilidade de aproveitamento em diferentes contextos da indústria alimentícia. A utilização da casca de pinhão como substrato alternativo reforça a viabilidade de práticas agroindustriais mais sustentáveis, promovendo o aproveitamento de resíduos e a valorização de espécies nativas como a *Araucaria angustifolia*. Além disso, os dados gerados contribuem para o avanço do conhecimento sobre a composição nutricional de cogumelos amplamente consumidos, possibilitando sua inclusão em bases de dados alimentares e subsidiando recomendações nutricionais mais precisas. Ainda que algumas limitações tenham sido identificadas, como a escassez de protocolos padronizados para o cultivo e da relação de substrato e composição nutricional de cogumelos, este estudo abre caminhos para novas investigações voltadas à otimização do cultivo, processamento e aproveitamento comercial desses fungos. Estudos futuros poderão aprofundar a análise sensorial dos tratamentos térmicos, a influência de diferentes substratos sobre a composição nutricional e o comportamento físico-químico dos cogumelos frente ao processamento. Assim, reafirma-se a importância dos cogumelos comestíveis como

aliados na promoção de uma alimentação saudável, diversificada e alinhada aos princípios da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ACTON, A. Q. Tricarboxylic Acids – Advances in Research and Application: 2012 Edition. **Editora: Scholarly Editions**. ISBN. 9781481636858, 1481636855 pag 19
- AGARWAL, S.; KUSHWAHA, A.; VERMA, V.; SINGH, M. P. Nutritional Attributes of *Pleurotus* Mushroom. Incredible World of Biotechnology. **Nova Science, New York**, ISBN: 978-1-53611-097-5 pp. 13–24, 2017.
- AGBOOLA, O. O.; SITHOLE, S. C.; MUGIVHISA, L. L.; AMOO, S. O.; OLOWOYO, J. O. Growth, nutritional and antioxidant properties of *Agaricus bisporus* (Crimini and White) mushrooms harvested from soils collected around mining areas, Pretoria, South Africa: Nutrition and Antioxidant of *Agaricus* sp. **Measurement: Food**, 100078, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100078>.
- AGUIAR, L. V. B. D.; SALES-CAMPOS, C.; GOUVÊA, P. R. D. S.; VIANEZ, B. F.; DIAS, E. S.; CHEVREUIL, L. R. Substrate disinfection methods on the production and nutritional composition of a wild oyster mushroom from the Amazon. **Ciência e Agrotec**. 45, e010321. 2021.
- AGUIAR. L. V. B.; GOUVÊA, P. R. S. Production of Commercial and Amazonian Strains of *Pleurotus ostreatus* in Plant Waste. **Braz J Dev**. 8(6), 47299-47321. 2022.
- AGUIRRE, L.; FRIAS, J. M.; BARRY-RYAN, C.; GROGAN, H. Assessing the effect of product variability on the management of the quality of mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Postharvest Biol. Technol**. 49, 247–254. 2008.
- AKATA, I. L. G. A. Z.; ZENGİN, G.; PICOT, C. M. N.; MAHOMOODALLY, M. F. Enzyme inhibitory and antioxidant properties of six mushroom species from the Agaricaceae family. **S. Afr. J. Bot**, 120, 95-99. 2019.
- AL-JUHAIMI, F.; GHAFOR, K.; ÖZCAN, M. M.; JAHURUL, M. H. A.; BABIKER, E. E.; JINAP, S.; ZAIDUL, I. S. M. Effect of various food processing and handling methods on preservation of natural antioxidants in fruits and vegetables. **Journal of Food Science and Technology**, 55 (10), 3872–3880. 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3370-0>
- ALMEIDA, E. R. V.; MELO, A. S.; LIMA, A. S.; LEMOS, V. A.; OLIVEIRA, G. S.; CLETHEN, C. F.; BEZERRA, M. A. A review of the use of central composite design in the optimization of procedures aiming at food chemical analysis. *Food Chemistry*, 143849, 2025.
- ALMEIDA, F. A.; GOMES, G. F.; PAULA, V. R.; CORRÊA, J. E.; PAIVA, A. P.; GOMES, J. H. F. A weighted mean square error approach to the robust optimization of the surface roughness in an AISI 12L14 free-machining steel-turning process. **Journal of Mechanical Engineering**. 64(3):147-156, 2018.

AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. J. Am. Diet. Assoc., v.102, p.993-1000, 2006. <https://www.eatright.org/health/essential-nutrients/carbohydrates/fiber>.

AMERICAN DENTAL ASSOCIATION. ADA Acceptance Program Guidelines Dentist-dispensed home-use tooth bleaching products. **Retrieved online February**, 13, 2006.

ANPC – Associação Nacional dos Produtores de Cogumelos (2019). Disponível em: <<https://www.anpccogumelos.org/>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

ANPC. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE COGUMELOS. Cogumelos. 2016. Disponível em: <https://www.anpccogumelos.org/>. Acesso em: 05/05/2021.

AOAC. **Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist.** 19th ed. Rockville, MD, USA: AOAC International. Method 925,10; Method 923,03; Method 920,87; Method 920,39; Method 991,43. 2019.

ATIWESH, G.; PARRISH, C. C.; BANOUB, J.; LE, T. A. T. Lignin degradation by microorganisms: A review. **Biotechnology Progress**, 38(2), e3226, 2022.

BACH, F.; HELM, C. V.; BELLETTINI, M. B.; MACIEL, G. M.; HAMINIUK, C. W. I. Edible mushrooms: a potential source of essential amino acids, glucans and minerals. *Int. J. Food Sci. Technol.* 52(11), 2382-2392. 2017.

BACH, F. Avaliação do potencial nutricional, antioxidante e antibacteriano de cogumelos comestíveis. **Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos, 4.; Encontro Paranaense de Engenharia de Alimentos, 7.** 2018. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1111237>.

BACH, F.; ZIELINSKI, A. A. F.; HELM, C. V.; MACIEL, G. M.; PEDRO, A. C.; STAFUSSA, A. P.; HAMINIUK, C. W. I. Bio compounds of edible mushrooms: In vitro antioxidant and antimicrobial activities. **Lwt**, 107, 214-220, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.017>.

BARRETT, D. M.; THEERAKULKAIT, C. Quality indicators in blanched, frozen, stored vegetables. **Food technology (Chicago)**, 49(1), 62-65. 1995.

BARRÓN-GARCÍA, O. Y.; MORALES-SÁNCHEZ, E.; GAYTÁN-MARTÍNEZ, M. Inactivation kinetics of *Agaricus bisporus* tyrosinase treated by ohmic heating: Influence of moderate electric field. **Innov Food Sci Emerg Technol.** Aug;(56): 102179, 2019. doi:10.1016/j.ifset.2019.102179.

BARRÓN-GARCÍA, O. Y.; NAVA-ÁLVAREZ, B.; GAYTÁN-MARTÍNEZ, M.; GONZALEZ-JASSO, E.; MORALES-SÁNCHEZ, E. Ohmic heating blanching of *Agaricus bisporus* mushroom: Effects on polyphenoloxidase inactivation kinetics, color, and texture. **Innov Food Sci Emerg Technol.** Aug;(80) 103105, 2022. doi:10.1016/j.ifset.2022.103105.

BARROS, L.; BAPTISTA, P.; CORREIA, D. M.; CASAL, S.; OLIVEIRA, B.; FERREIRA, I.C. Composição química e valor nutricional de cogumelos silvestres comestíveis do nordeste de Portugal. **Actas do 8º Encontro de Química dos Alimentos**, 333-336. 2007.

BARROS NETO, B., SCARMINIO, I. S., BRUNS, R. E. **Planning and optimization of experiments**. Campinas, Brazil: Unicamp, 66, 1996.

BENZIE, I. E.; STRAIN, J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. **Anal. Biochem**, v. 239, Issue 1, 15 July 1996, Pages 70-76. 1996. <http://dx.doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.

BELLETTINI, M. B.; FIORDA, F. A.; MAIEVES, H. A.; TEIXEIRA, G. L.; ÁVILA, S.; HORNUNG, P. S.; RIBANI, R. H. Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. **Saudi Journal of Biological Sciences**, 26(4), 633-646, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>.

BERNAUD, F. S. R.; RODRIGUES, T. C. Dietary fiber: adequate intake and effects on metabolism health. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**. 57 (6), 2013. <https://doi.org/10.1590/S0004-27302013000600001>.

BONONI, V. L.; CAPELARI, M.; MAZIERO, R.; TRUFEM, S. F. B. Cultivo de cogumelos comestíveis. **São Paulo: Ícone**, 1995. 205p.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, 28(1), 25-30. 1995. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).

BRASIL, J. L.; EV, R. R.; MILCHAREK, C. D.; MARTINS, L. C.; PAVAN, F. A.; DOS SANTOS, J. R. A. A.; LIMA, E. C. Statistical design of experiments as a tool for optimizing the batch conditions to Cr (VI) biosorption on *Araucaria angustifolia* wastes. **Journal of hazardous materials**. 133(1-3), 143-153, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.10.002>.

BREENE, W. N. Nutritional and medicinal value of specialty mushrooms. **Journal of Food Protection**, v.10, n.53, p.883-94, 1990. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-53.10.883>.

BROWN, G. D.; GORDON S. Fungal β -glucans and mammalian immunity. *Immunity*, 19(3), 311-315. 2003.

CABRERA, L. C.; CONSTANTINO, L. V.; SANTOS, P.A.; GONÇALVES, L. S. A.; ERPEN-DALLA, L. C. Caracterização da produção de cogumelos comestíveis: estudo de caso na região de Londrina, Paraná. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p., 2020.

CALDER, P. C. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. **Biochemical Society Transactions**. 45(5): 1105-1115. 2017. (DOI: 10.1042/BST20160474).

CALVO, C.; DURÁN, L. **Propiedades Físicas II – Ópticas y color**. México, Ed: José Miguel Aguilera, v. 1, 1997.

CARDOSO, R. V.; CAROCHO, M.; FERNANDES, Â.; BARREIRA, J. C.; CABO VERDE, S.; SANTOS, P. M.; FERREIRA, I. C. Combined effects of irradiation and storage time on the nutritional and chemical parameters of dried *Agaricus bisporus* Portobello mushroom flour. **Journal of Food Science**, 86(6), 2276-2287. 2021. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15755>.

CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras. Recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. **EMBRAPA**, Colombo, 639 pp. 1994.

CASTRILLON, R. G.; HELM, C. V.; MATHIAS A. L. *Araucaria angustifolia* and the pinhão seed: Starch, bioactive compounds and functional activity – a bibliometric review. **Revista Ciência Rural** v.53:9, 2023. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220048>.

CEBALLOS-PALOMARES, L. N.; NAVA-JIMÉNEZ, A. B.; CABALLERO-MORALES, S. O.; CANO-OLIVOS, P. Forecast Methods and Periodic Review Inventory Model for Supply Planning to Reduce Food Waste. **Asian Journal of Economics, Business and Accounting**, 24-40, 2021.

CERÓN-GUEVARA, M. I.; RANGEL-VARGAS, E.; LORENZO, J. M.; BERMÚDEZ, R.; PATEIRO, M.; RODRIGUEZ, J. A.; SANTOS, E. M. Effect of the addition of edible mushroom flours (*Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*) on physicochemical and sensory properties of cold-stored beef patties. **Journal of Food Processing and Preservation**, 44(3), e14351. 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14351>.

CHANG, S. T.; MILES, P. G. Edible Mushrooms and their Cultivation. CRC. Boca Raton, FL, USA. 345 pp. 1989.

CHAKRABARTI, A.; CAMPBELL, B. L.; SHONKWILER, V. Eliciting consumer preference and willingness to pay for mushrooms: A latent class approach. **Journal of Food Distribution Research**, 50(1), 46-62. 2019. Doi:10.22004/ag.econ.292182.

