

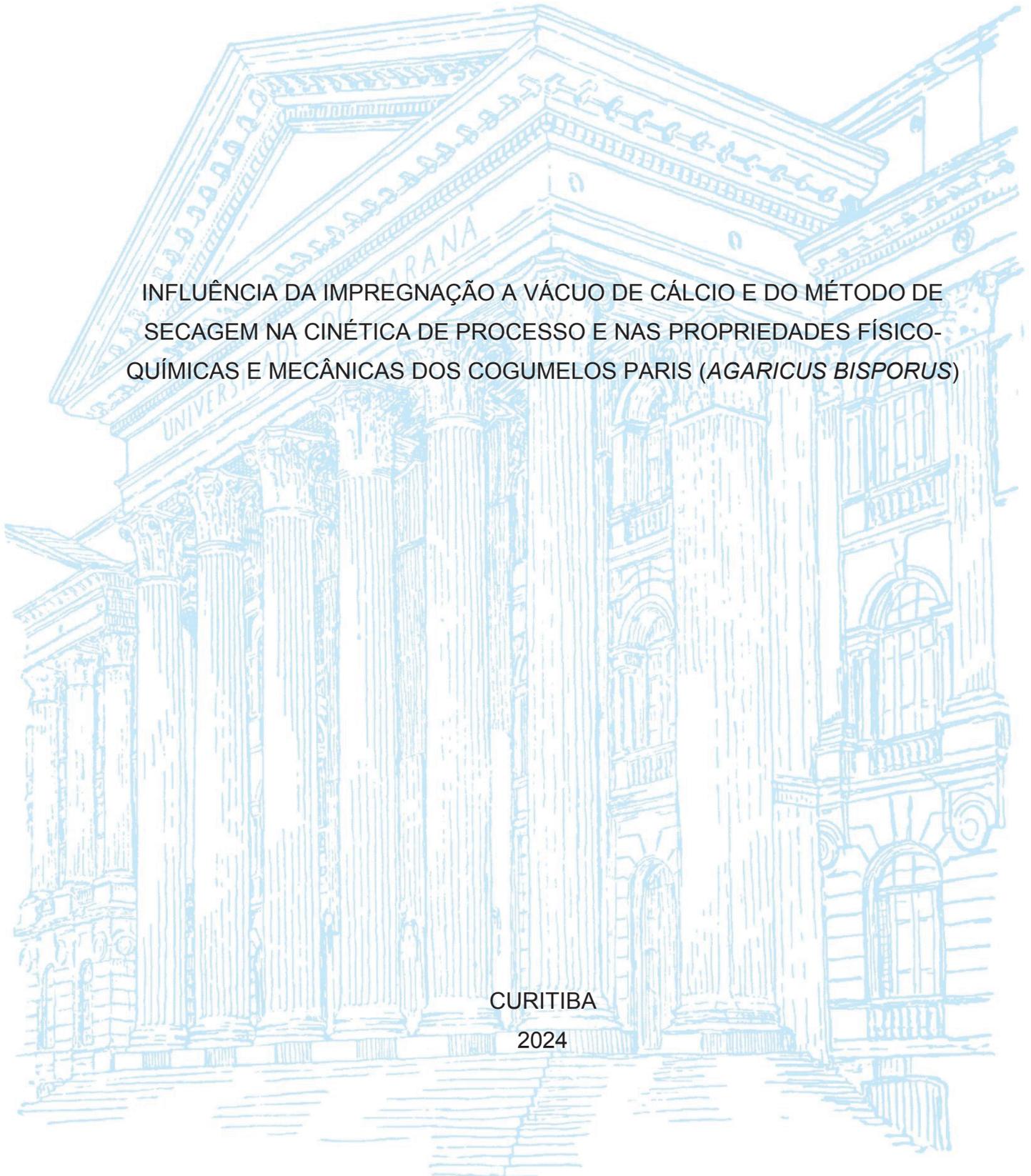
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA CAROLINA RORATO

INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO DE CÁLCIO E DO MÉTODO DE SECAGEM NA CINÉTICA DE PROCESSO E NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DOS COGUMELOS PARIS (*AGARICUS BISPORUS*)

CURITIBA

2024



ANA CAROLINA RORATO

INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO DE CÁLCIO E DO MÉTODO DE  
SECAGEM NA CINÉTICA DE PROCESSO E NAS PROPRIEDADES FÍSICO-  
QUÍMICAS E MECÂNICAS DOS COGUMELOS PARIS (*AGARICUS BISPORUS*)

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Franciny Campos Schmidt  
Coorientador: Prof. Dr. Daniel Angelo Longhi

CURITIBA

2024

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

Rorato, Ana Carolina

Influência da impregnação a vácuo de cálcio e do método de secagem na cinética de processo e nas propriedades físico-químicas e mecânicas dos cogumelos Paris (*Agaricus bisporus*) / Ana Carolina Rorato. – Curitiba, 2024.  
1 recurso on-line : PDF.

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

Orientador: Franciny Campos Schmidt  
Coorientador: Daniel Angelo Longhi

1. Liofilização. 2. Secagem por congelamento. 3. Congelamento de alimentos. 4. Cogumelos. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. III. Schmidt, Franciny Campos. IV. Longhi, Daniel Angelo. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



## 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 dissertação de Mestrado de **ANA CAROLINA RORATO** intitulada: **Influência da impregnação a vácuo de cálcio e do método de secagem na cinética de processo e nas propriedades físico-químicas e mecânicas dos cogumelos Paris (Agaricus bisporus)**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra 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, 30 de Setembro de 2024.

Assinatura Eletrônica

16/10/2024 15:37:40.0

DANIEL ANGELO LONGHI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

11/10/2024 11:18:31.0

RAQUEL DA SILVA SIMÃO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA)

Assinatura Eletrônica

11/10/2024 09:47:36.0

MARCELO KAMINSKI LENZI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## RESUMO

*Agaricus bisporus* é o cogumelo comestível mais produzido mundialmente, devido suas características nutricionais, sensoriais e funcionais atrativas. No entanto, a curta vida útil de *Agaricus bisporus* é um problema para sua ampla distribuição pós-colheita. O cogumelo sofre degradação contínua da qualidade, apresentando alterações de cor, de textura, perda de umidade, aumento da contagem microbiana e perda de nutrientes. Para prolongar a vida útil, a aplicação de técnicas de conservação é essencial. Dentre essas técnicas, a secagem se destaca por aumentar significativamente a vida útil dos cogumelos. Além disso, a impregnação de cálcio nos cogumelos seria uma fonte alternativa desse mineral aos veganos. Desta forma, o objetivo desse trabalho foi a produção de cogumelo Paris (*Agaricus bisporus*) fortificado com cálcio e desidratado de qualidade superior. Para tal, foi avaliada a influência da impregnação a vácuo de cálcio (0,025 MPa) e do método de secagem na cinética do processo e nas características físico-químicas e mecânicas dos cogumelos. Os seguintes métodos foram avaliados: (i) impregnação a vácuo de cálcio seguido de secagem convectiva a 40 °C, 50 °C ou 60 °C (IV-SC<sub>40</sub>, IV-SC<sub>50</sub> e IV-SC<sub>60</sub>); (ii) impregnação a vácuo de cálcio seguido de congelamento por superfície e ar frios (denominado processo convencional) e liofilização (IV+CC-L) ou seguido de congelamento a vácuo e liofilização (IV+CV-L). Como esperado, para a secagem convectiva foi observado uma maior taxa de secagem dos cogumelos com o aumento da temperatura do ar. Entretanto, para as amostras secas a 60 °C verificou-se maiores alterações de cor e perda de compostos fenólicos e atividade antioxidante, além de redução da razão de reidratação. O uso do congelamento a vácuo como etapa inicial da liofilização aumentou a taxa de secagem, e produziu cogumelos de melhor qualidade, com preservação da cor, dos compostos fenólicos, atividade antioxidante e maior razão de reidratação. A impregnação a vácuo combinada com a secagem convectiva ou liofilização permitiu aumentar a concentração de cálcio das amostras em 56 a 76 vezes o conteúdo inicial. Assim, o consumo de cerca de 40 g de cogumelo satisfaria 100% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Cálcio pela FAO e OMS. Os cogumelos obtidos pelo processo de impregnação a vácuo de cálcio e liofilização utilizando o congelamento a vácuo como primeira etapa apresentaram os melhores resultados para os parâmetros avaliados (compostos fenólicos, atividade antioxidante, propriedades mecânicas, cor e razão de reidratação). Desta forma, conclui-se que a aplicação de vácuo proposta neste estudo teve duplo papel, intensificando a fortificação de cálcio dos cogumelos e possibilitando o aumento da taxa de liofilização, sendo estratégias interessantes para as indústrias de alimentos.

Palavras-chaves: impregnação a vácuo; congelamento a vácuo; liofilização.

## ABSTRACT

*Agaricus Bisporus* is the most produced edible mushroom worldwide, due to its attractive nutritional, sensorial and functional characteristics. However, the short shelf life of *Agaricus Bisporus* is a problem for its widespread post-harvest distribution. The mushroom suffers continuous degradation of quality, presenting changes in color, texture, loss of moisture, increased microbial count and loss of nutrients. To extend its useful life, the application of conservation techniques is essential. Among these techniques, drying stands out for significantly increasing the shelf life of mushrooms. Furthermore, calcium impregnation in mushrooms would be an alternative source of this mineral for vegans. Therefore, the objective of this work was the production of superior quality calcium-fortified and dehydrated Paris mushroom (*Agaricus Bisporus*). To this end, the influence of calcium vacuum impregnation (0,025 MPa) and the drying method on the process kinetics and on the physicochemical and mechanical characteristics of the mushrooms were evaluated. The following methods were evaluated: (i) calcium vacuum impregnation followed by convective drying at 40 °C, 50 °C or 60 °C (IV-SC<sub>40</sub>, IV-SC<sub>50</sub> and IV-SC<sub>60</sub>); (ii) calcium vacuum impregnation followed by freezing by cold surface and air (conventional) or vacuum and freeze-drying (IV+CC-L or IV+CV-L). As expected, for convective drying, a higher drying rate of mushrooms was observed with increasing air temperature. However, for samples dried at 60 °C there were greater changes in color and loss of phenolic compounds and antioxidant activity, in addition to a reduction in the rehydration rate. The use of vacuum freezing as the initial step of freeze-drying increased the drying rate and produced better quality mushrooms, with preservation of color, phenolic compounds, antioxidant activity and a higher rehydration rate. Vacuum impregnation combined with convective drying or freeze-drying made it possible to increase the calcium concentration of the samples by 56 to 76 times the initial content. Thus, the consumption of around 40 g of mushroom would satisfy 100% of the Recommended Daily Intake (RDI) of Calcium by FAO and WHO. The mushrooms obtained by the calcium vacuum impregnation and freeze-drying process using vacuum freezing as the first step showed the best results for the parameters evaluated (phenolic compounds, antioxidant activity, mechanical properties, color and rehydration ratio). Therefore, it is concluded that the vacuum application proposed in this study had a double role, intensifying the calcium fortification of mushrooms and enabling an increase in the freeze-drying rate, being interesting strategies for the food industries.

Keywords: vacuum impregnation; vacuum freezing; freeze drying.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

- FIGURA 1 – MORFOLOGIA DE COGUMELOS *AGARICUS BISPORUS* EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO. (a) COGUMELO MADURO; (b) COGUMELO IMATURO COM TAMPA FECHADA; (c) FATIA LONGITUDINAL DE COGUMELO IMATURO. ....23
- FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO HDM ACOPLADO COM O DRP EM UM PORO IDEAL. ....32
- FIGURA 3 - EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DURANTE O CONGELAMENTO A VÁCUO DA ÁGUA PURA. ....40
- FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO DISPOSITIVO USADO PARA O ESTUDO DA CINÉTICA DE IV E DO BALANÇO DE FORÇAS NO SISTEMA AMOSTRA-PORTA AMOSTRA-HASTE. ....51
- FIGURA 5 - ESQUEMA DO DISPOSITIVO EXPERIMENTAL UTILIZADO NOS ENSAIOS DE SECAGEM EM ESTUFA COM CIRCULAÇÃO DE AR. ....53
- FIGURA 6 - ESQUEMA DO SISTEMA DE CONGELAMENTO POR CONTATO. ....55
- FIGURA 7 - ESQUEMA DO LIOFILIZADOR. ....56
- FIGURA 8 - CINÉTICA DE IV DE UMA SOLUÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO EM COGUMELO PARIS .....64
- FIGURA 9 - CURVAS DE SECAGEM DOS COGUMELOS CONTROLES E IMPREGNADO, SECOS EM ESTUFA A 40, 50 E 60 °C. ....68
- FIGURA 10 – TAXA DE SECAGEM DOS COGUMELOS CONTROLES E IMPREGNADOS, SECOS EM ESTUFA A 40, 50 E 60 °C. ....68
- FIGURA 11 - CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE: ABTS (EQUIVALENTE TROLOX  $\mu\text{mol g}^{-1}$ , DPPH (EQUIVALENTE TROLOX  $\mu\text{mol g}^{-1}$  e FRAP (EQUIVALENTE TROLOX  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ) DOS COGUMELOS CONTROLE OU IMPREGNADOS COM CÁLCIO E SECOS EM ESTUFA A 40 °C, 50 °C E 60 °C. ....75
- FIGURA 12 - CINÉTICA DE LIOFILIZAÇÃO DOS COGUMELOS CONTROLES E FORTIFICADOS COM CÁLCIO CONGELADOS POR CONTATO OU A VÁCUO E LIOFILIZADOS. ....78
- FIGURA 13 – TAXA DE LIOFILIZAÇÃO DOS COGUMELOS CONTROLES E IMPREGNADOS CONGELADOS POR CONTATO OU A VÁCUO. ...78