CHAQUILLA-QUILCA, G.; PÉREZ-FALCÓN, L. F.; LOZANO, F.; FERNANDEZ-AYMA, A.; ESPINOZA-TICONA, Y.; SILVA-PAZ, R. J.; HUAMANÍ-MELÉNDEZ, V. J. Desidratação do cogumelo *Suillus luteus* em diferentes temperaturas de secagem, métodos de secagem e pré-tratamento. **Ciência e Agrotecnologia**, 48, e016624. 2024.

CHEN, P.; BORNHORST, J.; ASCHNER, M. A. Manganese metabolism in humans. **Frontiers in Bioscience**, Landmark 23 pp. 1655–1679, 2018. DOI <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00766>.

CHEN, X.; WANG, W.; LI, S.; XUE, J.; FAN, L.; SHENG, Z. Optimization of ultrasoundassisted extraction of Lingzhi polysaccharides using response surface methodology and its inhibitory effect on cervical cancer cells. **Carbohydrate Polymers**. 80(3):944-8, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.010>.

CHIGWEDERE, C. M.; OLAOYE, T. F.; KYOMUGASHO, C.; KERMANI, Z. J.; PALLARES, A. P.; VAN LOEY, A. M.; HENDRICKX, M. E. Mechanistic insight into softening of Canadian wonder common beans (*Phaseolus vulgaris*) during cooking. **Food Research International**, 106, 522–531. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.016>

CLYDESDALE, F. M. Color as a factor in food choice, **Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 1, p. 83-101, 1993.

COLLINS, J. F. Copper. Metabolic crossroads of iron and copper, **Nutrition Reviews**, Volume 68, Issue 3, 1 March Pages 133–147, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00271.x>.

COLPO, A. C.; ROSA, H.; LIMA, M. E.; PAZZINI, C. E. F.; DE CAMARGO, V. B.; BASSANTE, F. E.; FOLMER, V. Yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.)-based beverages: How successive extraction influences the extract composition and its capacity to chelate iron and scavenge free radicals. **Food Chemistry**, 209, 185-195. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.059>.

CONTÒ, P.; GIANDON, P.; ZENNARO, M.; FACCA, C.; PAVONI, B. Substrate preparation for *Agaricus bisporus* cultivation. **Int J Innov Appl. Stud**, 25(4), 1137-1150. 2019.

CÓRDOVA, M. A. Productividad del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en sustrato de café y determinación del valor nutricional. 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12866/9066>.

COSTA, A. L.; LOPES, C. F.; FERRAZ, K. R.; FERRAZ, J. S.; PUTZKE, J. Produção do Cogumelo Comestível *Pleurotus ostreatus* sing a partir de Serrapilheira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 12(1), 164-173, 2022. <https://doi.org/10.21206/rbas.v12i1.13837>.

CREDENCIO, P. A. P. Avaliação da composição química, compostos bioativos e atividade antioxidante em cogumelos comestíveis. **Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, SP**, 2010. Brasil. <http://hdl.handle.net/11449/88636>.

DAI, J.; MUMPER, R. J. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. **Molecules**, 15(10), 7313-7352. 2010. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>.

DA ROCHA, E. M.; ÁVILA, S.; DE LIMA, J. J.; DE ANDRADE SILVA, R. S.; DE ANDRADE, L. E. P.; BACILA, D. M.; JORGE, R. M. M. *Araucaria angustifolia* seed coat waste reduction through its utilization in substrate diversification for *Pleurotus djamor* production. **Sci Hortic.**, 330, 113060. 2024.

DA SILVA, L. F.; DA SILVA, A.; PINTO, G. C.; MARTINS, O. G.; DE SOUZA PASSOS, J. R.; DE ANDRADE, M. C. N. Mycelial growth of *Pleurotus ostreatus* in substrates supplemented with malt bagasse. **REVISTA EM AGRONEGÓCIO E MEIO AMBIENTE**. 14(3), 2021. Doi:10.17765/2176-9168.2021v14n3e8161.

DA SILVA LEAL, K. N.; BASTOS, I. C.; DE BARROS, S. R. R. C. Delineamento composto central rotacional (DCCR) para avaliação sensorial de sobremesas lácteas. **Brazilian Journal of Science**, 1(7), 44-51, 2022.

DAUDT, R. M.; SINROD, A. J. G.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; KÜLKAMP-GUERREIRO, I. C.; MARCZAK, L. D. F.; MCHUGH, T. H. Development of edible films based on Brazilian pine seed (*Araucaria angustifolia*) flour reinforced with husk powder. **Food Hydrocolloids**, V 71, Pag 60-67, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.033>.

DA VEIGA, C. P.; DA VEIGA, C. R. P.; PUCHALSKI, W.; DOS SANTOS COELHO, L.; TORTATO, U. Demand forecasting based on natural computing approaches applied to the foodstuff retail segment. **Journal of Retailing and Consumer Services**, 31, 174-181. 2016.

DAVILA, M.; DU, X. Primary exploration of mushroom protein hydrolysis and cooking impact on the protein amino acid profiles of *Agaricus bisporus* and *Lentinula edodes* mushrooms. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, 32, 100710. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100710>.

DE BRITO, D. M. C.; CRIVANO, C. L.; CARDOSO, C. M.; DE SOUZA, M. A. A. The World Mushroom Market and Brazil's Role: Industrial Integration as a Key for Competitiveness. **Int J Prof Bus Rev** 2023 8:e03374. doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i11.3374.

DEDOUSI, M.; MELANOURI, E. M.; PANAGOPOULOU, I.; GARDELI, C.; PAPANIKOLAOU, S.; DIAMANTOPOULOU, P. Biochemical, functional and antioxidant dynamics potential of higher fungi cultivated on agro-industrial residues. Part I: Cultures on media supplemented with yeast extract, gypsum and commodity vegetable oils. **Resour Chem Mater**. 2024.

DE GODOY, R. C. B.; DELIZA, R.; DE OLIVEIRA NEGRE, M. D. F.; DOS SANTOS, G. G. Consumidor de pinhão: hábitos, atributos de importância e percepção. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 38, 2018. DOI: 10.4336/2018.pfb.38e201801655.

DE MASTRO, F.; TRAVERSA, A.; MATARRESE, F.; COCOZZA, C.; BRUNETTI, G. Influence of Growing Substrate Preparation on the Biological Efficiency of *Pleurotus ostreatus*. **Horticulturae**, 9(4), 439, 2023. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040439>.

DE MELO, M. B.; TELES, A. C. A.; SANTOS JÚNIOR, W. P. Contribuição ao Estudo de Componentes Químicos e Princípios Ativos de Cogumelos Medicinais. **Caderno De Graduação - Ciências Biológicas E Da Saúde - UNIT - SERGIPE**, 6(1), 23. 2020. <https://periodicos.set.edu.br/cadernobiologicas/article/view/7703>.

DE MORAES ARNOSO, B. J.; DA COSTA, G. F.; SCHMIDT, B. Biodisponibilidade e classificação de compostos fenólicos. **Nutr Brasil**, 18(1), 39-48, 2019. <https://doi.org/10.33233/nb.v18i1.1432>.

DESISA, B.; MULETA, D.; JIDA, M.; DEJENE, T.; GOSHU, A.; NEGI, T.; MARTIN-PINTO, P. Improvement of nutritional composition of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) using formulated substrates of plant and animal origins. **Future Foods**, 9, 100302. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100302>.

DE SOUZA, A. G.; CARVALHO, J.; ANAMI, J. M. Refrigeração e ácido ascórbico na conservação de cebolinha-verde minimamente processada. **Agropecuária Catarinense**, 31(2), 58-62, 2018. <http://dx.doi.org/10.22491/RAC.2018.v31n2.7>.

DE SOUSA, V. A.; REEVES, P. A.; REILLEY, A.; DE AGUIAR, A. V.; STEFENON, V. M.; RICHARDS, C. M. Genetic diversity and biogeographic determinants of population structure in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Conservation Genetics**, 21(2), 217-229, 2020.

DE VARGAS, G. C.; ANDRADE, E.H.B. Estudo da atividade antioxidante dos compostos fenólicos na medicina preventiva: Revisão de literatura. **Visão Acadêmica**, 23(1) - ISSN 1518-8361. 2022.

DE VEAUX, R. D.; VELLEMAN, P. F.; BOCK, D. E.; VUKOV, A. M.; WONG, A. C.; BURKETT, C. **Stats: data and models**, p. 743, 2005.

DHINGRA, D.; MICHAEL, M.; RAJPUT, H.; PATIL, R. T. Dietary fibre in foods: a review. **J Food Sci Technol** 49(3):255-266. 2012. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>.

DIAMANTOPOULOU, P.; FOURTAKA, K.; MELANOURI, E. M.; DEDOUSHI, M.; DIAMANTIS, I.; GARDELI, C.; PAPANIKOLAOU, S. Examining the impact of substrate composition on the biochemical properties and antioxidant activity of *Pleurotus* and *Agaricus* mushrooms. *Fermentation*, 9(7), 689. 2023.

DIAMANTOPOULOU, P.; PHILIPPOUSSIS, A. **Cultivated Mushrooms: Preservation and Processing**. In *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2015; pp. 495–517.

DIETARY REFERENCE INTAKES (DRIs). Recommended Dietary Allowances and Adequate Intakes, Elements Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies. National Agricultural Library. USDA. 2005. Revisado el 13 de marzo de 2019. Disponible en: http://www.nationalacademies.org/hmd/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRI-Tables/2_%20RDA%20and%20AI%20Values_Vitamin%20and%20Elements.pdf?la=em. Acesso em 26 de maio de 2023.

DOS SANTOS HARADA-PADERMO, S.; DIAS-FACETO, L. S.; SELANI, M. M.; ALVIM, I. D.; FLOH, E. I. S.; MACEDO, A. F.; DE SOUZA VIEIRA, T. M. F. Umami Ingredient: Flavor enhancer from shiitake (*Lentinula edodes*) byproducts. **Food Res Int**, 137, 109540. 2020.

DU, B.; MEENU, M.; LIU, H.; XU, B. A concise review on the molecular structure and function relationship of β -glucan. *International journal of molecular sciences*, 20(16), 4032. 2019.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington-DC, v. 28, n. 3, p.350-356, 1956. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>.

DU, X.; SISSONS, J.; SHANKS, M.; PLOTTO, A. Aroma and flavor profile of raw and roasted *Agaricus bisporus* mushrooms using a panel trained with aroma chemicals. **LWT**, 138, 110596. 2021.

EFSA. Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for carbohydrates and dietary fibre. EFSA Journal, 8(3), 1462. 2010. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462>.

ELEUCH, M.; BEDIGIAN, D.; ROISEUX, O. Dietary fibre and fibre-rich byproducts of food processing: characterization, technological functionality and commercial applications: a review. **Food Chem**, 124, 411-421. 2011.

ELKANAH, F. A.; OKE, M. A.; ADEBAYO, E. A. Substrate composition effect on the nutritional quality of *Pleurotus ostreatus* (MK751847) fruiting body. **Heliyon**, 8(11). 2022.

FALANDYSZ, J.; BOROVIČKA, J. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 97, 477–501. 2013.

FANI, M. A importância dos minerais na alimentação. Addit Ingr Mag. 117:30-41. 2015 Disponível em: https://funcionaisnutraceuticos.com.br/upload_arquivos/201612/2016120406819001481553160.pdf.

FAO – Food and Agriculture Organization. Disponível em <<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>>. Acesso em 10 de Maio de 2025

FERRAZ, L.; ALBIERO, C.; BOECHAT, S. G.; FONSECA, I. P.; DE FARIAS, V. P.; BRAGA, A.; DE FÁTIMA LOPES, P. Micronutrientes e sua importância no período gestacional. **Saber Científico**, 1982-792X, 7(1), 68-82, 2021.

FERRERA, T. S.; HELDWEIN, A. B.; DOS SANTOS, C. O.; SOMAVILLA, J. C.; SAUTTER, C. K. Substâncias fenólicas, flavonoides e capacidade antioxidante em erva-mate sob diferentes coberturas do solo e sombreamentos. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.18, n.2 suppl 1, p. 588–596, 2016. https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_197.

FERREYRA, S.; BOTTINI, R.; FONTANA, A. Temperature and light conditions affect stability of phenolic compounds of stored grape cane extracts. **Food Chemistry**, 405, 134718, 2023.