FIGURA 14 - CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL (mg GAE g <sup>-1</sup> AMOSTRA SECA), ATIVIDADE ANTIOXIDANTE: ABTS (EQUIVALENTE TROLOX μmol g <sup>-1</sup> , DPPH (EQUIVALENTE TROLOX μmol g <sup>-1</sup> e FRAP (EQUIVALENTE TROLOX μmol g <sup>-1</sup> DAS AMOSTRAS CONTROLE E IMPREGNADAS, CONGELADAS POR CONTATO OU A VÁCUO E LIOFILIZADAS. ....	85
---	----

## IMAGENS

IMAGEM 1 - FOTOGRAFIAS DOS COGUMELOS PARIS IMPREGNADOS COM AZUL DE METILENO: (a) PRESSÃO ATMOSFÉRICA E (b) A VÁCUO (0,025 MPa). ....	66
IMAGEM 2 - FOTOGRAFIA DOS COGUMELOS SECOS EM ESTUFA A 40, 50 E 60 °C (SC <sub>40</sub> , SC <sub>50</sub> , SC <sub>60</sub> , IV-SC <sub>40</sub> , IV-SC <sub>50</sub> E IV-SC <sub>60</sub> ), (a) AMOSTRAS CONTROLE, (b) AMOSTRAS IMPREGNADAS A VÁCUO. ....	72
IMAGEM 3 - ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS (a) SC <sub>40</sub> ; (b) IV-SC <sub>40</sub> . ....	73
IMAGEM 4 - ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS (a) SC <sub>50</sub> ; (b) IV-SC <sub>50</sub> . ....	73
IMAGEM 5 - ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS (a) SC <sub>60</sub> ; (b) IV-SC <sub>60</sub> . ....	73
IMAGEM 6 - DISTRIBUIÇÃO DE CÁLCIO NA ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS IMPREGNADO A VÁCUO E SECO EM ESTUFA CONVECTIVA A (a) 40 °C, (b) 50 °C e (c) 60 °C. ....	74
IMAGEM 7 - FOTOGRAFIA DOS COGUMELOS CONTROLES E IMPREGNADOS A VÁCUO LIOFILIZADOS (CC-L, IV+CC-L, CV-L, IV+CV-L), (a) AMOSTRAS CONGELAMENTO CONVENCIONAL, (b) AMOSTRAS CONGELAMENTO A VÁCUO. ....	82
IMAGEM 8 - ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS (a) CC-L; (b) IV+CC-L. ....	82
IMAGEM 9 - ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS (a) CV-L; (b) IV+CV-L. ....	83
IMAGEM 10 - DISTRIBUIÇÃO DE CÁLCIO NA ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS IMPREGNADO A VÁCUO E LIOFILIZADO (a) UTILIZANDO CONGELAMENTO POR CONTATO SUPERFÍCIE/AR FRIO E LIOFILIZADO (b) UTILIZANDO CONGELAMENTO A VÁCUO. ....	84
IMAGEM 11 - IMAGENS DE EDS DO COGUMELO SECO EM ESTUFA A 50 °C IMPREGNADO A VÁCUO (a); E IMPREGNADO A PRESSÃO ATMOSFÉRICA (b). ....	87

IMAGEM 12 - IMAGENS DE MEV DO COGUMELO SECO EM ESTUFA A 50 ° C IMPREGNADO A VÁCUO (a); E IMPREGNADO A PRESSÃO ATMOSFÉRICA (b).....	87
IMAGEM 13 - IMAGENS DE EDS DO COGUMELO LIOFILIZADO COM CONGELAMENTO A VÁCUO IMPREGNADO A VÁCUO (a); E IMPREGNADO A PRESSÃO ATMOSFÉRICA (b). ....	88
IMAGEM 14 - IMAGENS DE MEV DO COGUMELO LIOFILIZADO COM CONGELAMENTO A VÁCUO IMPREGNADO A VÁCUO (a); E IMPREGNADO A PRESSÃO ATMOSFÉRICA (b). ....	89

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL, PARÂMETROS DE COR ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , ÍNDICE DE ESCURECIMENTO - IB), ATIVIDADE DE ÁGUA, CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE (DPPH, ABTS E FRAP) DOS COGUMELOS <i>A. BISPORUS IN NATURA</i> . ....	62
TABELA 2 - UMIDADE ( $g\ g^{-1}$ b.s.), ATIVIDADE DE ÁGUA, DUREZA (N), PARÂMETROS DE COR ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , ÍNDICE DE ESCURECIMENTO - IB), CONTEÚDO DE CÁLCIO ( $mg\ kg^{-1}$ ) E RAZÃO DE REIDRATAÇÃO DAS AMOSTRAS CONTROLES E IMPREGNADAS, SECAS EM ESTUFA A 40 °C, 50 °C E 60 °C.....	70
TABELA 3 - UMIDADE ( $g\ g^{-1}$ b.s.), ATIVIDADE DE ÁGUA, DUREZA (N), $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , ÍNDICE DE ESCURECIMENTO (IB), CONTEÚDO DE CÁLCIO ( $mg\ kg^{-1}$ ) E RAZÃO DE REIDRATAÇÃO DAS AMOSTRAS CONTROLE E IMPREGNADAS, CONGELADAS POR CONTATO OU A VÁCUO E LIOFILIZADAS. ....	79
TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO DAS AMOSTRAS IMPREGNADAS A PRESSÃO ATMOSFÉRICA E A VÁCUO, SECAS EM ESTUFA CONVECTIVA A 50 °C OU LIOFILIZADAS CONGELADAS A VÁCUO. .....	86

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABTS	Captura do radical livre 2,2-azino-bis-ácido 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfônico
ANOVA	Análise de Variância
CRA	Capacidade de retenção de água
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
DRP	Deformação-Relaxação
EDS	Espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) acoplada ao microscópio eletrônico de varredura
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
FRAP	Potencial antioxidante de redução do ferro
HDM	Mecanismo Hidrodinâmico
IB	Índice de escurecimento
IV	Impregnação a vácuo
IP	Impregnação a pressão atmosférica
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MS	Matéria seca
PMMA	Polimetil-metacrilato
PPO	Polifenol oxidase
PVC	Policloreto de vinila
RR	Razão de reidratação
TCP	Conteúdo em compostos fenólicos totais
UFC	Unidades formadoras de colônias
UV	Radiação ultravioleta

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivo geral .....	18
1.1.2 Objetivos específicos .....	18
1.2 DIAGRAMA CONCEITUAL DO TRABALHO .....	19
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>21</b>
2.1 COGUMELOS COMESTÍVEIS.....	21
2.1.1 Agaricus bisporus.....	21
2.1.2 Características dos cogumelos .....	23
2.1.2.1 Composição química e valor nutricional .....	23
2.1.2.2 Propriedades funcionais .....	25
2.1.3 Fatores que afetam a qualidade dos cogumelos frescos.....	26
2.2 PROCESSAMENTO/CONSERVAÇÃO DE COGUMELOS .....	28
2.2.1 Impregnação a vácuo de alimentos porosos .....	29
2.2.1.1 Aplicações da IV.....	33
2.2.2 Métodos de secagem aplicados a cogumelos .....	35
2.2.2.1 Secagem convectiva .....	36
2.2.2.2 Liofilização.....	38
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>43</b>
3.1 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	44
3.2 MATÉRIA-PRIMA.....	45
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....	45
3.3.1 Composição centesimal .....	45
3.3.1.1 Umidade inicial .....	45
3.3.1.2 Cinzas .....	45
3.3.1.3 Lipídios.....	45
3.3.1.4 Proteínas .....	45
3.3.1.5 Carboidratos.....	46
3.3.1.6 Fibras alimentares .....	46
3.3.1.7 Compostos fenólicos .....	46
3.3.1.8 Atividade antioxidante - Método ABTS - Captura do radical livre 2,2-azino- bis-ácido 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfônico .....	46

3.3.1.9	Atividade antioxidante - Método DPPH - Captura do Radical 2,2 difenil-1-picrilhidrazila .....	47
3.3.1.10	Atividade antioxidante - Potencial antioxidante de redução do ferro (FRAP) 47	
3.3.1.11	Atividade de água .....	48
3.3.1.12	Propriedades mecânicas .....	48
3.3.1.13	Cor .....	48
3.4	INFLUÊNCIA DO USO DE VÁCUO NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO CORANTE EM COGUMELO PARIS (ANÁLISE QUALITATIVA)...	49
3.4.1	Cinética de Impregnação a Vácuo.....	49
3.4.2	Análise Qualitativa: Influência do uso do vácuo na impregnação de uma solução de azul de metileno em cogumelo Paris.....	51
3.4.2.1	Impregnação a pressão atmosférica.....	51
3.4.2.2	Impregnação a vácuo .....	51
3.5	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA SECAGEM CONVECTIVA DE COGUMELOS PARIS FORTIFICADOS COM CÁLCIO .....	52
3.5.1	Impregnação a vácuo + Secagem Convectiva (Processo IV + SC) .....	52
3.6	INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO DE CÁLCIO E DO MÉTODO DE CONGELAMENTO (POR CONTATO OU A VÁCUO) UTILIZADO COMO PRIMEIRA ETAPA DA LIOFILIZAÇÃO DOS COGUMELOS NA CINÉTICA DE PROCESSO E NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO PRODUTO DESIDRATADO.....	53
3.6.1	Impregnação a vácuo + Liofilização utilizando diferentes métodos de congelamento (Processos IV+CC-L e IV+CV-L).....	53
3.7	CURVAS E TAXAS DE SECAGEM.....	56
3.8	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DO COGUMELO SECO .....	56
3.8.1.1	Umidade .....	56
3.8.1.2	Atividade de água .....	57
3.8.1.3	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....	57
3.8.1.4	Avaliação química qualitativa e semiquantitativa do cálcio nas amostras de cogumelos secos .....	57
3.8.1.5	Compostos fenólicos .....	57
3.8.1.6	Atividade antioxidante .....	58
3.8.1.7	Propriedades mecânicas .....	58

3.8.1.8 Cor .....	58
3.8.1.9 Concentração de cálcio .....	58
3.8.1.10 Razão de reidratação .....	58
3.9 INFLUÊNCIA DO VÁCUO PARA IMPREGNAÇÃO DE CÁLCIO NOS COGUMELOS E DO MÉTODO DE SECAGEM NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO PRODUTO DESIDRATADO .....	59
3.9.1.1 Impregnação a pressão atmosférica + Secagem .....	59
3.9.1.2 Impregnação a vácuo + Secagem .....	59
3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	60
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS COGUMELOS PARIS ( <i>A. BISPORUS</i> ) <i>IN NATURA</i> .....	60
4.2 CINÉTICA DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO E INFLUÊNCIA DO USO DE VÁCUO NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO CORANTE EM COGUMELOS PARIS ( <i>A. BISPORUS</i> ) .....	64
4.2.1 Cinética de impregnação a vácuo .....	64
4.2.2 Estudo Qualitativo: Influência do vácuo na impregnação de uma solução de azul de metileno nos cogumelos ( <i>A. bisporus</i> ) .....	65
4.3 INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO DE CÁLCIO E SECAGEM CONVECTIVA SOB DIFERENTES TEMPERATURAS NA CINÉTICA DE PROCESSO E NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DO COGUMELO SECO .....	66
4.3.1 Cinética de secagem convectiva a diferentes temperaturas .....	66
4.3.2 Avaliação das propriedades físico-químicas e mecânicas do cogumelo seco .....	69
4.4 INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO DE CÁLCIO E DO MÉTODO DE CONGELAMENTO COMO PRIMEIRA ETAPA DA LIOFILIZAÇÃO NA CINÉTICA DE PROCESSO E NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DO COGUMELO SECO .....	76
4.4.1 Cinética de liofilização utilizando diferentes métodos de congelamento como etapa inicial .....	76
4.4.2 Avaliação das propriedades físico-químicas e mecânicas do cogumelo seco .....	79
4.5 INFLUÊNCIA DO VÁCUO NA IMPREGNAÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO EM COGUMELO PARIS COMBINADO COM SECAGEM CONVECTIVA A 50 °C OU CONGELAMENTO A VÁCUO + LIOFILIZAÇÃO NO CONTEÚDO DE CÁLCIO DO COGUMELO SECO .....	85

<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O cogumelo Paris (*Agaricus bisporus*) é a espécie de cogumelo comestível cultivada mais comum em todo o mundo, sendo muito popular entre os consumidores devido suas propriedades sensoriais, nutricionais e funcionais (NASIRI *et al.*, 2017). Com relação às propriedades nutricionais, essa espécie apresenta alta concentração de riboflavina, niacina e minerais, especialmente fósforo. Além disso, *A. bisporus* é definido como um alimento funcional com alta concentração de fibras e baixa concentração de gordura, com ação antitumoral, antioxidante, antiviral, hipocolesterolêmica e hipoglicêmica (JEONG *et al.*, 2010).

A curta vida útil dos cogumelos, em função das elevadas taxas de respiração e atividade metabólica, é o principal problema para sua ampla distribuição e comercialização pós-colheita. A perda de qualidade dos cogumelos envolve perda de água, alterações de textura, escurecimento, desenvolvimento da tampa com total expansão do chapéu e crescimento de microrganismos (FERNANDES *et al.*, 2012).

Dentre as técnicas relatadas para aumentar a vida útil e o valor de mercado dos cogumelos, destacam-se os tratamentos químicos (lavagem com agentes antimicrobianos e anti-escurecimento) e a acidificação (CLIFFE-BYRNES; O'BEIRNE, 2008, DEROSI; PILLI; SEVERINI, 2013). Além disso, a refrigeração, o congelamento (VERMA *et al.*, 2020, FALLAH-JOSHAQANI; HAMDAMI; KERAMAT, 2021), a secagem (DAS; ARORA, 2018) e a adição de compostos de interesse, como o cálcio (FERRAZ *et al.* (2016), estão entre as técnicas aplicadas. Por exemplo, de acordo com os estudos realizados por Martín-Diana *et al.* (2007) e Ferraz *et al.* (2016), a adição de cálcio pode proporcionar a redução de alterações fisiológicas como o escurecimento enzimático. Além disso, a ingestão de cálcio é fundamental para o desenvolvimento e manutenção de tecidos dentários calcificados e para prevenir sintomas de hipocalcemia e osteoporose. Embora os produtos lácteos sejam conhecidos como a principal fonte de cálcio para a dieta humana, a fortificação com cálcio de outros produtos, como frutas, vegetais e cogumelos, oferece uma alternativa para uma dieta equilibrada e uma opção para os veganos.

Vários trabalhos da literatura relatam que minerais e vitaminas podem ser adicionados de forma rápida e controlada diretamente na estrutura porosa de diferentes matrizes alimentícias através da técnica de impregnação a vácuo (IV) (FITO; PASTOR, 1994; ZHAO; XIE, 2004; SOUZA; CARCIOFI, 2014). Esta técnica

consiste na troca do gás e/ou líquido do interior dos poros do alimento por uma solução externa, devido aos gradientes macroscópicos de pressão impostos pela aplicação de vácuo e posterior restabelecimento da pressão atmosférica. Diversos estudos citam a impregnação a vácuo de cálcio em frutas e vegetais como forma de intensificar a transferência de massa após a recuperação da pressão inicial e como pré-tratamento aos processos de secagem (OLIVEIRA, 2018, CRUVINEL et al., 2009, RODRIGUEZ et al., 2016, ORTIZ; SALVADORI; ALZAMORA, 2003, FITO et al., 2000).

A secagem industrial do cogumelo Paris ocorre, geralmente, em câmaras ou túneis com circulação de ar. Porém, devido às temperaturas elevadas do ar de secagem, e/ou o longo tempo de processo e o contato com oxigênio esse método pode gerar encolhimento excessivo, escurecimento, perda de sabor, diminuição da capacidade de reidratação dos cogumelos e redução das atividades biológicas. Como alternativa, a liofilização tem se mostrado como a melhor opção para manter as características nutricionais, cor, estrutura sabor e atividade biológica de diversos alimentos e pode fornecer boa capacidade de reidratação para matrizes porosas, como os cogumelos. No entanto, por ser um processo caro e longo, são necessários estudos que busquem alternativas para aumentar a taxa de liofilização e reduzir os custos de processo. Nesse sentido, o congelamento a vácuo tem sido proposto como uma técnica promissora para aumentar as taxas de congelamento e sublimação de frutas, vegetais e extrato de café (GHIO et al., 2000, SILVA; SCHMIDT, 2022). Isso se deve a rápida redução de temperatura que ocorre no congelamento a vácuo, através da evaporação da sua água livre e da sublimação do gelo formado, ambos a baixas pressões. Este método é especialmente vantajoso quando utilizado como primeira etapa da liofilização, pois pode reduzir o tempo total do processo de secagem (GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000; SILVA; SCHMIDT, 2019). Esta vantagem está relacionada com a matriz congelada extremamente porosa obtida durante o processo e à quantidade de água que é evaporada durante o resfriamento da amostra na primeira etapa do congelamento (GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000; SILVA; SCHMIDT, 2019). Além disso, todas as etapas da liofilização (congelamento, sublimação e dessorção) podem ser realizadas no liofilizador, reduzindo os custos envolvendo os equipamentos (GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000). Deste modo, o objetivo do presente trabalho é a produção de cogumelo Paris (*Agaricus bisporus*) fortificado com cálcio e desidratado de qualidade superior. Para tal, será avaliada a

influência da impregnação a vácuo de cálcio e do método de secagem na cinética do processo e nas características físico-químicas e mecânicas dos cogumelos (*Agaricus bisporus*).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho teve por objetivo estudar a influência da impregnação a vácuo de cálcio e do método de secagem na cinética do processo e nas características físico-químicas e mecânicas do cogumelo Paris (*Agaricus bisporus*).

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência do uso do vácuo na impregnação de cloreto de cálcio em cogumelos (*Agaricus bisporus*).
- Avaliar o efeito da temperatura na cinética da secagem convectiva e nos parâmetros de qualidade dos cogumelos fortificados com cálcio.
- Avaliar a influência do congelamento convencional por contato indireto com superfície fria e do congelamento a vácuo na cinética de secagem dos cogumelos por liofilização.
- Caracterizar os cogumelos fortificados com cálcio e submetidos a diferentes métodos/condições de secagem em relação às características físico-químicas, propriedades mecânicas, concentração de cálcio, atividade antioxidante e razão de reidratação.

## 1.2 DIAGRAMA CONCEITUAL DO TRABALHO

### INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO DE CÁLCIO E DO MÉTODO DE SECAGEM NA CINÉTICA DE PROCESSO E NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DOS COGUMELOS PARIS (*AGARICUS BISPORUS*)

#### Motivação:

- Busca por alimentos saudáveis, funcionais e com características físico-químicas e nutricionais preservadas.
- O cogumelo é uma boa fonte de proteína e nutrientes para dietas veganas/vegetarianas.
- Estender a vida útil do cogumelo.
- Escassez de estudos sobre impregnação a vácuo de cálcio em cogumelos.
- Ausência de estudos sobre a liofilização usando como primeira etapa o congelamento a vácuo em cogumelos fortificados com cálcio.

#### O que já foi feito:

- Quanto ao uso da impregnação a vácuo em cogumelos, Fattahifar *et al.* (2018) analisaram o tratamento de cogumelos (*A. bisporus*) com extrato de casca verde de pistache e Bernás e Jaworska (2015) com o uso de extrato aquoso de cebola, ambos para inibir o escurecimento enzimático de *Agaricus bisporus*. Ortiz, Salvatori e Alzamora (2003) estudaram a fortificação de cogumelos com cálcio por impregnação a vácuo analisando a concentração de cálcio e a textura, porém sem verificar as alterações físico-químicas ocasionadas nos cogumelos.
- Em termos da preservação de cogumelos, os estudos se concentram no uso de processos térmicos como o resfriamento e a secagem, no uso de métodos físicos como as embalagens em atmosfera modificada, irradiação e campo elétrico pulsado e no uso de métodos químicos como a lavagem com agentes antimicrobianos, acidificação, uso de ozônio, água eletrolisada e tratamentos de revestimentos.
- Grande parte dos estudos acerca da secagem de cogumelos envolve a combinação de pré-tratamentos (branqueamento, lavagem com compostos

químicos e desidratação osmótica) ou diferentes tecnologias de secagem (assistida por micro-ondas e ultrassom) comparadas com a secagem convectiva.

- Ghio et al. (2000) avaliaram o congelamento a vácuo e convencional de cogumelos em relação a diferentes condições de processo. Neste estudo, não são utilizados pré-tratamentos para inibição de escurecimento ou fortificação dos cogumelos e não há informações sobre o efeito do método utilizado na estrutura e qualidade do produto liofilizado.
- Em relação ao congelamento a vácuo, há pouca informação sobre o efeito do método utilizado na estrutura e qualidade do cogumelo liofilizado.

#### Hipóteses:

- O processo de impregnação do cloreto de cálcio no cogumelo Paris é influenciado pelo uso de vácuo.
- É possível preservar a atividade antioxidante dos cogumelos submetidos à impregnação a vácuo de cloreto de cálcio seguido de secagem.
- O método de secagem aplicado tem influência nas características físico-químicas, nas propriedades mecânicas, na atividade antioxidante do e na capacidade de reidratação dos cogumelos.
- A impregnação a vácuo de cloreto de cálcio e o método de congelamento influenciam na microestrutura, cor e propriedades mecânicas do cogumelo liofilizado.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 COGUMELOS COMESTÍVEIS

Os cogumelos são macro fungos com corpos de frutificação característicos que geralmente se formam acima do solo, mas também podem ser formados abaixo do solo, como as trufas (CHANG; MSHIGENI, 2013). São membros do reino *Fungi*, possuem perfil nutricional excepcional, ricos em micronutrientes comumente presentes em grãos, vegetais e carnes. Destaca-se a presença de selênio, fósforo, riboflavina, ácido pantotênico, aminoácidos, monossacarídeos e polissacarídeos associados a fibras (FEENEY; MILLER; ROUPAS, 2014). Suas proteínas são 80 % assimiláveis e digeríveis, enquanto as proteínas de origem vegetal podem chegar a ser 50 ou 60 % assimiláveis e digeríveis (MOLENA, 1986).

Na natureza são encontradas mais de 2000 espécies de cogumelos comestíveis, algumas delas são produzidas comercialmente em grandes escalas como a espécie *Lentinus edodes* e quatro outros gêneros (*Pleurotus*, *Auricularia*, *Agaricus* e *Flammulina*) (RAMOS *et al.*, 2019; VALVERDE; HERNÁNDEZ-PÉREZ; PAREDES-LÓPEZ, 2015). Houve um aumento significativo na produção e consumo de cogumelos nos últimos anos. De acordo com o banco de dados da FAOSTAT, citado por Castellanos-Reyes, Villalobos-Carvajal e Beldarrain-Iznaga (2021), a produção mundial de cogumelos e trufas cresceu de 7,5 milhões de toneladas em 2009 para 11,8 milhões de toneladas em 2019. A variedade mais cultivada e consumida é o cogumelo *Agaricus bisporus* ou Champignon de Paris, como é conhecido popularmente. Algumas das razões para a sua popularidade são os métodos de cultivo relativamente baratos e perfil nutricional, além de textura e sabor característicos (NASIRI *et al.*, 2018).

#### 2.1.1 *Agaricus bisporus*

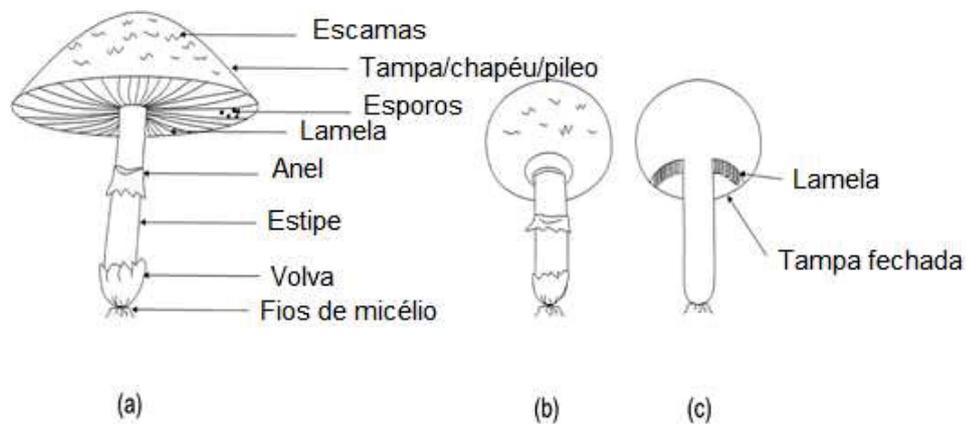
Há relatos de que a espécie *Agaricus bisporus* (*A. bisporus*) começou a ser cultivada na França na cidade de Paris, por volta do ano 1600 (FIGUEIRÊDO, 2013). O cultivo comercial foi registrado pela primeira vez em 1707, pelo botânico Joseph Pitton de Tournefort. Posteriormente, o francês Olivier de Serres foi responsável pela descoberta de que a transferência de substrato colonizado com o micélio do fungo

para um substrato fresco proveniente de palha e esterco resultava no crescimento de novos cogumelos. Este tipo de cultivo não era rentável, pois a utilização de substrato colonizado antigo em novos meios acabava favorecendo a contaminação da produção seguinte (FUNGICULTURA, 2021). No ano de 1893 foi possível o cultivo em meio estéril, tornando então viável a produção em larga escala. Além disso, através da seleção e cruzamento foi possível obter linhagens com características comuns aos cogumelos consumidos atualmente, como chapéu gordo e arredondado, hastes mais curtas, mais resistentes às contaminações bacterianas e com ciclo de cultivo mais curto (FUNGICULTURA, 2021).

*A. bisporus* faz parte do grupo dos basidiomicetos, podendo ser cultivado em diversos meios orgânicos, com diferentes composições de substratos pasteurizados (BONONI *et al.*, 1999). Geralmente, a produção ocorre em bandejas horizontais de 15 a 30 cm de profundidade ou em “camas”, nas quais as sementes são inoculadas e cobertas por uma camada superior de composto (FUNGICULTURA, 2021). Esses fungos, por meio de seu metabolismo, são capazes de secretar enzimas extracelulares que são responsáveis pela degradação dos substratos e obtenção de nitrogênio e carbono necessários para o seu desenvolvimento (DONINI *et al.*, 2005).

A estrutura de *A. bisporus* é apresentada na Figura 1, na qual é possível observar seu formato, contendo uma tampa semelhante a um guarda-chuva e um estipe cilíndrico (Figura 1a). Cogumelos jovens possuem tampas bem fechadas (Figura 1b e 1c), enquanto cogumelos mais desenvolvidos apresentam tampas mais abertas. Quando esses atingem sua maturidade completa, as tampas se abrem totalmente e ocorre a liberação dos esporos (ZHANG *et al.*, 2018).

FIGURA 1 – MORFOLOGIA DE COGUMELOS *AGARICUS BISPORUS* EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO. (a) COGUMELO MADURO; (b) COGUMELO IMATURO COM TAMPA FECHADA; (c) FATIA LONGITUDINAL DE COGUMELO IMATURO.



FONTE: Adaptada de ZHANG *et al.* (2018).

## 2.1.2 Características dos cogumelos

### 2.1.2.1 Composição química e valor nutricional

A composição química e o valor nutricional dos cogumelos são bastante variáveis conforme as espécies, o estágio de desenvolvimento e as condições de cultivo e armazenamento pós-colheita do fungo (KALAČ, 2013). De acordo com Kalač (2013), os valores médios de composição química dos cogumelos frescos em gramas de um determinado componente por quilograma de matéria seca (MS) são: proteína entre 200-250 g kg<sup>-1</sup> MS, lipídeos entre 20-30 g kg<sup>-1</sup> MS, cinzas de 80-120 g kg<sup>-1</sup> MS, sendo que diversos carboidratos compõem o restante da matéria seca.