FELLOWS, P. J. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática. 4th ed. Artmed, editor. Porto Alegre; 922 p. 2019.

FIGUEIREDO FILHO, A. Produção de sementes de *Araucária angustifolia* em plantio e em floresta natural no Centro-Sul do Estado do Paraná. *Revista Floresta*, v.41, n.1, p.155-162, 2011. Disponível em: Acessado em: 5 de julho de 2025. doi: 10.5380/rf.v41i1.21196

FIGUEIRÓ, G. G.; GRACIOLLI, L. A. Influência da composição química do substrato no cultivo de *Pleurotus florida*. **Ciência e Agrotecnologia**, 35, 924-930, 2011. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v73p2192006>.

FURLANI, R. P. Z.; GODOY, H. T. Valor nutricional de cogumelos comestíveis: uma revisão. **Rev. Instituto Adolfo Lutz**, v.64, n.2, p. 149-154, 2005. <https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/32976>.

FURLANI, R. P. Z.; GODOY, H. T. Valor nutricional de cogumelos comestíveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.1, p.154-157, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100027>.

GARCEZ, M. R.; GARCEZ, E. O.; MACHADO, A.; GATTO, D. A. Compósitos cimentícios leves reforçados com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Ciência da Madeira**. Pelotas, RS: UFPEL, Vol. 8, n. 2. p.94-100, 2017. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v8n2p94-100.

GARCÍA, M. M.; PAULA, V. B; OLLOQUI, N. D.; GARCÍA, D. F.; COMBARROS-FUERTES, P.; ESTEVINHO, L. M.; ÁRIAS, L. G.; BAÑUELOS, E. R.; BARO, J. M. F. Effect of different cooking methods on the total phenolic content, antioxidant activity and sensory properties of wild *Boletus edulis* mushroom. **Int J Gastron Food Sci**. Dec;(26): 100416, 2021. doi:10.1016/j.ijgfs.2021.100416.

GARCÍA, O.P. Phosphorus. **Encyclopedia of Human Nutrition** (Fourth Edition), Academic Press, Pag 346-351, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821848-8.00163-3>.

GARCIA, R. L. Produção de alimentação para cães com incorporação de resíduos do cogumelo *Agaricus bisporus*. **Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas**, São José do Rio Preto. 2019.

GARRAB, M.; EDZIRI, H.; EL MOKNI, R.; MASTOURI, M.; MABROUK, H.; DOUKI, W. Phenolic composition, antioxidant and anticholinesterase properties of the three mushrooms *Agaricus silvaticus* Schaeff., *Hydnum rufescens* Pers. and *Meripilus giganteus* (Pers.) Karst. in Tunisia. **S Afr. J. Bot**, 124, 359-363. 2019.

GAŹECKA, M.; SIWULSKI, M.; MLECZEK, M. Evaluation of bioactive compounds content and antioxidant properties of soil-growing and wood-growing edible mushrooms. **Journal of Food Processing and Preservation**, 42(1), e13386, 2018. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13386>.

GHAHREMANI-MAJD, H.; DASHTI, F. Chemical composition and antioxidant properties of cultivated button mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Horticulture**,

Environment, and Biotechnology, 56, 376-382. 2015. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0124-z>.

GHOORA, M. D.; BABU, D. R.; SRIVIDYA, N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. **Journal of Food Composition and Analysis**, 91, 103495. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103495>.

GIL-RAMÍREZ, A.; PAVO-CABALLERO, C.; BAEZA, E.; BAENAS, N.; GARCIA-VIGUERA, C.; MARÍN, F. R.; SOLER-RIVAS, C. Mushrooms do not contain flavonoids. **Journal of functional foods**, 25, 1-13. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.05.005>.

GIUSTI, F.; CAPUANO, E.; SAGRATINI, G.; PELLEGRINI, N. A comprehensive investigation of the behaviour of phenolic compounds in legumes during domestic cooking and in vitro digestion. **Food Chem.** 285, 458–467. 2019.

GONG, P.; WANG, S.; LIU, M.; CHEN, F.; YANG, W.; CHANG, X.; LIU, N.; ZHAO, Y.; WANG, J.; CHEN, X. Extraction methods, chemical characterizations and biological activities of mushroom polysaccharides: A mini-review. **Carbohydr Res.** Aug;(494):108037, 2020. doi:10.1016/j.carres.2020.108037.

GOMES, C. A. O.; SILVA, F.T. **Recomendações técnicas para o processamento de conservas de cogumelos comestíveis**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, Documentos, 43, 19 p. 2000.

GRILLO, A. D. C.; GUEDES, I. M. D. S.; NICOLAI, J. C.; FERNANDEZ, W. S. Importância e atuação dos sais minerais no organismo. **Revista científica eletrônica de Enfermagem da FAEF**, 4(3), 1-11, 2020.

GONÇALVES, A.; DE O. S.; DAVID, G. Q.; DA SILVA, M. P.; PERES, W. M.; YAMASHITA, O. M. Avaliação Sensorial e Aceitação Comercial do Cogumelo Comestível *Pleurotus florida*. **Revista de Agricultura Neotropical**, 4(4), 92–98. 2017. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i4.1614>

GONZÁLEZ, A.; NOBRE, C.; SIMÕES, L. S.; CRUZ, M.; LOREDO, A.; RODRÍGUEZ-JASSO, R. M.; BELMARES, R. Evaluation of functional and nutritional potential of a protein concentrate from *Pleurotus ostreatus* mushroom. **Food Chemistry**, 346, 128884. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128884>.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHNEIDER, L. “**Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*)**.” In: Simões, L.L., Lino, C.F. Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais. 2ª Edição. São Paulo: SENAC, 85- 102, 2000.

HALFDANARSON, T. R.; KUMAR, N.; LI, C. Y.; PHYLIKY, R. L.; HOGAN, W. J. Hematological manifestations of copper deficiency: a retrospective review. **European journal of haematology**, 80(6), 523-531, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0609.2008.01050.x>.

HAMINIUK, C. W. I. **Estudo do comportamento reológico e colorimétrico de misturas ternárias e sistemas pécticos de polpas de morango, amora-preta e**

framboesa. 124 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

HARO, A.; TRESCASTRO, A.; LARA, L.; FERNÁNDEZ-FÍGARES, I.; NIETO, R.; SEIQUER, I. Mineral elements content of wild growing edible mushrooms from the southeast of Spain. **Journal of Food Composition and Analysis**, 91, 103504. 2020.

HASSAN, A. I.; GHONEIM, M. A.; MAHMOUD, M. G.; ASKER, M. S. Assessment role of total phenols and flavonoids extracted from *Pleurotus columbinus* mushroom on the premature ovarian failure induced by chemotherapy in rats. **J Genet Eng Biotechnol**, 19, 1-11. 2021.

HE, Y.; WANG, B.; WEN, L.; WANG, F.; YU, H.; CHEN, D.; ZHANG, C. Effects of dietary fiber on human health. **Food Science and Human Wellness**, 11(1), 1-10, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001>.

HELENO, S. A.; MARTINS, A.; QUEIROZ, M. J. R. P.; FERREIRA, I. C. F. R. Bioatividade de ácidos fenólicos: metabólitos versus compostos originais: uma revisão. **Química Alimentar**. 173, 501–513. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.057>.

HELM, C. V.; CORADIN, J. H.; KESTRING, D. R. Avaliação da Composição Química dos Cogumelos Comestíveis *Agaricus bisporus*, *Agaricus brasiliensis*, *Agaricus bisporus portobello*, *Lentinula edodes* e *Pleurotus ostreatus*. **Embrapa Forests** Colombo-PR, Brazil. 2009.

HELDMAN, D. R.; HARTEL, R. W.; HELDMAN, D. R.; HARTEL, R. W. Pasteurization and blanching. **Principles of Food Processing**, 34-54. 1997.

HETLAND, G.; JOHNSON, E.; BERNARDSHAW, S. V.; GRINDE, B. Can medicinal mushrooms have prophylactic or therapeutic effect against COVID-19 and its pneumonic superinfection and complicating inflammation?. **Scandinavian journal of immunology**, 93(1), e12937. 2021.

HIDALGO, G. I.; ALMAJANO, M. P. Red fruits: Extraction of antioxidants, phenolic content, and radical scavenging determination: A review. **Antioxidants**, 6(1), 7. 2017. <https://doi.org/10.3390/antiox6010007>.

HOA, H.T.; WANG, C. L.; WANG, C. H. The effects of different substrates on the growth, yield, and nutritional composition of two oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). **Mycobiology**, 43(4), 423-434, 2015. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2015.43.4.423>.

HUBER, L. S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonóis e flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam a composição em alimentos. **Alimentos e nutrição Araraquara**, 19(1),97-108. 2008. ISSN 0103-4235.

HUNTER, R.S.; HAROLD, R.W. **In The Measurement of Appearance**, 2ª ed, John wiley & sons.1987.

INSTITUTE OF MEDICINE, FOOD AND NUTRITION BOARD. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington, DC: National Academies Press; 2001. 10.17226/10026.

INSTITUTE OF MEDICINE (US) Committee to Review **Dietary Reference Intakes for Vitamin D and Calcium**; 2011. Editors: A Catharine Ross, Christine L Taylor, Ann L Yaktine, and Heather B Del Valle. Washington (DC): National Academies Press (US).

ISMAIL, H. A.; RICHARD, I.; RAMAIYA, S. D.; ZAKARIA, M. H.; LEE, S. Y.; Browning in Relation to Enzymatic Activities and Phytochemical Content in Terap Peel (*Artocarpus odoratissimus* Blanco) during Postharvest Ripening. **Horticulturae**. Jan; 9(1), 57, 2023. doi:10.3390/horticulturae9010057.

JACOB, V. R. M. Características da carne de bubalinos de três grupos genéticos, terminados em confinamento e abatidos à maturidade. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Zootecnia (2021). <http://hdl.handle.net/11449/204666>.

JASINSKA, A.; PRASAD, R.; LISIECKA, J.; ROSZAK, M.; STOKNES, K.; MLECZEK, M.; NIEDZIELSKI, P. Combined dairy manure-food waste digestate as a medium for *Pleurotus djamor*—mineral composition in substrate and bioaccumulation of elements in fruiting bodies. **Horticulturae**, 8(10), 934, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100934>.

JEGADEESH, R.; LAKSHMANAN, H. H.; KAB-YEUL, J.; SABARATNAM, V.; RAAMAN, N. Cultivation of Pink Oyster mushroom *Pleurotus djamor* var. *roseus* on various agro-residues by low cost technique. **J Mycopathol Res**, 56(3), 213-220, 2018.

JIANG, W.; ZHAO, Y.; WU, X.; DU, Y.; ZHOU, W. Health inequalities of global protein-energy malnutrition from 1990 to 2019 and forecast prevalence for 2044: data from the Global Burden of Disease Study 2019. **Public Health**, 225, 102-109. 2023

JIANG, T.; FENG, L.; ZHENG, X. Effect of chitosan coating enriched with thyme oil on postharvest quality and shelf life of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). **J. Agric. Food Chem.** 60, 188–196. 2012.

JIN, Z.; LI, Y.; REN, J.; QIN, N. Yield, nutritional content, and antioxidant activity of *Pleurotus ostreatus* on corn cobs supplemented with herb residues. **Mycobiology**, 46(1), 24-32, 2018. <https://doi.org/10.1080/12298093.2018.1454014>.

JIN, Z.; HOU, Q.; NIU, T. Effect of cultivating *Pleurotus ostreatus* on substrates supplemented with herb residues on yield characteristics, substrates degradation, and fruiting bodies' properties. **J Sci Food Agric**. 100:4901–4910. 2020.

KANTRONG, H.; TANSAKUL, A.; MITTAL, G. S. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. **Journal of food science and technology**, 51, 3594-3608. 2014.