Os cogumelos possuem elevada concentração de água em sua composição, com valores em torno de 90 % (CRISAN e SANDS, 1978). Com relação à contribuição energética, os cogumelos possuem geralmente 350-400 kcal kg<sup>-1</sup> de matéria fresca (KALAČ, 2013).

Os cogumelos são considerados uma boa fonte de proteínas, pois contêm todos os aminoácidos essenciais, sendo assim atraente para vegetarianos e veganos (WANI; BODHA; WANI, 2010). Entretanto, os dados de concentração de proteínas publicados por diferentes autores para o mesmo tipo de cogumelo são variáveis. Sadiq *et al.* (2008) verificaram que a concentração de proteína para *A. bisporus* foi de 11 %. Muszyńska *et al.* (2011) encontraram concentrações de proteínas de 18 % a 25 % e

Ahlavat *et al.* (2016) relataram concentração de proteína de 29 %. O estudo de Muszynska *et al.* (2013) apresenta os aminoácidos encontrados em maior quantidade em *A. bisporus*, sendo esses a alanina, o ácido glutâmico, o ácido aspártico, leucina, arginina, lisina, serina, fenilalanina, prolina, tirosina e treonina. Muslat *et al.* (2014) demonstraram que o cogumelo Paris contém cistina, metionina, treonina, valina, isoleucina, leucina, lisina, tirosina e fenilalanina.

Os carboidratos digeríveis presentes no cogumelo incluem o manitol, a glicose e o glicogênio, enquanto os carboidratos não digeríveis incluem oligossacarídeos como a trealose e polissacarídeos não amiláceos como a quitina (CHEUNG, 2010). De acordo com Reis *et al.* (2012), os açúcares presentes em maior quantidade nos cogumelos comestíveis são o manitol e a trealose, sendo o manitol predominante em *A. bisporus*. Nitschke *et al.* (2011) relatam uma concentração de quitina em *A. bisporus* igual a 9,60 g 100 g<sup>-1</sup> MS. Outro estudo realizado por Chernov *et al.* (2013) indicou que *A. bisporus* contém duas vezes mais quitina do que o cogumelo *Pleurotus ostreatus*.

Com relação ao conteúdo de minerais, os cogumelos são excelentes acumuladores de minerais provenientes do ambiente em que crescem. De acordo com Owaid (2015), *A. bisporus* é uma boa fonte de Fe, K, Zn, Na, Cu, Se, Ca e Mn. Outros estudos realizados por Guillamón *et al.* (2010) e Falandysz e Borovička (2012) relatam que os principais constituintes dos corpos de frutificação do cogumelo são K e P, seguidos por Ca, Mg, Na, Fe e Zn.

Os cogumelos são considerados por alguns autores como boa fonte de vitaminas. A principal vitamina presente em *A. bisporus* é a niacina, seguida pela riboflavina. Há ainda vitamina B1, ácido L-ascórbico e  $\alpha$ -tocoferol (BERNÁS; JAWORSKA, 2016). Furlani e Godoy (2008) verificaram a concentração média de vitamina B1 e B2 em *A. bisporus* fresco de 0,03 mg 100 g<sup>-1</sup> e 0,25 mg 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente. Os autores relataram que a concentração de vitamina B2 nos cogumelos frescos são superiores aos níveis encontrados em diversos vegetais. Entretanto, não podem ser considerados como fonte significativa de vitamina B1 e B2, visto que sua contribuição em termos desses compostos para a dieta não é significativa, embora possam contribuir para a soma de nutrientes na alimentação.

A concentração de lipídeos em *A. bisporus* é baixa, porém esse cogumelo contém alguns ácidos graxos essenciais. Segundo o estudo conduzido por Sadiq *et al.* (2008), os ácidos graxos presentes nessa espécie são os ácidos linoleico, caprílico, palmítico, esteárico, oleico, eicosanóico e erúcido, sendo o ácido linoleico dominante

com 44 % do total de ácidos graxos identificados. Shao *et al.* (2010) também verificaram as concentrações de lipídeos em *A. bisporus*, ressaltando a presença de ácido linoleico, palmítico e esteárico.

#### 2.1.2.2 Propriedades funcionais

Um alimento funcional é definido como “qualquer alimento ou ingrediente alimentar que proporcione um benefício à saúde além dos nutrientes tradicionais que contém” (MAZZA, 1998). Geralmente, esse termo está relacionado a produtos ricos ou fortificados com minerais e vitaminas, probióticos, fibra alimentar, antioxidantes e redução do colesterol (ALZAMORA *et al.*, 2005).

Os cogumelos são considerados como alimentos funcionais com alta concentração de fibra alimentar e baixa concentração de gordura. Os compostos bioativos presentes nos cogumelos são fenólicos, tocoferóis, ácidos graxos insaturados, polissacarídeos ( $\beta$ -glucanos), proteínas, glicoproteínas, ergosteróis e lectinas (GAOXING *et al.*, 2018). Além disso, possuem ação antitumoral, antioxidante, antiviral, hipocolesterolêmica e hipoglicêmica (CHEUNG, 2010). Novaes *et al.* (2011) apontaram que a arginina presente nos corpos de frutificação de *A. bisporus* retarda o crescimento de tumores e a metástase, devendo ser utilizada como suplemento dietético para pacientes com câncer. A pesquisa de Chen *et al.* (2006) também aponta que os principais compostos ativos em *A. bisporus* são ácidos graxos insaturados, como o ácido linoleico e linolênico, os quais demonstraram inibir a atividade da aromatase. De acordo com Chen *et al.* (2012), *A. bisporus* contém 565,4 mg kg<sup>-1</sup> de lovastatina, capaz de reduzir o nível de colesterol no soro e/ou fígado. Calvo *et al.* (2016) mostraram que *A. bisporus* apresenta uma variedade de compostos com potenciais anti-inflamatórios e antioxidantes benéficos para a saúde que podem ocorrer com o consumo frequente em adultos predispostos ao diabetes tipo 2. O estudo de Oms-Oliu *et al.* (2010) apresenta o conteúdo fenólico de cogumelos *A. bisporus* minimamente processados com valores de 100,78 a 100,32 mg 100 g<sup>-1</sup>. Liu *et al.* (2013) determinaram os principais compostos fenólicos presentes no extrato etanólico de *A. bisporus*, sendo eles o ácido gálico, ácido protocatecuico, catequina, ácido cafeico, ácido ferúlico e miricetina. Ademais, os cogumelos são os únicos alimentos de origem não animal que contêm vitamina D. A luz UV solar ou artificial estimula a conversão do ergosterol em vitamina D<sub>2</sub> por meio de várias reações

térmicas e fotoquímicas, em quantidades elevadas que superam as necessidades diárias de vitamina D dos seres humanos (CARDWELL *et al.*, 2018).

### 2.1.3 Fatores que afetam a qualidade dos cogumelos frescos

Os cogumelos perdem sua qualidade rapidamente durante o armazenamento pós-colheita, devido a sua alta concentração de água e alta taxa de respiração. Os principais parâmetros relacionados à degradação da qualidade são a perda de umidade, alterações de textura, alterações de cor, deterioração microbiana, redução de nutrientes e desenvolvimento da tampa. Esses fatores limitam a vida útil dos cogumelos a poucos dias, cerca de 1 a 3 dias em temperatura ambiente ou de 5 a 7 dias em armazenamento refrigerado. A alta perecibilidade dos cogumelos pode ser atribuída à ausência de uma camada de cutícula protetora contra danos mecânicos, ataque microbiano ou perda de água, além de sua elevada taxa de respiração, a qual é cerca de  $200\text{--}500 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  a  $20 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$  para a espécie *A. bisporus* (ROYSE *et al.*, 2014; JIAN, 2013; FAROKHIAN *et al.*, 2017; KUMAR; SINGH; SINGH, 2013; SINGH *et al.*, 2010; ARES *et al.*, 2006).

Os fatores que afetam a qualidade dos cogumelos frescos podem ser classificados em fatores internos relacionados com as características do próprio cogumelo (taxa de respiração, concentração de água e atividade microbiana) e fatores externos relacionados ao armazenamento pós-colheita (temperatura de armazenamento, umidade relativa e danos mecânicos) (ZHANG *et al.*, 2018).

A taxa de respiração é um fator que pode indicar o envelhecimento fisiológico dos cogumelos frescos e é afetada pela temperatura e o tempo de armazenamento (AZEVEDO; CUNHA; FONSECA, 2015). O aumento da taxa de respiração está associado à redução da massa e ao escurecimento dos cogumelos durante o armazenamento. Além disso, elevadas temperaturas e alta umidade aceleram o processo de escurecimento (XU *et al.*, 2016; LIN; SUN, 2019). A concentração de água tem grande influência na qualidade dos cogumelos, pois seu valor elevado está relacionado à estabilidade microbiana, oxidação lipídica, atividade enzimática e não enzimática e à mudança na textura dos cogumelos. A atividade microbiana está ligada ao uso de compostagem durante o cultivo dos cogumelos, ocasionando contaminações iniciais elevadas, chegando a valores de 5,2 a 12,4 log unidades

formadoras de colônias (UFC) g<sup>-1</sup> (ROSSOUW; KORSTEN, 2017). A alta carga microbiana pode diminuir a qualidade dos cogumelos, promovendo escurecimento, manchas e deterioração (ZHANG *et al.*, 2018).

Dentre os fatores extrínsecos, a temperatura é o mais importante na qualidade pós-colheita dos cogumelos, uma vez que grande parte das reações de deterioração bioquímica, física e microbiológica depende da temperatura. Em temperaturas mais altas ocorre o aceleração da senescência, perda de massa, perda de textura e o escurecimento dos cogumelos (QUE; VERLINDEN; NICOLAU, 2017). A umidade relativa do ar também deve ser controlada, pois a baixa umidade pode produzir perdas excessivas de água e, conseqüentemente, a redução do turgor, fechamento dos poros e aumento da atividade enzimática (ZHANG *et al.*, 2018).

Perdas de massa superiores a 5 % da massa do cogumelo fresco geram reduções significativas na qualidade do produto (MAHAJAN *et al.*, 2008). Entretanto, valores de umidade relativa do ar muito altos podem ocasionar a condensação da água na superfície do cogumelo, favorecendo o crescimento indesejável de microrganismos que eventualmente causam sua decomposição (RUX *et al.*, 2015). Os danos mecânicos são um fator importante, pois afetam a cor dos cogumelos, a qual é um atributo de qualidade bastante relevante na decisão de compra desses (principalmente nas variedades brancas) (MISHRA; GAUTAM; SHARMA, 2013). A superfície dos cogumelos é propensa ao escurecimento devido à atividade enzimática ou contaminação microbiana e pelos danos mecânicos durante o manuseio e transporte (QUEVEDO *et al.*, 2016). A principal enzima responsável pelo escurecimento enzimático dos cogumelos é a polifenoloxidase (PPO) (LEI *et al.*, 2018). Dois tipos de polifenoloxidase são identificados como agentes de escurecimento do cogumelo Paris, a tirosinase e a lacase. A tirosinase é a enzima que catalisa a etapa inicial de biossíntese da melanina e as etapas sequenciais de oxidação com diversos substratos fenólicos, enquanto a atuação da lacase é limitada devido a seus baixos níveis (JOLIVET *et al.*, 1998). Nas reações catalisadas por enzimas, a substância fenólica é oxidada em quinonas, as quais posteriormente são convertidas em melanina, responsáveis pela aparência de escurecimento dos produtos (DING *et al.*, 2016).

Diante do exposto, os fatores controláveis como umidade, temperatura, forma de armazenamento pós-colheita, carga microbiana e atividade de PPO são os tópicos

mais comuns em estudos de conservação dos cogumelos (GANTNER *et al.*, 2017; GHASEMI-VARNAMKHAJASTI *et al.*, 2018; JOSHI *et al.*, 2018).

## 2.2 PROCESSAMENTO/CONSERVAÇÃO DE COGUMELOS

Diversas técnicas estão disponíveis para conservação de cogumelos, sendo o resfriamento o método mais comum para estender a vida útil dos produtos frescos. Entretanto, o efeito inibitório do resfriamento sobre o escurecimento é limitado e outras técnicas como armazenamento em embalagem com atmosfera modificada (SALAMAT, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2012), irradiação (FERNANDES *et al.*, 2013; GUAN *et al.*, 2013), revestimento (MOHEBBI *et al.*, 2012; NASIRI *et al.*, 2017), tratamento com ozônio (AKATA, TORLAK e ERCI, 2015; ZALEWSKA *et al.*, 2021), uso de agentes antiescurecimento (BRENNAN *et al.*, 1999; BRENNAN *et al.*, 2000; SINGLA, GANGULI e GHOSH, 2012; HU *et al.*, 2016) e secagem (ARGYROPOULOS; HEINDL; MÜLLER, 2011; SHAMS; SINGH; DASH; DAR, 2022) têm sido estudadas por vários pesquisadores a fim de se obter a forma mais eficaz de aumentar a vida útil de *A. bisporus*.

Dentre as técnicas de preservação tem-se também a incorporação de compostos de interesse para melhorar a qualidade e aumentar a vida útil dos cogumelos. São utilizados compostos como vitaminas (HIRONAKA *et al.*, 2011), minerais (ERIHEMU *et al.*, 2014), probióticos (RODRIGUES, 2013), compostos bioativos (YILMAZ *et al.*, 2018), antimicrobianos (LAGNIKA *et al.*, 2013), agentes redutores de pH (GUPTA *et al.*, 2016) e agentes antiescurecimento (FATTAHIFAR *et al.*, 2018).

A adição de compostos de interesse além de preservar o alimento pode torná-lo um produto funcional. Esses alimentos incluem componentes alimentares presentes ou adicionados para facilitar ou aumentar o consumo de um composto de interesse (uma vitamina ou mineral específico), o qual pode fornecer um benefício adicional à saúde, além dos nutrientes tradicionais que contêm (HASLER, 1998). Em particular, o cálcio é um mineral fundamental para o corpo humano e a baixa ingestão desse é um dos fatores de risco para osteoporose (ORTIZ *et al.*, 2003). Para pessoas com restrição de consumo de produtos animais, uma forma de ingestão adicional desse micronutriente pode ser obtida através de frutas e vegetais impregnados com cálcio.