KAŁA, K.; KRAKOWSKA, A.; SZEWCZYK, A.; OSTACHOWICZ, B.; SZCZUREK, K.; FIJAŁKOWSKA, A.; MUSZYŃSKA, B. Determining the amount of potentially bioavailable phenolic compounds and bioelements in edible mushroom mycelia of *Agaricus bisporus*, *Cantharellus cibarius*, and *Lentinula edodes*. **Food Chemistry**, 352, 129456. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129456>.

KAŁA, K.; KRAKOWSKA, A.; SUŁKOWSKA-ZIAJA, K.; SZEWCZYK, A.; RECZYŃSKI, W.; OPOKA, W.; MUSZYŃSKA, B. Kinetics of extracted bioactive components from mushrooms in artificial digestive juices. **International Journal of Food Properties**, 20(8), 1796-1817. 2017.

KALAČ, P. Edible Mushrooms Chemical Composition and Nutritional Value. **Elsevier Inc.** 1st Edition. ISBN 978-0-12-804455-1. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00471-3>.

KABIR, H.; HOSSAIN, A.; NURUDDIN, M. Effect of different sources of sawdust on the growth, yield, proximate and mineral composition of pink oyster mushroom (*Pleurotus djamor*). **J Expt Biosci**, 10, 41-50, 2019.

KARAGEORGOU, D.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P.; KATAPODIS, P.; MATSAKAS, L.; PATEL, A. Benefits of supplementation with microbial omega-3 fatty acids on human health and the current market scenario for fish-free omega-3 fatty acid. **Trends in Food Science & Technology**. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.04.018>.

KIC, P. Mushroom drying characteristics and changes of colour. **Engineering for Rural Development**, 17, 432-438. 2018.

KIM, C. H.; HAN, K. A.; YU, J.; LEE, S. H.; JEON, H. K.; KIM, S. H.; KIM, H. S. Efficacy and safety of adding omega-3 fatty acids in statin-treated patients with residual hypertriglyceridemia: ROMANTIC (Rosuvastatin-OMAcor iN residual hyperTrlglyCeridemia), a randomized, double-blind, and placebo-controlled trial. **Clinical therapeutics**, 40(1), 83-94. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2017.11.007>.

KIM, S. Antioxidant compounds for the inhibition of enzymatic browning by polyphenol oxidases in the fruiting body extract of the edible mushroom *Hericium erinaceus*. **Foods**. 9(7), 951, Jun, 2020. doi:10.3390/foods9070951.

KLEIN, R. M. Aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellovia** 12(12):17-44. 1960.

KRISHNAMOORTHY, R.; SRINIVASH, M.; MAHALINGAM, P. U.; MALAIKOZHUNDAN, B. Dietary nutrients in edible mushroom, *Agaricus bisporus* and their radical scavenging, antibacterial, and antifungal effects. **Process Biochem.** (121):10–7, Oct, 2022. doi:10.1016/j.procbio.2022.06.021.

KUMAR, P.; HAMZA, N.; MADHOK, B.; DE ALWIS, N.; SHARMA, M.; MIRAS, A. D.; MAHAWAR, K. K. Copper deficiency after gastric bypass for morbid obesity: a

systematic review. **Obesity surgery**, 26, 1335-1342, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11695-016-2162-8>.

KUMAR, Y.; YADAV, D. N.; AHMAD, T.; NARSAIAH, K. Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 14(6), 796-812. 2015. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12156>.

LATORRE, M.E.; DE ESCALADA PLÁ, M. F.; ROJAS, A. M.; GERSCHENSON, L. N. Blanching of red beet (*Beta vulgaris* L. var. conditiva) root. Effect of hot water or microwave radiation on cell wall characteristics. **Lwt.** (50):193–203, Jan, 2013. doi:10.1016/j.lwt.2012.06.004.

LEÃO, L. L.; OLIVEIRA, F. S.; SOUZA, R. S.; FARIAS, P. K. S.; FONSECA, F. S. A.; DA MARTINS, E. R.; SOUZA, R. M. D. E. Uso de antioxidantes naturais em carnes e seus subprodutos. **Caderno De Ciências Agrárias**, 9(1), 94–100. 2017. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2951>.

LEE, J. A.; HA, S. K.; KIM, Y. C.; CHOI, I. Effects of friedelin on the intestinal permeability and bioavailability of apigenin. **Pharmacological Reports**, 69(5), 1044–1048. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pharep.2017.04.012>.

LEIVA-PORTILLA, D. J.; RODRÍGUEZ-NÚÑEZ, K. E.; RODRÍGUEZ-RAMOS, F. J.; DELGADILLO ACEVEDO, Á.; URIBE, E. Impact on physicochemical composition and antioxidant activity of the wild edible mushroom *Cyttaria espinosae* subjected to drying. **Chemistry & Biodiversity**, 17(11), e2000642. 2020. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000642>.

LEMO, I. L.; BARROSO, L. A.; BARBOSA, M. S.; SILVA, M. R.; MORAIS, H. A. Phytochemical prospecting of aqueous infusions of blackberry branches and leaves (*Morus nigra* L.) using a central rotational composite design. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e205985454, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5454

LEONE, R. S. Estudo do processo de incorporação de Lactobacillus casei LC-01 em Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) desidratado em flocos. 2014. 88 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

LEONG, Y. K.; MA, T. W.; CHANG, J. S.; YANG, F. C. Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): A review. **Bioresource technology**. 344, 126157, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126157>.

LESPINARD, A. R.; GOÑI, S. M.; SALGADO, P. R.; MASCHERONI, R. H. Experimental determination and modelling of size variation, heat transfer and quality indexes during mushroom blanching. **J Food Eng.** (92):8–17, May, 2009. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.10.025.

LEWIS, C. D. **Demand Forecasting and Inventory Control**, 1st ed. Wiley, USA.1997.

LI, L.; YANG, X. The Essential Element Manganese, Oxidative Stress, and Metabolic Diseases. **Oxid Med Cell Longev**: 7580707. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7580707>.

LIN, X.; SUN, D. W. Research advances in browning of button mushroom (*Agaricus bisporus*): Affecting factors and controlling methods. **Trends Food Sci. Technol.** 90, 63–75. 2019.

LIN, Q.; LU, Y.; ZHANG, J.; LIU, W.; GUAN, W.; WANG, Z. Effects of high CO₂ in-package treatment on flavor, quality and antioxidant activity of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. **Postharvest Biol. Technol.** 123, 112–118. 2017.

LI, S.; WANG, A.; LIU, L.; TIAN, G.; WEI, S.; XU, F. Evaluation of nutritional values of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) stipes. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 12, 2012-2019. 2018.

LI, X.; WANG, M.; WEN, B.; ZHANG, Q.; CHEN, J.; LI, X.; AN, Y. Reed-mushroom-fertilizer ecological agriculture in wetlands: Harvesting reed to cultivate mushroom and returning waste substrates to restore saline-alkaline marshes. **Science of The Total Environment**, 878, 162987, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162987>.

LIANG, S.; WANG, F.; CHEN, J.; GRANATO, D.; LI, L.; YIN, J. F.; XU, Y. Optimization of a tannase-assisted process for obtaining teas rich in theaflavins from *Camelia sinensis* leaves. **Food Chem X**. (13):100203, Mar, 2022. doi:10.1016/j.fochx.2022.100203.

LIANG, Z. H. O. U.; MU, T. H.; ZHANG, R. F.; SUN, Q. H.; XU, Y. W. Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making. **Journal of integrative agriculture**, 18(1), 231-245. 2019. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62137-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62137-9).

LIU, J.; JIA, L.; KAN, J.; JIN, C. H. In vitro and in vivo antioxidant activity of ethanolic extract of white button mushroom (*Agaricus bisporus*). **Food and chemical toxicology**, 51, 310-316. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.10.014>.

LIU, J.; HEFNI, M. E.; WITTHÖFT, C. M. Phenolic compounds in Swedish dried pulses: Characterization, retention and distribution during hydrothermal treatment processes. **Journal of Food Composition and Analysis**. Sep;(102): 104056. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104056>

LIU, Y. H.; RAGAEI, S.; MARCONE, M. F.; ABDEL-AAL, E. M. Composition of phenolic acids and antioxidant properties of selected pulses cooked with different heating conditions. **Foods**, 9 (7), 908. 2020.

LIU, H.; WANG, F.; XIA, H.; PAN, D.; YANG, L.; WANG, S.; SUN, G. Comparison of the effects of 3 kinds of oils rich in omega-3 polyunsaturated fatty acids on glycolipid metabolism and lipoprotein subfractions. **Food Science and Human Wellness**, 12(6), 2221-2231. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2023.03.042>.

LIU, Q.; BAU, T.; JIN, R.; CUI, X.; ZHANG, Y.; KONG, W. Comparison of different drying techniques for shiitake mushroom (*Lentinus edodes*): Changes in volatile compounds, taste properties, and texture qualities. **Lwt**, 164, 113651, 2022.

LIU, J.; DONG, Y.; ZHENG, X.; PEI, Y.; TANG, K. Citric acid crosslinked soluble soybean polysaccharide films for active food packaging applications. **Food Chemistry**, 438, 138009, 2024.

LOZANO-SÁNCHEZ, J.; SEGURA-CARRETERO, A.; FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. Composición del aceite de oliva, in: Fernández Gutiérrez A. and Segura-Carretero, A. (eds) **EL Aceite de Oliva Virgen: Tesoro de Andalucía**. Málaga: Servicio de Publicaciones de la Fundación Unicaja, pp. 195–224. 2009.

MAASS, S. F.; AGUILAR, C. B.; GABRIEL, Y. A.; ALMARAZ, A. G. A local knowledge-based approach to predict anthropic harvesting pressure zones of wild edible mushrooms as a tool for conservation in Central México. **Forest Policy and Economics** 73, 239-250. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.09.020>.

MAHARI, W. A. W.; PENG, W.; NAM, W. L.; YANG, H.; LEE, X. Y.; LEE, Y. K.; LIEW, R. K.; MA, N. L.; MOHAMMAD, A.; SONNE, C.; VAN, L. E. Q.; LAM, S. S. A review on valorization of oyster mushroom and waste generated in the mushroom cultivation industry. **J hazardous materials** 400: 123156, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123156>.

MAJESTY, D.; IJEOMA, E.; WINNER, K.; PRINCE, O. Nutritional, anti-nutritional and biochemical studies on the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*. **EC Nutrition**, 14(1), 36-59, 2019.

MARINHO, M. R. M.; CASTRO, W. B. Planejamento factorial: Uma ferramenta ponderosa para os pesquisadores. XXXIII- **Congresso Brasileiro de Engenharia. Campina Grande – Pb**. 2005

MARTIN, C. A.; ALMEIDA, V. V. D.; RUIZ, M. R.; VISENTAINER, J. E. L.; MATSHUSHITA, M.; SOUZA, N. E. D.; VISENTAINER, J. V. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, 19, 761-770. 2006.

MARTINS, O. G.; ABILIO, D. P.; SIQUEIRA, O. A. P. A.; RONCHESEL, M.; DE ANDRADE, M. C. N. Sobra de alimentos como alternativa para a formulação de novos substratos para o cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Basidiomycota, Fungi). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 11(2), 505-518, 2018. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n2p505-518>.

MARTOS, E. T.; HECK, K. Inoculação De Substrato Colonizado Como Alternativa Aos Pequenos Produtores De Cogumelos Comestíveis No Brasil. **BIOFIX Scientific Journal**, 6(1), 62-68, 2021. DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v6i1.76932](https://doi.org/10.5380/biofix.v6i1.76932).

MATÉ, J. I.; ZWIETERING, M.; VAN'T RIET, K. The effect of blanching on the mechanical and rehydration properties of dried potato slices. **European Food Research and Technology**, 209, 343-347. 1999.

MATEUS, A. R. S.; PENA, A.; SANCHES-SILVA, A. Unveiling the Potential of Bioactive Compounds in Vegetable and Fruit By-Products: Exploring Phytochemical Properties, Health Benefits, and Industrial Opportunities. **Curr Opin Green Sust**, v (48)100938. 2024.