O interesse em alimentos funcionais tem crescido nos últimos anos, com isso diferentes formas de incorporar essas substâncias nos alimentos têm sido estudadas. A incorporação de compostos de interesse na matriz de alimentos sólidos pode ser realizada por imersão a pressão atmosférica (MARTINS *et al.*, 2016), sob vácuo (LIN *et al.*, 2006; DEROSSI *et al.*, 2010; HIRONAKA *et al.*, 2011) e por desidratação osmótica (ROZEK *et al.*, 2010, FERRARI *et al.*, 2013). Dentre as técnicas de incorporação, a impregnação a vácuo (IV) apresenta vantagem de permitir a introdução das substâncias dissolvidas ou dispersas em uma fase líquida diretamente na estrutura porosa de um alimento em um curto intervalo de tempo (SALVATORI *et al.*, 1998). É, portanto, um dos métodos mais rápidos que pode ser utilizado na incorporação de substâncias nas matrizes alimentares.

### 2.2.1 Impregnação a vácuo de alimentos porosos

O primeiro estudo sobre a impregnação de minerais à matriz de frutas e vegetais por IV foi apresentado por Fito *et al.* (2001) onde íons de cálcio e ferro foram impregnados em casca de laranja e berinjela. Além disso, os autores propuseram um modelo matemático para calcular a concentração de soluto do meio de impregnação para formular alimentos funcionais com a adição de diferentes sais de cálcio e ferro, a fim de atender a ingestão diária recomendada. Barrera *et al.* (2004) também avaliaram a impregnação de cálcio e ferro em tecido de maçã. A IV mostrou maior efetividade em comparação com a desidratação osmótica, e os níveis de íons cálcio e ferro impregnados foram semelhantes em soluções hiper e hipotônicas. Estes estudos sugerem que o método de impregnação a vácuo pode ser usado para a incorporação de minerais em matrizes de frutas e vegetais.

O processo de impregnação a vácuo (IV) de um alimento poroso corresponde à troca do líquido ou gás proveniente do interior dos poros por um líquido externo. Isso ocorre pela ação de gradientes de pressão gerados pela aplicação de vácuo e posterior restabelecimento da pressão atmosférica (FITO, 1994; FITO; PASTOR, 1994; FITO *et al.*, 1996).

O método de IV pode ser realizado nos alimentos em um único ciclo ou em ciclos consecutivos, sendo que cada ciclo é composto pelas seguintes etapas: primeiro ocorre a imersão do alimento na solução, seguida da aplicação de uma pressão subatmosférica ( $p_1$ ) por um dado período de tempo ( $t_1$ ). Nesta etapa a

pressão dos poros passa a ser maior que a pressão externa, promovendo a deformação capilar e aumento do volume com a expansão dos gases internos. Os gases e líquidos nativos do interior dos poros e do sistema capilar migram parcialmente devido à mudança de pressão e o líquido externo ocupa parcialmente o capilar. Esses eventos ocorrem simultaneamente até que o equilíbrio seja atingido. Ao alcançar a pressão de equilíbrio mantem-se o sistema nesta pressão por algum tempo e no estágio final a pressão atmosférica ( $p_2$ ) é restabelecida e a amostra mantida em solução por um período de tempo ( $t_2$ ). Nesta etapa, o gás residual da amostra se comprime, conduzindo à impregnação dos poros do alimento pela solução externa. (BARAT *et al.*, 2006; BETORET *et al.*, 2015; CARCIOFI; PRAT; LAURINDO, 2012; YANG *et al.*, 2017). Esta técnica promove rápida mudança na composição do produto, com alterações das condições para a transferência de massa (FITO *et al.*, 1996; BARAT *et al.*, 2005).

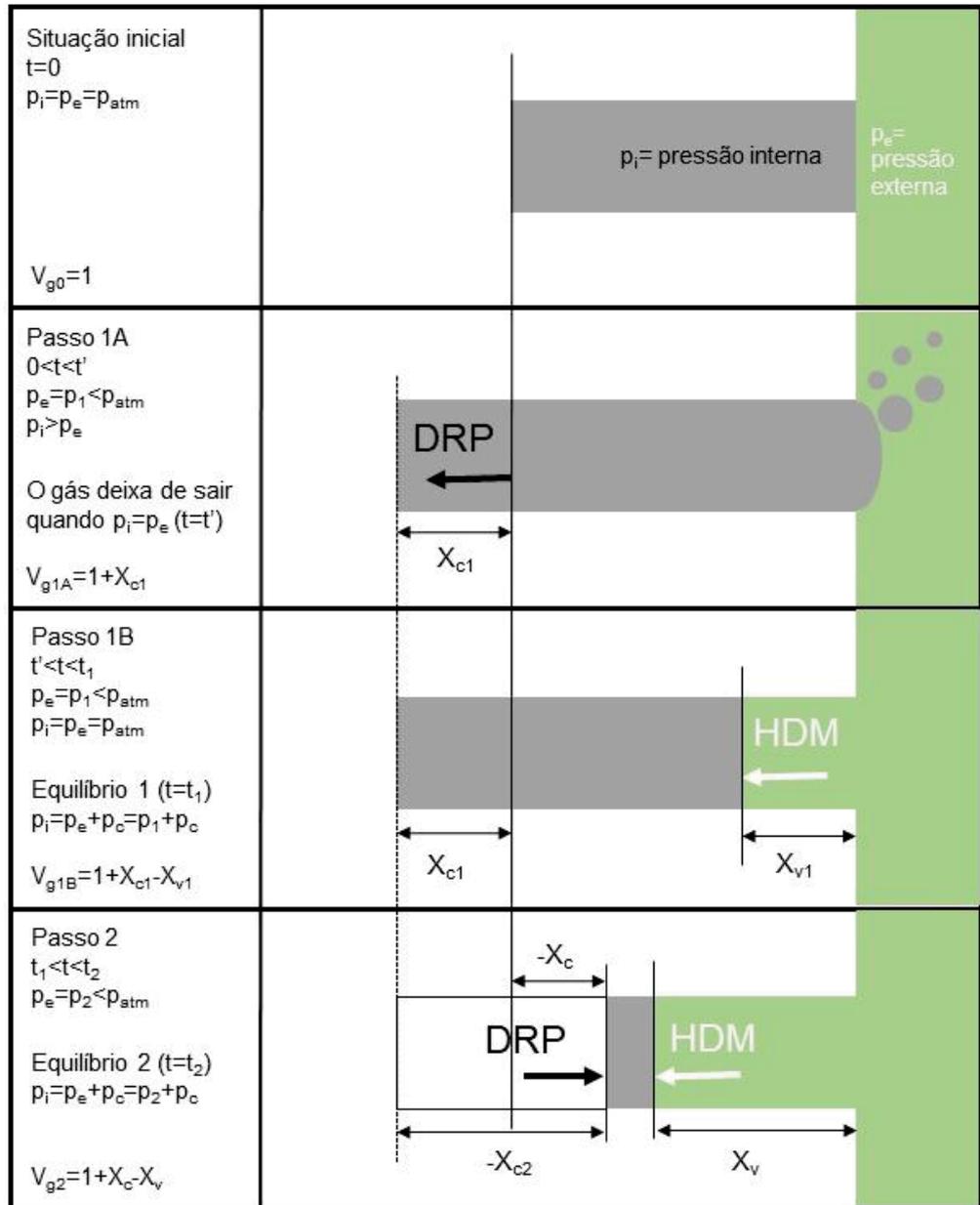
Fito (1994) e Fito e Pastor (1994) desenvolveram o primeiro modelo matemático para descrever como líquidos penetram em alimentos porosos durante um processo de vácuo, onde o transporte de substâncias não pode ser explicado apenas pela difusão ou pela osmose. Esse modelo, chamado de Mecanismo Hidrodinâmico (HDM), considera a influência da pressão capilar e do gradiente de pressão macroscópica como os principais impulsionadores do processo, que ocorrem quando se aplica vácuo e depois se restaura a pressão atmosférica.

Fito *et al.* (1996) aprimoraram esse modelo ao considerar os efeitos da deformação e relaxamento da matriz alimentar durante ambas as fases do processo de vácuo. Além disso, trataram a matriz alimentar como um material viscoelástico.

O processo de IV em um produto poroso, com ação do HDM acoplado ao DRP é esquematizado na Figura 2, onde Fito *et al.* (1996) modelaram os passos característicos desse processo a partir da análise em um poro cilíndrico ideal. No início do processo de IV a tendência é de que o volume do alimento aumente, devido a expansão do gás presente no interior dos poros. Isto ocorre até que se atinja a pressão de equilíbrio, ou seja, até que a pressão interna se iguale a pressão externa. Ocorre então a relaxação da amostra com entrada capilar de líquido, além disso, há saída de líquido nativo dos poros carregado pelo gás que é liberado da amostra. Em seguida, o efeito da compressão pode ocasionar a deformação do volume e relaxação da matriz, simultaneamente com o preenchimento de líquido nos poros, através da ação do Mecanismo Hidrodinâmico. Os tempos característicos de penetração e de

deformação-relaxação, responsáveis pela deformação do alimento no equilíbrio e pela impregnação final, são definidos pelas propriedades mecânicas da matriz alimentar e pelas propriedades de escoamento do líquido externo (FITO *et al.*, 1996; FITO; CHIRALT, 2000).

FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO HDM ACOPLADO COM O DRP EM UM PORO IDEAL.



FONTE: Adaptada de FITO *et al.* (1996).

Através do modelo apresentado por Fito *et al.* (1996) pode-se compreender a relação entre a fração volumétrica da amostra impregnada ( $X$ ) e a fração volumétrica da amostra deformada ( $\gamma$ ), com a porosidade efetiva da amostra ( $\varepsilon_e$ ), a taxa de compressão no período de relaxação ( $r_2$ ) e a deformação no final da aplicação de vácuo ( $\gamma_1$ ), conforme descrito pela equação 1

$$X - \gamma = (\varepsilon_e + \gamma) \left(1 - \frac{1}{r_2}\right) + \gamma_1 \quad (1)$$

Sendo os parâmetros  $\gamma_1$  e  $\gamma$  adimensionais e definidos como  $\gamma_1 = \Delta V_1/V_o$  e  $\gamma = \Delta V/V_o$ . A variável  $\Delta V_1$  representa a deformação do volume da amostra no final da etapa de vácuo (etapa 1B, fig. 2),  $\Delta V$  a deformação do volume da amostra final do processo de impregnação a vácuo (etapa 2, fig. 2) e  $V_o$  é o volume inicial da amostra.

Definir a variável  $\gamma_1$  experimentalmente é um processo difícil, mas em situações em que se trabalha a pressões relativamente baixas,  $r_2$  é alto, e, portanto,  $(X - \gamma) r_2 \gg \gamma_1$ . Desta forma, a fração volumétrica do alimento poroso impregnado durante um processo de IV pode ser determinada por

$$X - \gamma = (\varepsilon_e + \gamma) \left(1 - \frac{1}{r_2}\right) \quad (2)$$

Considerando que não haja deformação,  $\gamma$  é igual a zero e a equação (2) torna-se

$$X = \varepsilon_e \left(1 - \frac{1}{r_2}\right) \quad (3)$$

conforme previsto para o HDM sem deformação (Fito e Pastor, 1994).

De acordo com Paes (2005) existem algumas características que dificultam a utilização prática do modelo apresentado por Fito *et al.* (1996):

- a) O modelo é baseado nas condições de equilíbrio do processo, entretanto, os tempos necessários para se alcançar o equilíbrio no passo 1 (vácuo) e no passo 2 (pressão atmosférica) não são conhecidos e a variável tempo não é considerada no modelo.
- b) O modelo possui uma boa capacidade de predição da fração volumétrica da amostra impregnada ( $X$ ) apenas quando não acontece deformação (devido à dificuldade de determinação experimental da variável  $\gamma_1$ ).

#### 2.2.1.1 Aplicações da IV

A impregnação a vácuo também tem sido aplicada para reduzir o tempo de salga (CHIRALT *et al.*, 2001) de carnes (DEUMIER, *et al.*, 2003; AYKIN-DINÇER,

2021), queijos (ANDRÉS, 1995; FITO; PASTOR, 1994; HOFMEISTER *et al.*, 2005) presunto (BARAT *et al.*, 2005), frango (SCHMIDT, 2006), carne de peru (GOLI *et al.*, 2011) e peixes (CAPACCIONI *et al.*, 2011). A realização do processo de salga a vácuo promove a entrada de sal de forma acelerada pela combinação do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) e pelos fenômenos difusivos promovidos pelas diferenças de concentrações entre o produto e a solução.

Pode-se ainda utilizar a técnica de IV para incorporar agentes antiescurecimento (PEREZ-CABRERA *et al.*, 2011) e crioprotetores (CRUVINEL *et al.*, 2009; MEURER, 2019) nos alimentos. Outro exemplo é a adição de microrganismos probióticos em goiaba minimamente processada por meio da aplicação da IV avaliada por Rodrigues (2013). As pesquisas relacionadas aos compostos bioativos são diversas em vários tipos de alimentos como maçã minimamente processada (YILMAZ *et al.*, 2018), batata doce pronta para o consumo (ABALOS *et al.*, 2020) e ostras (CARGNIN, 2017).

Grande parte dos estudos de fortificação com minerais por IV envolvem os tecidos vegetais. Mashkour, Maghsoudlou, Kashaninejad e Aalami (2018) avaliaram o enriquecimento de ferro em tubérculo de batata por impregnação a vácuo (IV) com pré-tratamento por ultrassom (US). Os resultados obtidos indicaram que os processos IV e US+VI aumentaram significativamente o teor de ferro das batatas em cerca de 137,5 e 210%, respectivamente. Hironaka *et al.* (2011) estudaram o enriquecimento de tubérculos de batata inteiros com ácido ascórbico através da IV. Os resultados mostraram que a concentração de ácido ascórbico nas batatas inteiras aumentou em dez vezes (150 mg 100 g<sup>-1</sup> de peso fresco) e poderia fornecer à adultos de 90-100% da dose diária recomendada para a vitamina. O estudo de Gras *et al.* (2011) sobre a produção de alface americana enriquecida com cálcio apresentou concentração de cálcio da ordem dos laticínios (64 mg Ca<sup>2+</sup> por 100 g) após a fortificação da alface com cálcio através da IV.