MCCANN, M. S.; SHERIDAN, J. J.; MCDOWELL, D. A.; BLAIR, I. S. Effects of steam pasteurisation on *Salmonella Typhimurium* DT104 and *Escherichia coli* O157: H7 surface inoculated onto beef, pork and chicken. **Journal of Food Engineering**, 76(1), 32-40. 2006.

MECHA, E.; LEITÃO, S. T.; CARBAS, B.; SERRA, A. T.; MOREIRA, P. M.; VELOSO, M. M.; BRONZE, M. R. Characterization of soaking process' impact in common beans phenolic composition: Contribute from the unexplored Portuguese germplasm. **Foods**, 8 (8), 296. 2019. <https://doi.org/10.3390/foods8080296>

MEDINA-PLAZA, C.; BEAVER, J. W.; LERNO, L.; DOKOOZLIAN, N.; PONANGI, R.; BLAIR, T.; OBERHOLSTER, A. Impact of temperature, ethanol and cell wall material composition on cell wallanthocyanin interactions. **Molecules (Basel,Switzerland)**, 2019, 24 (18),3350.<https://doi.org/10.3390/ molecules24183350>

MILES, P.G.; CHANG, S. T. Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact. 2 ed. **Florida: CRC Press**, Boca Raton, 2004. 451 p.

MILOVANOVIĆ, I.; BRČESKI, I.; STAJIĆ, M.; KORAĆ, A.; VUKOJEVIĆ, J.; KNEŽEVIĆ, A. Potential of *Pleurotus ostreatus* mycelium for selenium absorption. **The Scientific World Journal**, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/681834>.

MINATEL, I. O.; BORGES, C. V.; FERREIRA, M. I.; GOMEZ, H. A. G.; CHEN, C. Y. O.; LIMA, G. P. P. Phenolic compounds: Functional properties, impact of processing and bioavailability. Phenolic compounds—biological activity (p. 236).UK: IntechOpen. 2017. <https://doi.org/10.5772/66368>

MISHRA, B. B.; GAUTAM, S.; SHARMA, A. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): The factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*). **Food Chem**. 139, 105–114. 2013.

MLECZEK, M.; MAGDZIAK, Z.; GOLINSKI, P.; SIWULSKI, M.; STUPER-SZABLEWSKA, K. Concentrations of minerals in selected edible mushroom species growing in Poland and their effect on human health. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment*. 12, 203–214. 2013.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 8th ed. New York: John Wiley & Sons; 2013

MORAES, G. V.; JORGE, G. M.; GONZAGA, R. V.; DOS SANTOS, D. A. Antioxidant potential of flavonoids and therapeutic applications. **Research, Society and Development**, 11(14), 2022. e238111436225-e238111436225.

MORINA, F.; HIROTA, S.; TAKAHAMA, U. Contribution of amylose-procyanidin complexes to slower starch digestion of red-colored rice prepared by cooking with adzuki bean. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, 71, 711–725. 2020. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1719389>.

MUSILOVÁ, J.; FRANKOVÁ, H.; FEDORKOVÁ, S.; LIDIKOVÁ, J.; VOLLMANNOVÁ, A.; SULÍROVÁ, K.; KASAL, P. Comparison of polyphenols, phenolic acids, and antioxidant activity in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) tubers after heat treatments. **Journal of Agriculture and Food Research**, 18, 10127, 2024.

MUSWATI, C.; SIMANGO, K.; TAPFUMANEYI, L.; MUTETWA, M.; NGEZIMANA, W. The effects of different substrate combinations on growth and yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). **International Journal of Agronomy**, 1-10, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9962285>.

NADJOMBÉ, P.; MÉLILA, M.; KAMOU, H.; MAGAMANA, E.; VERBEKEN, A.; GUELLY, K.A. Nutritional potential of edible *Russula* species from Alédjo Wildlife Reserve (AWR). *J Indian Chem Soc.* v. 99, n. 6, p. 100407.2022.

NAINGGOLAN, E. A.; BANOUT, J.; URBANOVA, K. Application of central composite design and superimposition approach for optimization of drying parameters of pretreated cassava flour. **Foods**, 12(11), 2101, 2023.

NAKILCIOĞLU-TAŞ, E.; ÖTLEŞ, S. Kinetics of colors and texture changes of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) coated with chitosan during storage at low temperature. **Ann Brazilian Acad Sci**, 92:1–15. 2020. doi.org/10.1590/0001-3765202020181387.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. 2019. Dietary Reference Intakes for sodium and potassium. Washington, DC: The National Academies Press. ISBN-13: 978-0-309-48834-1 ISBN-10: 0-309-48834-6. doi: <https://doi.org/10.17226/25353>.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. **Calcium: Fact Sheet for Health Professionals**. Disponível em: <<https://ods.od.nih.gov/factsheets/Calcium-HealthProfessional/>>. Access 28 May 2023.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. Office of Dietary Supplements. Strengthening Knowledge and Understanding of Dietary Supplements. (2022). <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Copper-HealthProfessional/>.

NAYAK, H. A. R. A. P. R. I. Y. A.; KUSHWAHA, A.; SRIVASTAVA, S.; KUSHWAHA, K. P. S.; BEHERA, P. C.; BALA, P. R. A. K. A. S. H.; KUMAR, A. N. I. L. Economically viable Mushroom (*Pleurotus djamor*) farming for nutritional security in Uttarakhand. **Indian J. Agric. Sci**, 92(5), 577-81, 2022.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 7. ed. Porto Alegre (RS): **Artmed**; 2019.

NELSON, N. A fotometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v.153, p.375-380, 1944.

NG, Z. X.; TAN, W. C. Impact of optimised cooking on the antioxidant activity in edible mushrooms. **Journal of food science and technology**, 54(12), 4100-4111, 2017.

NGUYEN, T. V. L.; VO, T. T.; LAM, T. D.; BACH, L. G. Water blanching conditions on the quality of green asparagus butt segment (*Asparagus officinalis* L.). **Materials Today: Proceedings**. 18, (7) 4799-4809, Jan, 2019. doi:10.1016/j.matpr.2019.07.468.

NICOLÁS-GARCÍA, M.; PERUCINI-AVENDAÑO, M.; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, C.; PEREA-FLORES, M. D. J.; GÓMEZ-PATIÑO, M. B.; ARRIETA-BÁEZ D.; DÁVILA-ORTIZ, G. Bean phenolic compound changes during processing: Chemical interactions and identification. **Journal of Food Science**, 86(3), 643-655, 2021.

NNOROM, I. C.; EZE, S. O.; UKAOGO, P. O. Mineral contents of three wild-grown edible mushrooms collected from forests of south eastern Nigeria: An evaluation of bioaccumulation potentials and dietary intake risks. **Scientific African**, 8, 2020. e00163.

NUNES JÚNIOR, A.; **Revista Técnica do Farmacêutico**, 18.2013.

O'GRADY, J.; O'CONNOR, E. M.; SHANAHAN F. Review article: dietary fibre in the era of microbiome science. **Aliment Pharmacol Ther** 49(5):506-515.2019.

OLIVEIRA, A. P.; NAOZUKA, J. Preliminary results on the feasibility of producing selenium-enriched pink (*Pleurotus djamor*) and white (*Pleurotus ostreatus*) oyster mushrooms: Bioaccumulation, bioaccessibility, and Se-proteins distribution. **Microchim J**, v. 145, p. 1143–1150, 2019.

OLIVEIRA, G. D.; JESUS, G. D.; SILVA, R. D. A.; CUQUEL, F. L. King oyster mushroom production in axenic blocks supplemented with brewery residue. In **XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): International Symposium on Agroecology and System Approach for Sustainable**, Aug 1355 (pp. 363-368). 2022.

OTALI, C. C.; OTOIKHIAN, C. S. O.; ONUOHA, T.; AKPEJI, C. S.; BOSAH, B. O. Antibacterial Activities of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus djamor* Against Selected Bacterial Pathogens. **Bima Journal of Science and Technology**, 8(2B), 397-402. 2024.

PAIVA, G.; CAMPOS, O.; SILVA, A. P.; KNUPP, A.; DAVID, G.; SORATO, A. Produção do cogumelo comestível *Hiratake* em resíduos agrícolas e florestais na região de Alta Floresta-MT. **Cadernos de Agroecologia**, 13(1), 2018.

PANEL, O. M. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (macronutrients). **National Academics Press**. 2002.

PAPADAK, A.; KACHRIMANIDOU, V.; PAPANIKOLAOU, S.; PHILIPPOUSSIS. Upgrading grape pomace through *Pleurotus* spp. cultivation for the production of enzymes and fruiting bodies. **Microorganisms** 7(7): 207. 2019. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7070207>.

PARDO-GIMÉNEZ, A.; CARRASCO, J.; RONCERO, J. M.; ÁLVAREZ-ORTÍ, M.; ZIED, D. C.; PARDO-GONZÁLEZ, J. E. Recycling of the biomass waste defatted almond meal as a novel nutritional supplementation for cultivated edible mushrooms. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 40.2018. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39341>.

PARDO-GIMÉNEZ, A.; CATALÁN, L.; CARRASCO, J.; ÁLVAREZ-ORTÍ, M.; ZIED, D.; PARDO, J. Effect of supplementing crop substrate with defatted pistachio meal on *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 96(11), 3838-3845. 2016.

PAZZA, A. C. V.; ZARDO, C.; KLEIN, R. C. M.; DA CAS, T. M. S.; BERNARDI, D. M. Composição nutricional e propriedades funcionais fisiológicas de cogumelos comestíveis. **FAG J Health (FJH)**, 1(3), 240-265. 2019.

PERALTA, R. M.; KOEHNLEIN, E. A.; OLIVEIRA, R. F.; CORREA, V. G.; CORRÊA, R. C. G.; BERTONHA, L.; BRACHT, A.; FERREIRA, I. C. F. R. Biological activities and chemical constituents of *Araucaria angustifolia*: An effort to recover a species threatened by extinction. **Trends in Food Science and Technology**, 54, 85–93. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.013>.

PEREZ-MONTES, A.; RANGEL-VARGAS, E.; LORENZO, J. M.; ROMERO, L.; SANTOS, E. M. Edible mushrooms as a novel trend in the development of healthier meat products. **Current Opinion in Food Science**, 37, 118-124. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.004>.

PETER, M.; LIU, Z.; FANG, Y.; DOU, X.; AWUAH, E.; SOOMRO, S. A.; CHEN, K. Computational intelligence and mathematical modelling in chanterelle mushrooms' drying process under heat pump dryer. **Biosystems Engineering**, 212, 143-159. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.10.002>.

PIEPHO, H. P. An adjusted coefficient of determination (R²) for generalized linear mixed models in one go. **Biometrical Journal**, 2200290. 2023. <https://doi.org/10.1002/bimj.202200290>.

PINEDA-ALEGRÍA, J. A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, J. E.; GONZALEZ-CORTAZAR, M.; ZAMILPA, A.; LÓPEZ-ARELLANO, M. E.; CUEVAS-PADILLA, E. J.; AGUILAR-MARCELINO, L. The edible mushroom *Pleurotus djamor* produces metabolites with lethal activity against the parasitic nematode *Haemonchus contortus*. **Journal of Medicinal Food**, 20(12), 1184-1192. 2017.

PRIYADARSHINI, A.; RAYAGURU, K.; BISWAL, A. K.; PANDA, P. K.; LENKA, C.; MISRA, P. K. Impact of conventional and ohmic blanching on color, phytochemical, structural, and sensory properties of mango (*Mangifera indica* L.) cubes: A comparative analysis. **Food Chemistry Advances**. 100308. Oct; (2), 2023. doi:10.1016/j.focha.2023.100308.

PRIYADARSHNI, K. C.; KRISHNAMOORTHY, R.; MUMTHA, C.; ULAGAN MAHALINGAM, P. Biochemical analysis of cultivated mushroom, *Pleurotus florida* and synthesis of silver nanoparticles for enhanced antimicrobial effects on clinically important human pathogens. **Inorg Chem Commun**. 109673, Aug;(142). 2022. doi:10.1016/j.inoche.2022.109673.