Lima *et al.* (2016) também estudaram o enriquecimento com cálcio em snacks de abacaxi e relatou efeitos positivos na qualidade geral do produto. Os autores demonstraram que os produtos impregnados a vácuo apresentaram concentração de cálcio 91% maior do que os abacaxis impregnados à pressão atmosférica e que a impregnação com cloreto de cálcio aumentou as taxas de secagem e influenciou positivamente as propriedades físicas do produto seco por convecção.

Ortiz, Salvatori e Alzamora (2003) estudaram a fortificação de cogumelos com cálcio por impregnação a vácuo e verificaram que devido à alta fração líquida impregnada (17 - 40 %), o cálcio incorporado em 100 g de cogumelo satisfaria cerca de 24 - 32 % da Ingestão Adequada diária (AI) do mineral, havendo muito potencial para a introdução de alta concentração de cálcio no tecido do cogumelo por meio da impregnação a vácuo.

### 2.2.2 Métodos de secagem aplicados a cogumelos

Quando o objetivo é preservar os cogumelos por longos períodos, mantendo suas características sensoriais e nutricionais, a secagem é o principal método escolhido. O princípio de conservação da secagem está ligado à redução do conteúdo de água no alimento de tal modo que as concentrações de açúcares, sais, ácidos e outros componentes sejam suficientemente altas para reduzir a atividade de água, impedindo o crescimento de microrganismos deteriorantes e reduzindo as taxas das reações de deterioração química e enzimática (TRAVAGLINI et al., 1993; CELESTINO, 2010). Além disso, a secagem promove maior facilidade de transporte, armazenamento e manuseio do produto final, seja ele para o consumo na forma direta, ou como ingrediente na elaboração de outros produtos alimentícios (TRAVAGLINI et al., 2001). Entretanto, dependendo do método de secagem utilizado, o processo pode provocar mudanças prejudiciais à integridade dos tecidos, afetando a qualidade do produto desidratado (CELESTINO, 2010).

De modo geral, a secagem ocorre por meio do fornecimento de calor ao material que contém água, com o objetivo de remover a água ou qualquer outro líquido do alimento na forma de vapor para o ar não saturado, obtendo-se um alimento sólido seco. A secagem convencional de cogumelos com ar quente (secagem convectiva) normalmente ocorre em temperaturas entre 50 a 70 °C, envolvendo ou não pré-tratamento como o branqueamento ou pré-tratamento químico. Após longos períodos de duração, essas condições de processo geram superaquecimento da superfície, escurecimento, perda de sabor, encolhimento excessivo e redução da capacidade de reidratação. Como os cogumelos são muito sensíveis à temperatura, definir o método de secagem adequado é fundamental para se obter um produto de alta qualidade. Neste contexto, a liofilização apresenta-se como principal alternativa, em função do processo ocorrer a baixas temperaturas e sob vácuo. Para tal, o alimento é congelado

e, no liofilizador, sob vácuo, ocorre a desidratação por sublimação do gelo e dessorção da água ligada. Dentre as vantagens desse método, destaca-se uma degradação mínima de compostos termossensíveis e uma capacidade de reidratação do produto seco elevada (CELESTINO, 2010).

Na sequência, são abordados a secagem de cogumelos, com destaque para a secagem convectiva ou convencional e a liofilização que são objetos de estudo desta dissertação.

#### 2.2.2.1 Secagem convectiva

A secagem convectiva é uma operação amplamente aplicada na indústria de alimentos e possui desafios relacionados com as alterações no produto como, por exemplo, mudanças indesejáveis na cor, aroma e textura, decorrentes de sua prolongada exposição ao calor e/ou das altas temperaturas utilizadas (RATTI, 2001). Os desafios são ainda maiores quando se trata de produtos sensíveis à elevadas temperaturas, como é o caso dos cogumelos. Desta forma, outros métodos têm sido avaliados como a secagem a vácuo, micro-ondas, ultrassom e liofilização.

Walde et al. (2006) avaliaram os efeitos de diferentes pré-tratamentos e métodos de secagem na desidratação de cogumelos botão (*Agaricus bisporus*) e cogumelos ostra (*Pleurotus flavus*). Os pré-tratamentos avaliados foram: (i) branqueamento e (ii) branqueamento seguido de imersão em metabissulfito de potássio, soro de leite fermentado ou coalhada. Na sequência foi avaliada a secagem em cabine com ar quente, em leito fluidizado, a vácuo e por micro-ondas. Para ambos os cogumelos, o pré-tratamento por imersão em coalhada ou soro fermentado reduziu o tempo de secagem em todos os tipos de secadores. O tempo de secagem para reduzir a umidade de 7,5 % (b.s.) para 2,0 % (b.s.) foi menor para o forno micro-ondas, seguido do secador de leito fluidizado, secador de gabinete e secador a vácuo. Os coeficientes de difusão avaliados também seguiram a mesma ordem. A secagem por micro-ondas nas condições utilizadas (700W) pelos autores não se apresentou como um método adequado para a secagem de cogumelos, pois foi verificada a carbonização das bordas. Em vista do tempo de secagem e qualidade dos cogumelos, a secagem em leito fluidizado foi a que proporcionou os melhores resultados.

Giri e Prasad (2007) apresentaram a cinética de secagem e características de reidratação de cogumelos secos (*Agaricus bisporus*) por micro-ondas a vácuo e ar

quente. A secagem por micro-ondas a vácuo das fatias de cogumelos de 6 a 14 mm de espessura foi operada na faixa de potência de 115 a 285 W e faixa de pressão de 6,5 a 23,5 kPa. A secagem convectiva das amostras foi realizada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. A secagem por micro-ondas a vácuo resultou em redução de 70 a 90 % no tempo de secagem e os produtos secos tiveram melhores características de reidratação em comparação com os obtidos por secagem por ar quente.

Szadzińska, Mierzwa e Musielak (2022) estudaram a secagem convectiva assistida por ultrassom de cogumelos brancos (*Agaricus bisporus*) incluindo a secagem convencional com ar quente como referência. Foi utilizado um secador de laboratório híbrido, equipado com sistema de ultrassom aerotransportado. Os autores verificaram que independentemente da temperatura do ar, o uso do ultrassom teve um efeito positivo na cinética de secagem. Além disso, observaram que em temperaturas mais baixas houve uma menor mudança de cor das amostras em comparação com o processo exclusivamente convectivo, enquanto em temperatura mais elevada tais diferenças não foram encontradas. A concentração total de polifenóis, independente da temperatura, foi maior com a utilização de ultrassom e a atividade de água foi menor que 0,4 para ambos os métodos avaliados.

Das e Arora (2018) avaliaram a aplicação alternada de micro-ondas e ar quente para secagem rápida de cogumelos, sendo a aplicação de micro-ondas feita a cada 10, 20 e 40 minutos de secagem convectiva. Os autores verificaram que o tempo ideal de aplicação foi de  $20 \pm 3$  minutos com base no tempo mínimo de secagem e nos atributos de qualidade. A comparação com a secagem convencional mostrou que a aplicação de micro-ondas foi eficaz em reduzir o tempo de secagem e melhorar a qualidade do produto (baixa atividade de água, cor mais clara e maior taxa de reidratação).

González-Pérez et al. (2019) estudaram a transferência de massa e características morfométricas de cogumelos brancos frescos e osmodesidratados durante a secagem convectiva. Os autores realizaram o pré-tratamento de desidratação osmótica (25 % NaCl, 80 °C, 180 min) combinado com a secagem convectiva (50, 65 e 80 °C, velocidade do ar de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ ) e verificaram que o pré-tratamento aplicado afetou significativamente a secagem convectiva do cogumelo branco, diminuindo o tempo de secagem, o encolhimento e a deformação nas condições experimentais aplicadas. Além disso, apontam que os resultados sugerem que o pré-tratamento de desidratação osmótica combinado com a secagem

convectiva pode reduzir os requisitos de energia para a evaporação da água durante a secagem, mesmo que o tempo total do processo seja aumentado.

#### 2.2.2.2 Liofilização

Embora várias alternativas/condições de secagem venham sendo explorados para melhorar a qualidade dos cogumelos desidratados, a liofilização ainda é a técnica que permite obter um produto de maior qualidade. O princípio da técnica de liofilização está relacionado com a mudança nos três estados da água. De acordo com a teoria do equilíbrio termodinâmico de fases, durante a transição de fases da água, quando a pressão se encontra abaixo do ponto triplo (4,579 mmHG), sólido, líquido e vapor coexistem em equilíbrio termodinâmico, o que permite que o gelo sólido sublima diretamente para vapor de água sem passar pelo estado líquido (HAN-SHAN et al., 2008; GUO-YAN et al. 2010). Conforme o gelo sublima, a interface de sublimação, que se inicia na superfície externa do material, recua e uma camada porosa de material seco é formada. A água vaporizada é então transportada através dessa camada porosa (GEORGE; DATTA, 2002). Entretanto, a força motriz da pressão de vapor na liofilização é muito baixa em comparação com os métodos de secagem convencionais, fazendo com que o tempo de secagem seja mais longo, o que resulta em custos de secagem relativamente altos. Por esta razão, a liofilização acaba sendo economicamente viável apenas para produtos de alto valor agregado, como frutas ricas em vitaminas, café e cogumelos (GEORGE; DATTA, 2002). Shams et al. (2022) realizaram um estudo comparativo da liofilização e da secagem de gabinete de cogumelos (*Agaricus bisporus*). As amostras liofilizadas apresentaram maior  $L^*$  (73,39) do que a secagem em gabinete ( $L^* = 60,32$ ), e menor  $a^*$  e  $b^*$  de 0,89 e 10,22, respectivamente, do que a secagem em gabinete ( $a^* = 3,04$  e  $b^* = 12,26$ ). Deste modo, a liofilização pode ser considerada um método de secagem adequado para cogumelos brancos, pois reduz as alterações de cor dos cogumelos desidratados e permite obter um produto de melhor qualidade. Visando alcançar a preservação das características nutricionais e funcionais dos cogumelos, assim como a redução do tempo e custo do processo de liofilização, a aplicação de um método de congelamento eficiente, como o congelamento a vácuo, é proposto neste estudo.

Para auxiliar na compreensão da secagem por liofilização pode-se dividir o processo em três etapas: (i) congelamento, (ii) sublimação do gelo formado (secagem primária) e (iii) dessorção da água ligada (secagem secundária).

*(i) congelamento:*

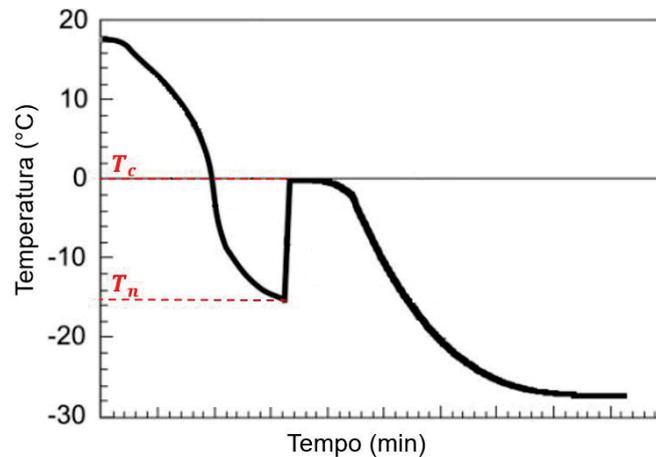
A etapa de congelamento é crucial ao processo de liofilização, pois nesta etapa são formados os cristais de gelo e o espaço ocupado por eles serão os canais por onde o vapor de água será transportado durante a secagem. O congelamento rápido forma cristais de gelo extremamente pequenos que causarão um dano menor à membrana e parede celular quando comparado ao processo lento em que são formados grandes cristais de gelo. Normalmente o congelamento ocorre por contato com superfície e ar frios (processo lento) e conseqüentemente uma matriz com poros grandes é obtida, isto irá facilitar o transporte de vapor de água durante a sublimação, no entanto, quanto maior os cristais de gelo maiores os danos que poderão causar na matriz celular (KATILI; BONASSI; ROÇA, 2006).

Os métodos de congelamento mais comuns são o uso de ar frio ou o contato do produto com superfícies resfriadas e o congelamento criogênico através da imersão em nitrogênio líquido (HARGUINDEGUY; FISSORE, 2019). Moro e Gormley (1999) compararam o congelamento lento (por contato com superfície fria), congelamento rápido (túnel de ar) e ultra-rápido (imersão em nitrogênio líquido) aplicados a cogumelos Paris e relataram que apenas o congelamento criogênico foi satisfatório para preservar a qualidade dos cogumelos.

Outra técnica que pode ser utilizada quando se pretende um rápido decréscimo da temperatura é o congelamento a vácuo, o qual consiste na remoção do calor do produto por meio da evaporação da sua água livre e da sublimação do gelo formado, quando esse é submetido a baixas pressões em uma câmara de vácuo (SATO; FUSHINOBU, HASHIMOTO, 2002; CHENG; LIN, 2007; COGNÉ *et al.*, 2013). No entanto, essa é uma via ainda pouco explorada e apresenta-se como uma opção de congelamento como primeira etapa do processo de liofilização.

O processo de congelamento a vácuo da água pura é representado na Figura 3. Pode-se dividir o processo em três etapas: (i) resfriamento por evaporação; (ii) congelamento isotérmico e (iii) congelamento por sublimação (ZHANG; GAO; ZHANG, 2016).

FIGURA 3 - EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DURANTE O CONGELAMENTO A VÁCUO DA ÁGUA PURA.



FONTE: Adaptada de SATOH; FUSHINOBU; HASHIMOTO (2002).