PODKOWA, A.; KRYCZYK-POPRAWA, A.; OPOKA, W.; MUSZYŃSKA, B. Culinary–medicinal mushrooms: a review of organic compounds and bioelements with antioxidant activity. **European Food Research and Technology**, 247, 513-533. 2021.

POPA, M.; TĂUȘAN, I.; DRĂGHICI, O.; SOARE, A.; OANCEA, S. Influence of convective and vacuum-type drying on quality, microstructural, antioxidant and thermal properties of pretreated *Boletus edulis* mushrooms. **Molecules**, 27(13), 4063, 2022.

RADZKI, W.; SLAWINSKA, A.; JABLONSKA-RYS, E.; MICHALAK-MAJEWSKA, M. Effect of blanching and cooking on antioxidant capacity of cultivated edible mushrooms: A comparative study. **International Food Research Journal**, 23(2), 599, 2016.

RAGAZZON, D.; PINHEIRO, M. F.; GOMES, M. M.; QUAST, E.; LIMA, C. S. M. Conservação de mamão Formosa minimamente processado com uso de ácido cítrico. **Revista Faz Ciência**, 25(42). 2023. Doi: <https://doi.org/10.48075/rfc.v25i42.30450>.

RAHIMAH, S. B.; DJUNAEDI, D. D.; SOEROTO, A. Y.; BISRI, T. The phytochemical screening, total phenolic contents and antioxidant activities in vitro of white oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) preparations. **Macedonian J Med. Sci**, 7(15), 2404. 2019.

RAMBERG, J. E.; NELSON, E. D.; SINNOTT, R. A. Immunomodulatory dietary polysaccharides: a systematic review of the literature. **Nutrition Journal**. Nov;9:54. 2010. Doi:10.1186/1475-2891-9.

RONCERO-RAMOS, I.; MENDIOLA-LANAO, M.; PÉREZ-CLAVIJO, M.; DELGADO-ANDRADE, C. Effect of different cooking methods on nutritional value and antioxidant activity of cultivated mushrooms. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**. Oct;68(3): 287-297, 2017.

RANILLA, L. G.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Effect of different cooking conditions on phenolic compounds and antioxidant capacity of some selected brazilian bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **J. Agric. Food Chem**, 57 (13), 5734–5742, 2009.

RAO, A. V.; RAO, L. G. Carotenoids and human health. **Pharmacological research**, 55(3), 207-216, 2007.

RATHORE, H.; PRASAD, S.; SHARMA, S; Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review. **PharmaNutrition**. Jun;(5):35–46. 2017. Doi:10.1016/j.phanu.2017.02.001.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 26, 1231-1237.1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).

REIS, F. R. Blanching in the food industry. In Thermal processing of food products by steam and hot water (pp. 211-246). **Woodhead Publishing**. 2023.

REIS, F. R. Blanching in the food industry. In *Thermal processing of food products by steam and hot water* (pp. 211-246). Woodhead Publishing. 2023.

RIBEIRO, H.; JAIME, P. C.; VENTURA, D. Alimentação e sustentabilidade. **Estudos avançados**, 31, 185-198. 2017. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890016>.

RICHTER, M.; BAERLOCHER, K.; BAUER, J. M.; ELMADFA, I.; HESEKER, H.; LESCHIK-BONNET, E. German Nutrition Society (DGE). Revised reference values for the intake of protein. **Annals of Nutrition and Metabolism**, 74(3), 242-250. 2019. <https://doi.org/10.1159/000499374>.

RICHTER REIS, F. Impacto do branqueamento no desempenho da secagem subsequente. **Novas perspectivas sobre o branqueamento de alimentos**, 123-136, 2017.

RITCHIE, H.; ROSADO, P.; ROSER, M. "Meat and Dairy Production". Published online at OurWorldInData.org. 2017. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/meat-production>' [Online Resource].

RODRIGUES, G. M.; OKURA, M. H. Cogumelos comestíveis no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Res Soc Dev** 2022 11:e24711830830. doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30830.

RODRIGUES, L. S.; MARTINS, L. D. V.; BANTIM, I. F. C.; MEIRELES, M. D. S.; FERREIRA, P. M. P.; PERON, A. P. Flavonóides: constituição química, ações medicinais e potencial tóxico. **Acta toxicológica argentina**, 23(1), 36-43. 2015.

RONCERO-RAMOS, I.; MENDIOLA-LANAO, M.; PÉREZ-CLAVIJO, M.; DELGADO-ANDRADE, C. Effect of different cooking methods on nutritional value and antioxidant activity of cultivated mushrooms. *Int. J. Food Sci Nutr*, 68(3), 287-297. 2017.

RUDAKIYA, D. M.; GUPTE, A. Assessment of white rot fungus mediated hardwood degradation by FTIR spectroscopy and multivariate analysis. **Journal of microbiological methods**, 157, 123-130. 2019.

RYU, J. S.; KIM, M. K.; IM, C. H.; SHIN, P. G. Development of cultivation media for extending the shelf-life and improving yield of king oyster mushrooms (*Pleurotus eryngii*). **Scientia Horticulturae**, 193, 121-126. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.005>.

RZYMSKI, P.; MLECZEK, M.; SIWULSKI, M.; JASIŃSKA, A.; BUDKA, A.; NIEDZIELSKI, P.; BUDZYŃSKA, S. Multielemental analysis of fruit bodies of three cultivated commercial *Agaricus* species. **Journal of Food Composition and Analysis**, 59, 170-178.2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.011>.

RZYMSKI, P.; MLECZEK, M.; NIEDZIELSKI, P.; SIWULSKI, M.; GAŚECKA, M. Cultivation of *Agaricus bisporus* enriched with selenium, zinc and copper. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, p. 923-928, 2017.

SACOMANI, F. H.; TONIN, F. B. Viabilidade econômica da produção de cogumelo shimeji de um pequeno produtor em Botucatu em micro escala. 4ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu. 2016.

SAKINAH, A. M.; ISMAIL, A. F.; ILLIAS, R. M.; ZULARISAM, A. W.; HASSAN, O.; MATSUURA, T. Effect of substrate and enzyme concentration on cyclodextrin production in a hollow fibre membrane reactor system. **Separation and Purification Technology**, v. 124, p. 61-67. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.01.005>.

SANDE, D.; DE OLIVEIRA, G. P.; E MOURA, M. A. F.; DE ALMEIDA MARTINS, B.; LIMA, M. T. N. S.; TAKAHASHI, J. A. Edible mushrooms as a ubiquitous source of essential fatty acids. **Food Research International**, 125, 108524. 2019.

SALDAÑA, E.; SICHE, R.; CASTRO, W.; HUAMAN, R.; QUEVEDO, R. Measurement parameter of color on Yacon (Small an thus sonchifolius) slices using a computer vision system. **LWT – Food Science and Technology**, v. 59, p. 1220-1226, 2014.

SALES-CAMPOS, C.; ARAUJO, L. M.; MINHONI, M. T. A.; ANDRADE, M. C. N. Análise físico-química e composição nutricional da matéria prima e de substratos pré e pós cultivo de *Pleurotus ostreatus*. **Interciencia [en linea]**. 35(1), 70-76 ISSN: 0378-1844. 2010. 2010. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913146012>.

SALVADOR-REYES, R.; PAUCAR-MENACHO, L. M. Optimization of the blanching time and temperature in the manufacture of Hass avocado pulp using low quality discarded fruits. **Brazilian J Food Technol**. Nov;(22):1–17. 2019. Doi:10.1590/1981-6723.24418.

SARDAR, H.; ALI, M. A.; ANJUM, M. A.; NAWAZ, F.; HUSSAIN, S.; NAZ, S.; KARIMI, S. M. Agro-industrial residues influence mineral elements accumulation and nutritional composition of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). **Scientia Horticulturae**, 225, 327-334. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.005>.

SASSINE, Y. N.; NABHAN, S.; RACHKIDY, E.; EL SEBAALY, Z. Valorization of agro-forest wastes (oak acorns, vineyard pruning, and olive pruning) through the cultivation of shiitake (*Lentinula edodes*) mushrooms. **Heliyon**. v10 (12), 2024.

SCHULZ, M.; CHIM, J. F. Nutritional and bioactive value of Rubus berries. **Food Bioscience**, 31, 100438. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>

SEVERINI, C.; BAIANO, A.; PILLI, T. D.; ROMANIELLO, R.; DEROSI, A. Microwave blanching of sliced potatoes dipped in saline solutions to prevent enzymatic browning. **Journal of food biochemistry**, 28(1), 75-89, 2004.

SHAHIDI, F.; YEO, J. Insoluble-bound phenolics in food. **Molecules**, 21(9), 1216, 2016.

SHAMS, R.; SINGH, J.; DASH, K.K.; DAR, A.H. Comparative study of freeze drying and cabinet drying of button mushroom. **Appl Food Res.** (2):100084, Jun, 2022. Doi:10.1016/j.afres.2022.100084.

SHIBABAW, T. Omega-3 polyunsaturated fatty acids: anti-inflammatory and anti-hypertriglyceridemia mechanisms in cardiovascular disease. **Mol Cell Biochem** 476(2):993–1003. 2020.

SHOHAIB, T.; SHAFIQUE, M.; DHANYA, N.; DIVAKAR, M. C. Importance of flavonoides in therapeutics. **Hygeia J Drugs Med**, 3(1), 1-18. 2011.

SINGLA, M.; SIT, N. Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, 73, Article, 2021. 105506.10.1016/j.ultsonch.2021.105506.

SILVA, A. G. P.; FARIA, L. J. G.; COSTA, C. M. L. Otimização do Processo de Secagem dos Frutos do Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) em Secador de Leito Fixo. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 5743-5750, 2015.

SILVA, C. D. M. E.; CALAÇA, F. J. S.; SANTOS, L. A. C.; MACHADO, J. C.; MOURA, J. B. D.; PINTO, D. D. S.; SANTOS, S. X. D. Food and nutritional potential of two mushrooms native species to the Brazilian savanna (Cerrado). **Food Science and Technology**, 42, e64422, 2022. doi.org/10.1590/FST.64422.

SILVA, G. C. P. A.; DA MOTTA, S. DA S.; ABILIO, D. P.; MARTINS, O. G.; ANDRADE, M. C. N. DE. Substratos Suplementados com Pós-colheita de Shiitake como alternativa na produção de *Pleurotus ostreatus*. **Energia na Agricultura**, 34(3), 447–454. 2019. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n3p447-454>.

SILVA, L. F.; DA SILVA, G. C. P. A.; MARTINS, O. G.; DE SOUZA PASSOS, J. R.; DE ANDRADE, M. C. N. Crescimento micelial de *Pleurotus ostreatus* em substratos suplementados com bagaço de malte. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 14(3), 1-12.2021. 2176-9168. Doi:10.17765/2176-9168.2021v14n3e8161.

SILVA, R. M. D.; CARMO, C. O. D.; OLIVEIRA, T. A. S. D.; FIGUEIRÊDO, V. R. D.; DUARTE, E. A. A.; SOARES, A. C. F. Biological efficiency and nutritional value of

Pleurotus ostreatus cultivated in agroindustrial wastes of palm oil fruits and cocoa almonds. **Arquivos do Instituto Biológico**, 87. 2020. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000852018>.

SILVA, M.; RAMOS, A. C.; LIDON, F. J.; REBOREDO, F. H.; GONÇALVES, E.M. Pre- and Postharvest Strategies for *Pleurotus ostreatus* Mushroom in a Circular Economy Approach. **Foods**, 13(10), 1464, 2024.

SILVA, S. M.; KOEHNLEIN, E. A.; BRACHT, A.; CASTOLDI, R.; DE MORAIS, G. R.; BAESSO, M. L.; PERALTA, R. A.; DE SOUZA, C. G. M.; DE SÁ-NAKANISHI, A. B.; PERALTA, R. M. Inhibition of salivary and pancreatic α -amylases by a pinhão coat (*Araucaria angustifolia*) extract rich in condensed tannin. **Food Research International**, 56, 1-8. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.004>.