Na fase de resfriamento através da evaporação, a água começa a evaporar quando a pressão na câmara é reduzida até a pressão de saturação correspondente à temperatura inicial da amostra. A energia latente necessária para a evaporação é fornecida pela própria amostra, levando-a a esfriar (CHENG; LIN, 2007; SCHMIDT; ARAGÃO; LAURINDO, 2010; ZHANG; GAO; ZHANG, 2016). A temperatura da água é reduzida abaixo do ponto de congelamento ( $T_c$ ) sem que ocorra a mudança de fase. Esse fenômeno é conhecido como super-resfriamento e representa um estado metaestável em que a solução permanece líquida, mesmo a temperaturas abaixo do ponto de congelamento. Isso acontece porque as moléculas de água estabelecem ligações de hidrogênio com uma estrutura molecular semelhante à dos cristais de gelo, formando aglomerados. No entanto, esse processo consome uma quantidade significativa de energia e resulta na rápida formação e quebra dos aglomerados moleculares, até que um número suficiente de moléculas se una para formar um aglomerado termodinamicamente estável, chamado de núcleo crítico. Esse núcleo crítico fornece a superfície adequada para o crescimento dos cristais de gelo. Uma vez que o núcleo crítico se forma, o processo de nucleação começa (PETZOLD; AGUILERA, 2009; KASPER; FRIESS, 2011; DALVI-ISFAHAN et al., 2017; ASSEGEHEGN et al., 2019; ARSICCICIO; PISANO, 2020). Quando a pressão na câmara atinge a pressão correspondente à temperatura de nucleação ( $T_n$ ), o primeiro núcleo de gelo se forma (CHENG; LIN, 2007; SCHMIDT; ARAGÃO; LAURINDO, 2010; ZHANG; GAO; ZHANG, 2016; SILVA; SCHMIDT, 2019). A formação dos cristais de gelo libera calor latente de fusão, resultando no aumento da temperatura até que a

pressão de vapor do líquido corresponda à dos cristais de gelo formados (AKYURT et al., 2002; KIANI; SUN, 2011; SILVA; SCHMIDT, 2019). Na segunda fase, a temperatura da água pura permanece constante, pois a quantidade de calor latente de fusão liberado durante a mudança de fase compensa a quantidade de calor latente removida durante a evaporação/sublimação. Isso continua até que toda a água seja congelada (SATO; FUSHINOBU; HASHIMOTO, 2002; ZHANG; GAO; ZHANG, 2016). No caso do congelamento de uma solução, a temperatura de congelamento não permanece constante devido ao aumento da concentração na fração não congelada, e a fase isotérmica não pode ser observada. Na etapa final, a temperatura do produto diminui novamente à medida que ocorre a sublimação do gelo formado na etapa anterior. A temperatura mínima alcançada depende da pressão final na câmara.

Uma das características do congelamento a vácuo são as altas taxas de resfriamento/congelamento decorrente, principalmente, da rápida evaporação da água livre do produto no início do processo (SILVA; SCHMIDT, 2019). Enquanto nos métodos convencionais de congelamento, a retirada de calor ocorre pelos mecanismos de condução, convecção e radiação, e a baixa condutividade térmica do produto pode ser um fator limitante para o primeiro mecanismo (GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000; SILVA; SCHMIDT, 2019).

A porcentagem de redução de massa (em relação a massa inicial) de cogumelos pode chegar até 32,8% (GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000). Em razão da elevada perda de água, o congelamento a vácuo apresenta-se como um método vantajoso para ser utilizado como primeira etapa da liofilização (GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000; SILVA, 2019). Além disso, pode-se realizar o congelamento a vácuo e as etapas subsequentes da liofilização em um único equipamento, reduzindo os custos de operação e manutenção (GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000; SILVA; SCHMIDT, 2019).

Ghio et al. (2000) avaliaram o congelamento evaporativo e convencional antes da liofilização de frutas e vegetais e concluíram que houve uma redução significativa do tempo de liofilização dos alimentos congelados a vácuo (de aproximadamente 43 %) em comparação com os congelados por ar frio e contato com superfície fria na primeira etapa do processo. Segundo os autores, essa diferença no tempo de processo pode ser associada à grande porosidade da matriz congelada obtida durante o congelamento a vácuo. Como se trata de um método evaporativo, a evaporação da

água durante a etapa de resfriamento contribui para o aumento da porosidade e, como consequência, para o aumento da taxa de desidratação do produto.

*(ii) sublimação do gelo formado (secagem primária)*

A segunda etapa (secagem primária) geralmente é a etapa mais longa do processo e a que tem maior influência no custo total de secagem. Compreende a fase de sublimação do gelo formado e é responsável pela remoção de 85 a 95 % da água contida no alimento (SRINIVASAN; MUNEESHWARAN; RAJA, 2019). Para que isso ocorra, a pressão é mantida abaixo da pressão de vapor da superfície de gelo, fazendo com que o vapor seja transportado pelos poros do produto e removido através do sistema de vácuo e condensador (HARGUINDEGUY; FISSORE, 2020). A secagem primária cessa quando a pressão da câmara e a pressão de vapor da superfície do gelo atingem o equilíbrio (HASELEY; OETJEN, 2018).

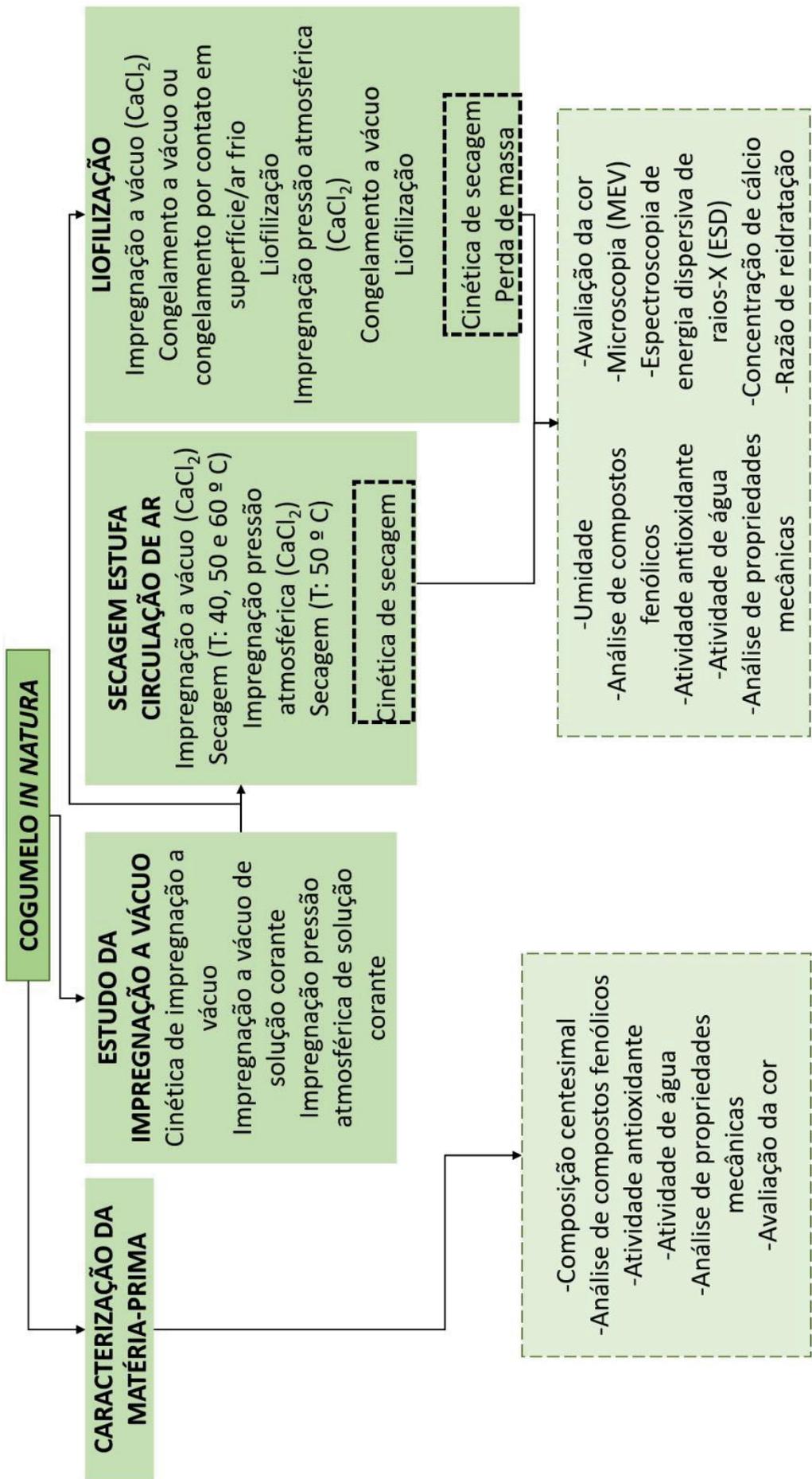
*(iii) dessorção da água ligada (secagem secundária)*

Na última etapa (secagem secundária) ocorre a dessorção da água ligada à matriz e a redução do conteúdo de água do alimento até o conteúdo desejado.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram divididos em: (i) caracterização do cogumelo *in natura*; (ii) cinética de impregnação a vácuo e influência do uso de vácuo na impregnação de uma solução corante e de cloreto de cálcio nos cogumelos; (iii) impregnação a vácuo de uma solução de cálcio seguido por secagem convectiva dos cogumelos a diferentes temperaturas; (iv) impregnação a vácuo de cálcio seguido de congelamento convencional ou a vácuo como etapa inicial da liofilização dos cogumelos; (v) avaliação das propriedades físico-químicas e mecânicas e da capacidade antioxidante dos cogumelos secos.

3.1 ESTRUTURA DO TRABALHO



## 3.2 MATÉRIA-PRIMA

Para a presente pesquisa foi utilizado o cogumelo Paris (*Agaricus bisporus*) produzido pela empresa Ilha Verde, localizada na cidade de São José dos Pinhais-PR. Os cogumelos, distribuídos no dia de colheita, foram adquiridos no Mercado Municipal de Curitiba-PR e mantidos sob refrigeração a 7 °C até sua utilização.

## 3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

### 3.3.1 Composição centesimal

A composição centesimal dos cogumelos frescos foi determinada de acordo com a AOAC (2016). As análises foram realizadas em triplicata, sendo o resultado expresso em base seca.

#### 3.3.1.1 Umidade inicial

A determinação de umidade foi realizada através do método gravimétrico em estufa a 105 °C até massa constante, conforme AOAC (925.45b).

#### 3.3.1.2 Cinzas

A concentração de cinzas foi determinada por incineração em forno mufla, à temperatura de 550 °C até obter cinza clara ou até massa constante, conforme AOAC (923.03).

#### 3.3.1.3 Lipídios

Os lipídios foram determinados pelo método de extração intermitente de óleos e gorduras, tipo Soxhlet, utilizando o solvente hexano, conforme AOAC (920.39).

#### 3.3.1.4 Proteínas

A determinação de proteínas foi realizada pelo método de macro Kjeldahl, no qual se determina o conteúdo proteico da amostra a partir da quantificação do

nitrogênio total, empregando-se um fator de conversão de 4,38 (BREENE, 1990; FURLANI e GODOY, 2005).

#### 3.3.1.5 Carboidratos

A concentração de carboidratos foi determinada por diferença dos demais constituintes da composição centesimal (umidade, cinzas, lipídeos e proteínas).

#### 3.3.1.6 Fibras alimentares

As fibras alimentares foram determinadas através do método enzimático-gravimétrico (AOAC 985.29)

#### 3.3.1.7 Compostos fenólicos

Para a análise de compostos fenólicos, os cogumelos foram secos em estufa a 45 °C até massa constante. Com as amostras secas realizou-se uma extração com solução hidroalcolica (metanol 70 %), utilizando-se 1 g da amostra e 30 mL da solução para obtenção dos extratos. O processo ocorreu em banho ultrassônico durante 1 hora. Em seguida, foi realizada a quantificação dos compostos fenólicos totais pela submissão dos extratos filtrados ao teste de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton e Rossi (1965). Foram utilizados 25 µL de extrato e adicionados 25 µL do reagente de Folin-Ciocalteu (diluído 1:3) e 200 µL de água ultrapura. Após 5 min, 25 µL de carbonato de sódio (10%) foram adicionados e a mistura permaneceu em repouso por 60 minutos em ambiente escuro. A reação foi realizada em triplicata. A curva de calibração foi obtida utilizando ácido gálico (20 - 200 mg L<sup>-1</sup>). A leitura foi realizada usando  $\lambda=760$  nm (GRANATO; NUNES, 2016). A medida obtida foi comparada com a curva analítica de ácido gálico ( $R^2 = 0,9964$ ). Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico por grama de amostra seca (mg GAE g<sup>-1</sup>).

#### 3.3.1.8 Atividade antioxidante - Método ABTS - Captura do radical livre 2,2-azino-bis-ácido 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfônico

A determinação da atividade antioxidante pelo método de redução do radical ABTS [2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico)] foi feita conforme metodologia descrita por Rufino (2007). Para se obter a curva de calibração foi utilizado o padrão de referência Trolox® diluído em etanol absoluto. O radical cátion ABTS (ABTS•+) foi gerado por meio da reação da solução aquosa de ABTS (7 mM) e persulfato de potássio (2,45 mM), e a mistura mantida no escuro, por 14 horas, e só depois foi diluída com etanol até absorvância de  $0,7 \pm 0,02$  a 734 nm. Para análise foi utilizado 30  $\mu$ L do extrato da amostra e 3 mL da solução resultante do radical ABTS, que foi homogeneizado e permaneceu por 6 minutos no escuro antes de ser medida a absorvância. A atividade antioxidante foi calculada a partir curva padrão e os resultados foram expressos em  $\mu$ mol de Trolox equivalente por grama de amostra seca ( $\mu$ mol de Trolox equivalente  $g^{-1}$  amostra seca).