SILVA, R. S.; DE, A.; JAREK, T. M.; DE JESUS, G. L.; DE OLIVEIRA, G. D.; CUQUEL, F. L. Incubation period of axenic shiitake (*Lentinula edodes*) blocks. *Obs. Econ. Latinoam*, 22(3), 2024. e3556. <https://doi.org/10.55905/oelv22n3-001>.

SILVERMAN, J.; CAO, H.; COBB, K. Development of mushroom mycelium composites for footwear products. **Jornal de pesquisa de vestuário e têxteis**, 38 (2), 119-133. 2020. <https://doi.org/10.1177/0887302X19890006>.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **Am J Enol Vitic**. 16 de Janeiro de 1965. Doi: 10.5344/ajev.1965.16.3.144.

SIWULSKI, M.; BUDKA, A.; BUDZYŃSKA, S.; GAŚECKA, M.; KALAČ, P.; NIEDZIELSKI, P.; MLECZEK, M. Mineral composition of traditional and organic-cultivated mushroom *Lentinula edodes* in Europe and Asia – Similar or different? **Lwt**. (147): 111570, Jul, 2021. Doi:10.1016/j.lwt.2021.111570.

SLAVIN, J.; GREEN, H. Dietary fibre and satiety. **Nutr Bull**. 32(suppl 1):32. 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2007.00603.x>.

SLAVIN, J. Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. **Nutrients**. 5:1417-1435. 2013. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>.

SOARES, A.; COSTA, F. Ciência Viva. O Terceiro Reino. Universidade de Évora. 2014. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/2601353/>>. Acesso em 09 de março de 2023.

SOBIERALSKI, K.; SIWULSKI, M.; FRUZY-NSKA-JÓ, ZWIAK, D.; GÓRSKI, R. Impact of *Trichoderma aggressivum* f. *europaeum* Th2 on the yielding of *Agaricus bisporus*. *Phytopathologia* 53, 5–10. 2009.

SOMOGYI, M. A. New Reagent for Determination of Sugars. A new Sugar Reagent, May p. 61 68. ISSN: 0021-9258. 1945.

SOUZA, R. E. G. Saúde e nutrição. **Cengage Learning**. São Paulo, 2016.

SUBRAMANIAM, S.; JIAO, S.; ZHANG, Z.; JING, P. Impact of post-harvest processing or thermal dehydration on physiochemical, nutritional and sensory quality of shiitake mushrooms. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 20, 2560–2595, 2021.

SUN, W.; YU, J.; SHI, Y. M.; ZHANG, H.; WANG, Y.; WU, B. B. Effects of Cordyceps extract on cytokines and transcription factors in peripheral blood mononuclear cells of asthmatic children during remission stage. *Zhong Xi Yi Jie He Xue Bao. Journal of Chinese Integrative Medicine*. 8(4):341-6. 2010. Doi: 10.3736/jcim20100407.

SUNAGAWA, Y.; KATAYAMA, A.; FUNAMOTO, M.; SHIMIZU, K.; SHIMIZU, S.; SARI, N.; MORIMOTO, T. The polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA, ameliorate myocardial infarction-induced heart failure by inhibiting p300-HAT activity in rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 106, 109031. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2022.109031>.

TACO. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos / NEPA – UNICAMP.- 4. ed. rev. e ampl.. -- Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p.

TADESSE, A. Y.; MOHAMMED, H. H.; ANDERSA, K. N. Proximate composition and selected phytochemical component of Dawrach (*Raphanus raphanistrum* L.) as affected by blanching temperature. *Heliyon*, 9(8). 4377511. Mar, 2023. Doi:10.2139/ssrn.4377511.

TILLEY, A.; MCHENRY, M. P.; MCHENRY, J. A.; SOLAH, V.; BAYLISS, K. Enzymatic browning: The role of substrates in polyphenol oxidase mediated browning: Mechanisms of enzymatic browning. *Curr Res Food Sci* 2023 7:100623. doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100623.

TIWARI, B. K. Ultrasound: A clean, green extraction technology, *TrAC, Trends Anal. Chem.* 71, 100–109. 2015.

TRAUTVETTER, U.; DITSCHIED, B.; JAHREIS, G.; GLEI, M. Habitual intakes, food sources and excretions of phosphorus and calcium in three German study collectives. *Nutrients*, 10. 2018. <https://doi.org/10.3390/nu10020171>.

TRIBULOVA, N.; SZEIFFOVA BACOVA, B.; EGAN BENOVA, T.; KNEZL, V.; BARANCIK, M.; SLEZAK, J. Omega-3 index and anti-arrhythmic potential of omega-3 PUFAs. *Nutrients* 9(11):1191. 2017.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Agricultural Research Service dados 2019, 2020, 2021 <https://fdc.nal.usda.gov/>.

USDA, Economic Research Service derived from data supplied by United Nations, Food and Agriculture Organization, FAOStat (June 2022). Table 9--Selected vegetable production in leading countries and the world/1.

VACLAVIK, V. A.; CHRISTIAN, E. W. Food preservation. *Essentials of food science*, (pp. 323–342). New York, NY: **Springer New York**. 2014. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9138-5_16.

VALÉRIO, T. P. Utilização de resíduos lignocelulósicos de palmito pupunha (*Bactris gasipaes*) para o cultivo de cogumelo (*Pleurotus ostreatus*). **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual de Ponta Grossa – Paraná. 2021.

VALDEZ-SOLANA, M. A.; VENTURA-GARCÍA, E. K.; CORRAL-GUERRERO, I. A.; GUZMÁN DE CASA, A.; AVITIA-DOMÍNGUEZ, C.; TÉLLEZ-VALENCIA, A.; SIERRA-CAMPOS, E. In Silico Characterization of the Physicochemical and Biological Properties of the Pink (*Pleurotus djamor* var. *salmoneostramineus*) Oyster Mushroom Chromoprotein. **Bioinform Biol Insights**. Feb 8;17, 2023. doi: 10.1177/11779322231154139.

VEGA, A.; DE LEÓN, J. A.; MIRANDA, S.; REYES, S. M. Agro-industrial waste improves the nutritional and antioxidant profile of *Pleurotus djamor*. **Cleaner Waste Systems**, 2, 100018. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100018>.

VEGA, A.; FRANCO, H. Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles *Pleurotus pulmonarius* RN2 y *P. djamor* RN81 y RN82 cultivados sobre sustratos lignocelulósicos. **Información tecnológica**, 24(1), 69-78. 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000100009>.

VEGA, A.; DE LEÓN, J. A.; MIRANDA, S.; REYES, S. M. Agro-industrial waste improves the nutritional and antioxidant profile of *Pleurotus djamor*. **Cleaner Waste Systems**, 2, 100018. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100018>.

VIEIRA PAZZA, A.; ZARDO, C.; MARTINS KLEIN, R.; SCHUHLLI DA CAS, T.; MIOTTO BERNARDI, D. Composição Nutricional e Propriedades Funcionais Fisiológicas de Cogumelos Comestíveis. **Fag Journal of Health (fjh)**, 1(3), 240-265. 2019. <https://doi.org/10.35984/fjh.v1i3.89>.

VIEIRA, P. A. F.; GONTIJO, D. C.; VIEIRA, B. C.; FONTES, E. A.; DE ASSUNÇÃO, L. S.; LEITE, J. P. V.; KASUYA, M. C. M. Antioxidant activities, total phenolics and metal contents in *Pleurotus ostreatus* mushrooms enriched with iron, zinc or lithium. **LWT-Food Science and Technology**, 54(2), 421-425. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.016>.

VUOLO, M. M., LIMA, V. S., JUNIOR, M. R. M. Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. In **Bioactive compounds** (pp. 33-50). 2019. Woodhead Publishing. Doi:10.1016/b978-0-12-814774-0.00002-5.

WANG, J.; LI, W.; LI, Z.; WU, W.; TANG, X. Analysis and evaluation of the characteristic taste components in portobello mushroom. *J. food. scie*, 83(6), 1542-1551. 2018

WANG, M.; ZHAO, R. A review on nutritional advantages of edible mushrooms and its industrialization development situation in protein meat analogues. **Journal of Future Foods**, 3(1), 1-7.2023. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.09.001>.

WANG, X.; HE, X.; SUN, C.; PENG, M.; ZHANG, Q.; BRENNAN, C. S.; ZHANG, N. Extraction of bound phenolics from shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) by

combined acid and base hydrolysis procedures and analysis of phenolic profiles and antioxidant capacities. **International Journal of Food Science and Technology**, 57(10), 6613-6620, 2022.

WENDLING, I.; ZANETTE, F.; ZANETTE, F. Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios. **Embrapa**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Florestas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF 2017. 159 p.

WICKRAMASINGHE, M. A.; NADEESHANI, H.; SEWWANDI, S. M.; RATHNAYAKE, I.; KANANKE, T. C.; LIYANAGE, R. Comparison of nutritional composition, bioactivities, and FTIR-ATR microstructural properties of commercially grown four mushroom species in Sri Lanka; *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Calocybe* sp.2023. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00158-9>.

WILLIAMS, B. A.; MIKKELSEN, D.; FLANAGAN, B. M.; GIDLEY, M. J. “Dietary Fibre”: Moving beyond the “Soluble/Insoluble” Classification for Monogastric Nutrition, with an Emphasis on Humans and Pigs. **J. Anim. Sci. Biotechnol.** 2019, 10, 45. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0350-9>.

WHO/FAO. DIET, NUTRITION AND THE PREVENTION OF CHRONIC DISEASES: report of a joint WHO/FAO expert consultation. Geneva. 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2023). Carbohydrate intake in adults and children: summary of the WHO guideline. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/374927> . License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2020). https://www-who-int.translate.goog/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=wapp. Access 14 May 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases : report of a joint WHO/FAO expert consultation. Geneva. World Health Organization. 2003. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42665>.

WORLD RESOURCES INTITUTE. GlobAgri-WRR model developed by CIRAD, Princeton University, INRA, and WRI (GHG data); USDA and BLS (2016) (US retail price data). www.wri.org/proteinscorecard.

WRONA, M.; BENTAYEB, K.; NERÍN, C. A novel active packaging for extending the shelf-life of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Food Control**, 54, 200–207, 2015.

WU, Y.; HU, H.; DAI, X.; ZHANG, H.; XU, F.; HU, H.; GUO, Z. Comparative Study of the Nutritional Properties of 67 Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) Grown in China Using the Nutrient-Rich Foods (NRF 11.3) Index. **Plant Foods for Human Nutrition**, 75, 169-176. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00795-2>.

XIA, R.; ZHAO, X.; XIN, G.; SUN, L.; XU, H.; HOU, Z.; LI, Y.; WANG, Y. Energy status regulated umami compound metabolism in harvested shiitake mushrooms (*Lentinus*

edodes) with spores triggered to release. **Food Science and Human Wellness** 12 303-311. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.020>.

XIA, R.; ZHAO, X.; XIN, G.; SUN, L.; XU, H.; HOU, Z.; LI, Y.; WANG, Y. Energy status regulated umami compound metabolism in harvested shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) with spores triggered to release. **Food. Sci. Hum. Wellness**. 12, 303-311, 2023.

XIAO, G.; ZHANG, M.; SHAN, L.; YOU, Y.; SALOKHE, V. M. Extension of the shelf-life of fresh oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) by modified atmosphere packaging with chemical treatments. **African J. Biotechnol**. 10, 9509–9517, 2011.

XIAO, H.W.; PAN, Z.; DENG, L.Z.; EL-MASHAD, H.M.; YANG, X.H.; MUJUMDAR, A.S.; GAO, Z.; ZHANG, Q. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. **Inf Process Agric**. 4 (2):101–27, Jun, 2017. Doi:10.1016/j.inpa.2017.02.001.

YADAV, D.; NEGI, P.S. Bioactive components of mushrooms: Processing effects and health benefits. **Food Res Int**. (148):110599, Out, 2021. Doi:10.1016/j.foodres.2021.110599.

YAO, F.; GAO, H.; YIN, C. M.; SHI, D. F.; FAN, X. Z. Effect of different cooking methods on the bioactive components, color, texture, microstructure, and volatiles of shiitake mushrooms. **Foods**, 12(13), 2573, 2023.

YE, D.; HU, Q.; BAI, X.; ZHANG, W.; GUO, H. Increasing the value of *Phragmites australis* straw in a sustainable integrated agriculture model (SIAM) comprising edible mushroom cultivation and spent mushroom substrate compost. **Science of The Total Environment**, 869, 161807. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161807>.

YIN, C.; FAN, X.; FAN, Z.; SHI, D.; YAO, F.; GAO, H. Comparison of non-volatile and volatile flavor compounds in six *Pleurotus* mushrooms. *J. Sci. Food. Agric*, 99(4), 1691-1699. 2019.

ZENG, Y.; ZHOU, W.; YU, J.; ZHAO, L.; WANG, K.; HU, Z.; LIU, X. By-products of fruit and vegetables: Antioxidant properties of extractable and non-extractable phenolic compounds. *Antioxidants*, 12(2), 418. 2023.

ZHANG, L.; GONG, W.; LI, C.; SHEN, N.; GUI, Y.; BIAN, Y.; KWAN, H. S.; CHEUNG, M.K.; XIAO, Y. RNA-Seq-based high-resolution linkage map reveals the genetic architecture of fruiting body development in shiitake mushroom, *Lentinula edodes*. **Comput Struct Biotechnol J**. (19):1641–53, Mar, 2021. doi:10.1016/j.csbj.2021.03.016.

ZHANG, L.; ZHANG, M.; WANG, D.; MUJUMDAR, A. S.; CHEN, Y.; ANN-GA optimized composite color protectant combined with magnetic field assisted freezing: Effects on the quality of mushroom (*Agaricus bisporus*). **Food Chemistry**, 453, 139713, 2024.

ZHENG, P.; DAI, W.; TAN, B. K.; ZHANG, Y.; LIN, S.; HU, J. Combination of steam explosion pretreatment and mixture design optimization as a strategy to enhance the antioxidant activity of crude polysaccharides isolated from edible mushrooms. **LWT**. May;(200): 116215, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116215>

ZHISHEN. J.; MENGCHENG. T.; JIANMING. W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Química de Alimentos Volume** 64, Edição 4 , março de 1999 , páginas 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2).

ZHOU, T.; HU, W.; YANG, Z.; LI, J.; ZENG, X. Study on nutrients, non-volatile compounds, volatile compounds and antioxidant capacity of oyster mushroom cultivated with corn distillers' grains. **LWT**, 183, 114967. 2023.

ZIED, D. C.; SILVA, B. D.; CAITANO, C. E. C.; VIEIRA JUNIOR, W. G.; DA SILVA FREITAS, M. A.; TEIXEIRA, P. A. G.; PARDO-GIMÉNEZ, A. Use of Eucalyptus Charcoal Waste in the Formulation of Substrate for the Cultivation of Two Strains (LED 20/11 and LED 20/12) of *Lentinula edodes*. **Agronomy**, 14(4), 811, 2024.

APÊNDICE I

COMPROVANTE DE PUBLICAÇÃO.

**UM NOVO MÉTODO DE CULTIVO PARA MELHORAR A PRODUÇÃO DE *Pleurotus djamor*
UTILIZANDO CASCA DE *Araucaria angustifolia***

Scientia Horticulturae

A new cultivation method to improve *Pleurotus djamor* production using *Araucaria angustifolia* seed coat
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Research Paper
Section/Category:	Substrates and soilless cultivation
Keywords:	pink oyster mushroom, substrate optimization, mycelial growth, productivity, nutritional composition, pinhão.
Corresponding Author:	REGINA JORGE Federal University of Parana BRAZIL
First Author:	Edson Maikon da Rocha
Order of Authors:	Edson Maikon da Rocha
	Suelen Ávila, Ph.D.
	Jair José de Lima
	Ricardo Scheffer de Andrade Silva
	Luiz Eduardo Piá de Andrade
	Danniele Miranda Bacila
	Alvaro Luiz Mathias
	REGINA JORGE

APÊNDICE II

COMPROVANTE DE DIREITOS AUTORAIS E PUBLICAÇÃO DO ESTUDO REDUÇÃO DOS RESÍDUOS DA CASCA DA *Araucaria angustifolia* ATRAVÉS DA SUA UTILIZAÇÃO EM DIVERSIFICAÇÃO DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE *Pleurotus djamor* NA TESE SUBMISSÃO.



Araucaria angustifolia seed coat waste reduction through its utilization in substrate diversification for Pleurotus djamor production

Author: Edson Maikon da Rocha,Suelen Ávila,Jair José de Lima,Ricardo Scheffer de Andrade Silva,Luiz Eduardo Piá de Andrade,Danniele Miranda Bacila,Alvaro Luiz Mathias,Regina Maria Matos Jorge
Publication: Scientia Horticulturae
Publisher: Elsevier
Date: 15 April 2024

© 2024 Elsevier B.V. All rights reserved.

Journal Author Rights

Please note that, as the author of this Elsevier article, you retain the right to include it in a thesis or dissertation, provided it is not published commercially. Permission is not required, but please ensure that you reference the journal as the original source. For more information on this and on your other retained rights, please visit: <https://www.elsevier.com/about/our-business/policies/copyright#Author-rights>

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113060>

APÊNDICE III

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO BRANQUEAMENTO E CONDIÇÕES IDEAIS DE TEMPERATURA E TEMPO PARA MINIMIZAR O ESCURECIMENTO DE COGUMELOS COMERCIAIS

Scientia Plena

Tarefas 0

Português (Brasil)Ver o Site

reginajorge123

7482 / Maikon da Rocha et al. / Avaliação da eficácia do branqueamento e condições ideais de temperatura e tempo para minimizar o

Biblioteca da Submissão

Fluxo de TrabalhoPublicação

SubmissãoAvaliaçãoEdição de TextoEditoração

Arquivos da Submissão

32793-2 reginajorge123, Beaching mushroom ScientiaPlena setembro.docx (2) setembro 5, 2023 Texto do Artigo

Baixar Todos os Arquivos

Discussão da pré-avaliação

Adicionar comentários

Nome	De	Última resposta	Respostas	Fechado
Comentários para o editor	reginajorge123 2023-09-05 04:41	-	0	☐

APÊNDICE IV

A) APARÊNCIA VISUAL DO COGUMELO OSTRAL B) MELHOR CORRIDA OBSERVADA C) PIOR CORRIDA OBSERVADA



Fonte: Autor, (2023).

APÊNDICE V

FUNÇÕES AJUSTADAS PARA CRESCIMENTO MICELIAL, VALORES DE COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO, ERRO PADRÃO MÉDIO E PROPORÇÃO DE DESEMPENHO EM RELAÇÃO A P50

Tipo de bloco	Função	Equação	R^2	SEM (%)	% da v_{P50}^*
P0	LINEAR	$= 0,5125x - 0,4571$	0,9969	0,1895	67,3
	POLINÔMIO, 3°	$= - 0,0017x^3 + 0,0508x^2 + 0,0801x + 0,4857$	0,9996	0,0886	
	LOGARITMO	$= 3,053 \ln(x) - 2,192$	0,9414	0,8200	
	EXPONENCIAL	$= 1,076 \exp(0,135x)$	0,9828	0,4489	
P25	LINEAR	$= 0,5696x - 0,0286$	0,9984	0,1490	81,7
	POLINÔMIO, 3°	$= - 0,0017x^3 + 0,0473x^2 + 0,0194x + 0,7428$	0,9996	0,0938	
	LOGARITMO	$= 3,418 \ln(x) - 2,004$	0,9497	0,8449	
	EXPONENCIAL	$= 1,541 \exp(0,121x)$	0,9828	0,4976	
P50	LINEAR	$= 0,6982x - 0,0429$	0,9991	0,1391	100,0
	POLINÔMIO, 3°	$= - 0,0003x^3 + 0,0122x^2 + 0,5793x + 0,2428$	0,9993	0,1581	
	LOGARITMO	$= 4,219 \ln(x) - 2,520$	0,9570	0,9582	
	EXPONENCIAL	$= 1,893 \exp(0,120x)$	0,9811	0,6386	
P75	LINEAR	$= 0,6214x - 0,0429$	0,9997	0,0676	88,9
	POLINÔMIO, 3°	$= - 0,0007x^3 + 0,0196x^2 + 0,4599x + 0,3000$	0,9999	0,0377	
	LOGARITMO	$= 3,753 \ln(x) - 2,244$	0,9571	0,8523	
	EXPONENCIAL	$= 1,685 \exp(0,120x)$	0,9811	0,5690	
P100	LINEAR	$= 0,4875x + 0,1286$	0,9996	0,0579	72,1
	POLINÔMIO, 3°	$= - 0,0007x^3 + 0,0196x^2 + 0,4599x + 0,3000$	0,9986	0,0487	
	LOGARITMO	$= 2,956 \ln(x) - 1,622$	0,9611	0,6373	
	EXPONENCIAL	$= 1,437 \exp(0,165x)$	0,9820	0,4356	

Nota: * referência é o P50 (máxima velocidade).

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE VI

Fw: Annals of the Brazilian Academy of Sciences - Decision on Manuscript ID AABC-2024-1454

RJ

Regina Jorge <reginacspr@yahoo.com.br>

Para Edson Rocha; Suelen Ávila; Alvaro Mathias; Danielle Miranda Bacila

Você encaminhou esta mensagem em 17/02/2025 19:57.

PDF

Nutritional value and antioxidant activity of Agaricus bisporus.pdf

94 KB

Responder

Responder a Todos

Encaminhar

seg 27/01/2025 17:2

27-Jan-2025

Dear Dr. JORGE:

Manuscript ID AABC-2024-1454 entitled "Nutritional value and antioxidant activity of Agaricus bisporus, Lentinula edodes and Pleurotus ostreatus mushrooms" which you submitted to the Annals of the Brazilian Academy of Sciences, has been reviewed. The comments of the reviewer(s) are included at the bottom of this letter.

The reviewer(s) have recommended publication, but also suggest some revisions to your manuscript. Therefore, I invite you to respond to the reviewer(s)' comments and revise your manuscript.

To revise your manuscript, log into <https://mc04.manuscriptcentral.com/aabc-scielo> and enter your Author Center, where you will find your manuscript title listed under "Manuscripts with Decisions." Under "Actions," click on "Create a Revision." Your manuscript number has been appended to denote a revision.

You may also click the below link to start the revision process (or continue the process if you have already started your revision) for your manuscript. If you use the below link you will not be required to login to ScholarOne Manuscripts.

*** PLEASE NOTE: This is a two-step process. After clicking on the link, you will be directed to a webpage to confirm. ***

https://mc04.manuscriptcentral.com/aabc-scielo?URL_MASK=d454440c5b45430a80f53f85e3ecfe2b

You will be unable to make your revisions on the originally submitted version of the manuscript. Instead, revise your manuscript using a word processing program and save it on your computer. Please also highlight the changes to your manuscript within the document by using the track changes mode in MS Word or by using bold or colored text.

Once the revised manuscript is prepared, you can upload it and submit it through your Author Center.

When submitting your revised manuscript, you will be able to respond to the comments made by the reviewer(s) in the space provided. You can use this space to document any changes you make to the original manuscript. In order to expedite the processing of the revised manuscript, please be as specific as possible in your response to the reviewer(s).

IMPORTANT: Your original files are available to you when you upload your revised manuscript. Please delete any redundant files before completing the submission.

Because we are trying to facilitate timely publication of manuscripts submitted to the Annals of the Brazilian Academy of Sciences, your revised manuscript should be submitted BEFORE 27-Feb-2025. If it is not possible for you to submit your revision by this date, we may have to consider your paper as a new submission.

Once again, thank you for submitting your manuscript to the Annals of the Brazilian Academy of Sciences and I look forward to receiving your revision.

Sincerely,
Dr. Jailson de Andrade
jailsondeandrade@gmail.com

APÊNDICE VII

FLUXOGRAMA DOS ESTUDOS DESENVOLVIDOS NA TESE COM BASE NOS OBJETIVOS PROPOSTOS