#### 3.3.1.9 Atividade antioxidante - Método DPPH - Captura do Radical 2,2 difenil-1-picrilhidrazila

A atividade antioxidante dos cogumelos também foi avaliada a partir dos extratos metanólicos através do ensaio de captura de radicais DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) (PEKKARINEN *et al.*, 1999). Este método é baseado na capacidade antioxidante de um composto em sequestrar radicais livres. O DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazil) é um radical de nitrogênio orgânico, estável, de cor violeta, que possui absorção na faixa de 515-520 nm. A redução do radical DPPH é monitorada pelo decréscimo da absorvância durante a reação. A absorvância da amostra foi lida a 517 nm e comparada a uma curva padrão de Trolox. Os resultados foram expressos em  $\mu$ mol de Trolox equivalente por grama de amostra seca ( $\mu$ mol de Trolox equivalente  $g^{-1}$  amostra seca).

#### 3.3.1.10 Atividade antioxidante - Potencial antioxidante de redução do ferro (FRAP)

A atividade antioxidante por FRAP foi determinada pela metodologia de Benzie e Strain (1996), adaptada por Handa *et al.* (2015). Foi adicionado 2,7 mL de reagente FRAP (2,5 mL de TPTZ a 10 mM em HCl 40 mM, 2,5 mL de FeCl<sub>3</sub> 20 mM e 25 mL de tampão acetato 5 mM pH 3,6), com 90  $\mu$ L de extrato e 210  $\mu$ L de água destilada, estes foram deixados ao abrigo de luz por 30 min a uma temperatura de 37

°C, e após realizou-se as leituras em espectrofotômetro à 595 nm e os resultados expressos  $\mu\text{mol}$  de Trolox equivalente por grama de amostra seca ( $\mu\text{mol}$  de Trolox equivalente  $\text{g}^{-1}$  amostra seca), utilizando uma curva padrão de Trolox (0,0045 – 0,063  $\mu\text{mol}$ ).

#### 3.3.1.11 Atividade de água

A atividade de água dos cogumelos foi determinada por meio de um analisador de atividade de água (*Aqualab, Series 3 TE, EUA*), através da medida de ponto de orvalho a 25 °C, de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985).

#### 3.3.1.12 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas das amostras foram analisadas, de acordo com Gao et al. (2014) com algumas modificações, através de teste de penetração realizado na parte central da tampa da fatia de cogumelo usando uma sonda cilíndrica de 5 mm de diâmetro acoplada a um texturômetro (*Texture Analyser, TA.XT2, Stable Micro Systems, UK*). As amostras foram previamente selecionadas quanto à uniformidade de tamanho, com diâmetro do chapéu de 3-4 cm e altura de 2-3 cm e em seguida foram fatiadas com auxílio de uma faca e um paquímetro em fatias de 10 mm. As fatias foram penetradas 2,0 mm de profundidade com velocidade da sonda de 2,0  $\text{mm s}^{-1}$  (durante o pré-teste e a penetração). A firmeza das amostras foi determinada como a força máxima obtida a partir das curvas força *versus* tempo registradas durante os experimentos (GAO et al., 2014), expressa em N. A média dos valores de 3 repetições de cada processo foi usada para análise estatística.

#### 3.3.1.13 Cor

A quantificação objetiva de cor foi realizada por meio de um colorímetro (Hunterlab – MiniScan XE Plus), com leitura direta de reflectância das coordenadas de cromaticidade “L” (luminosidade), “a” (tonalidades de vermelho a verde) e “b” (tonalidades de amarela a azul). Os valores  $L^*$  variam de zero (preto) a 100 (branco), os valores de  $a^*$  variam de  $-a^*$  (verde) até  $+a^*$  (vermelho), e os valores de  $b^*$  variam de  $-b^*$  (azul) até  $+b^*$  (amarelo) (HUNTERLAB, 1998). O índice de escurecimento (IB)

foi determinado pela Equação (4) e Equação (5), e representa a pureza da cor marrom (ADAY, 2016).

$$IB = \frac{100*(X-0,31)}{0,17} \quad (4)$$

em que

$$X = \frac{(a^*+1,75L^*)}{(5,645L^*+a^*-3,012b^*)} \quad (5)$$

### 3.4 INFLUÊNCIA DO USO DE VÁCUO NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO CORANTE EM COGUMELO PARIS (ANÁLISE QUALITATIVA)

#### 3.4.1 Cinética de Impregnação a Vácuo

Um estudo cinético foi realizado com o objetivo de avaliar os tempos necessários para se atingir o equilíbrio mecânico nos dois passos da IV [períodos de vácuo ( $t_1$ ) e relaxação ( $t_2$ )]. Os testes foram conduzidos em um sistema composto por uma câmara hermeticamente fechada, construída a partir de polimetil-metacrilato (PMMA), e uma bomba de vácuo (modelo D.V.P., RC.8D, Itália) com uma taxa nominal de  $10,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e uma pressão final de 1 Pa, conforme representado na Figura 4. Um *trapping*, imerso em um banho termostatizado com controle de temperatura, foi empregado para reter as possíveis gotículas de líquido. A câmara de vácuo foi equipada com sensores de temperatura (termopares tipo T - ECIL, BT-30-R990, Brasil) e pressão (sensor *Freescale*, MPX2102, EUA), conectados a um dispositivo de aquisição de dados controlado por um *software* desenvolvido especificamente para essa finalidade. No interior da câmara, uma célula de carga do tipo *single point* (com capacidade de 5000 g e uma precisão de 0,1 g) foi fixada em um suporte rígido e conectada a um recipiente perfurado através de uma haste metálica.

As amostras foram dispostas no interior do recipiente perfurado e este foi totalmente submerso na solução de impregnação (solução de cloreto de cálcio  $20 \text{ g L}^{-1}$  - previamente desaerada a pressão de 0,025 MPa por 2 horas). A célula de carga foi conectada ao computador através de um sistema de condicionamento de sinal (Alfa

Instrumentos, modelo 3101CP, Brasil), o que permitia a coleta instantânea da força resultante ( $F_R$ ) sobre o sistema haste-recipiente-amostra.

A força resultante é dada pela diferença entre a força peso e a força de empuxo, dependentes, respectivamente, da massa e do volume do sistema, representado pela Equação (6) e esquematizado na Figura 4.

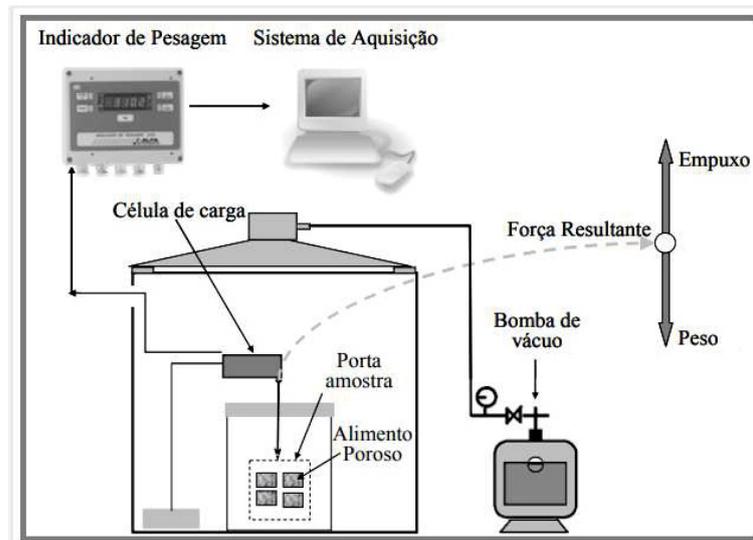
$$F_R / g = (M_{c_t} + M_{si}) - \rho V_t \quad (6)$$

em que  $M_{c_t}$  representa a massa de cogumelos no tempo  $t$  (massa inicial de cogumelos  $\pm$  variação de massa até o tempo  $t$  – causada pela saída de líquido nativo da matriz e impregnação da solução),  $M_{si}$  representa a massa do sistema recipiente perfurado-haste,  $V_t$  representa a soma do volume do sistema recipiente-haste-amostra imersos na solução no tempo  $t$ ,  $\rho$  é a densidade da solução impregnante e  $g$  é a aceleração da gravidade.

Eventuais expansões de volume das amostras durante a aplicação do vácuo aumentam a força de empuxo, enquanto a impregnação da amostra com a solução externa (que ocorre após o restabelecimento da pressão inicial) aumenta a força peso. Nos casos em que as amostras não se deformam, ou as variações de volume são desprezíveis em relação ao volume total da amostra durante a impregnação a vácuo, a evolução da força resultante representa diretamente a cinética da variação de massa durante a impregnação a vácuo – a massa perdida (etapa de degaseificação) ou a massa impregnada à amostra.

Para o estudo da cinética utilizou-se a pressão de 0,025 MPa e os experimentos foram realizados em triplicata. Foi realizada também uma rodada de experimentos sem as amostras de cogumelo sob as mesmas condições para que os resultados da cinética de IV pudessem ser corrigidos quanto à influência desses gases sobre a força resultante do sistema.

FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO DISPOSITIVO USADO PARA O ESTUDO DA CINÉTICA DE IV E DO BALANÇO DE FORÇAS NO SISTEMA AMOSTRA-PORTA AMOSTRA-HASTE.



FONTE: Adaptada de LAURINDO *et al.* (2007).

### 3.4.2 Análise Qualitativa: Influência do uso do vácuo na impregnação de uma solução de azul de metileno em cogumelo Paris

#### 3.4.2.1 Impregnação a pressão atmosférica

As amostras de cogumelos foram previamente selecionadas quanto à uniformidade de tamanho (3-4 cm de diâmetro do chapéu), cor branca e ausência de danos mecânicos e pesadas em balança semianalítica (AD330S, Marte Científica e Instrumentação).

Os ensaios qualitativos de impregnação a pressão atmosférica foram realizados imergindo as amostras em uma solução de azul de metileno a  $0,4 \text{ g L}^{-1}$  e deixando-as em contato com essa, durante 10 minutos. Uma tela foi colocada sobre os cogumelos para mantê-los totalmente imersos durante todo o ensaio. Ao final da impregnação, as amostras foram retiradas da solução, colocadas sobre papel filtro qualitativo (gramatura:  $80 \text{ g cm}^{-2}$ ) por 5 segundos, fatiadas ao meio e fotografadas para visualização da penetração da solução corante.

#### 3.4.2.2 Impregnação a vácuo

Os ensaios de impregnação a vácuo foram realizados no mesmo equipamento dos ensaios de cinética de IV. As amostras foram dispostas em um recipiente com tampa perfurada e totalmente imersas na solução de impregnação (solução de azul a  $0,4 \text{ g L}^{-1}$ ). A aplicação de vácuo ocorreu durante 5 minutos sob pressão de  $0,025 \text{ MPa}$  e temperatura entre  $20\text{--}22 \text{ }^\circ\text{C}$  seguido de um período de relaxação de 5 minutos em solução sob pressão atmosférica.

Ao final da impregnação, as amostras foram retiradas da solução, colocadas sobre papel filtro qualitativo (gramatura:  $80 \text{ g cm}^{-2}$ ) por 5 segundos, fatiadas ao meio e fotografadas para visualização da penetração da solução corante.

### 3.5 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA SECAGEM CONVECTIVA DE COGUMELOS PARIS FORTIFICADOS COM CÁLCIO

Para os ensaios, os cogumelos foram previamente selecionados quanto à uniformidade de tamanho (3-4 cm de diâmetro do chapéu), cor branca, ausência de danos mecânicos e pesados em balança semianalítica (AD330S, Marte Científica e Instrumentação).

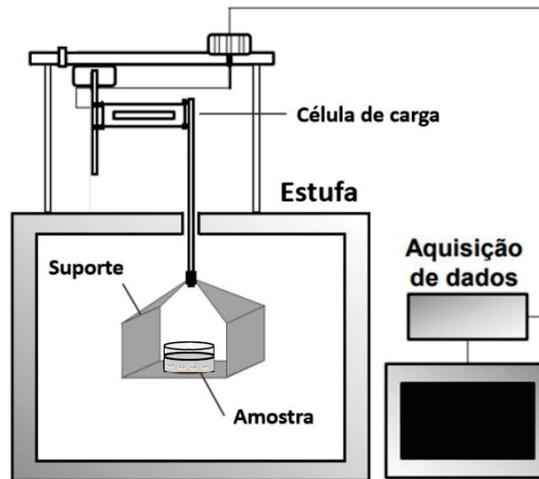
#### 3.5.1 Impregnação a vácuo + Secagem Convectiva (Processo IV + SC)

A impregnação a vácuo das amostras foi realizada conforme descrito no item 3.4.2.2. A solução de impregnação utilizada foi preparada utilizando-se água destilada e cloreto de cálcio na concentração de  $20 \text{ g L}^{-1}$ . As amostras foram pesadas antes e após a IV para a verificação da fração de solução impregnada ao final do processo. Em seguida, foram fatiadas com auxílio de uma faca e um paquímetro em fatias de 10 mm e submetidas a secagem convectiva.

As amostras impregnadas e fatiadas foram dispostas em bandejas de aço inoxidável e colocadas em estufa com circulação de ar (Nova Ética, 400/2ND-300, São Paulo, Brasil) a uma velocidade média de  $0,5 \text{ m.s}^{-1} \pm 0,1 \text{ m.s}^{-1}$  (aferida com um anemômetro Testo 405, Testo AG, Lenzkirch, Alemanha). O processo de secagem foi conduzido a diferentes temperaturas ( $40, 50$  e  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e as fatias mantidas na estufa até atingir massa constante. Para monitoramento *on-line* da variação de massa das amostras durante os experimentos, as bandejas foram colocadas em um suporte de alumínio conectado a uma célula de carga tipo *single point* (Alfa Instrumentos, GL-5,

Brasil) com capacidade de 5 kg e precisão de 0,1 g, mantida na parte externa da estufa, conforme esquematizado na Figura 5. A célula de carga foi conectada a um sistema de condicionamento de sinal (Alfa Instrumentos, 3101CP, Brasil) que, por sua vez, foi conectado a um computador para a aquisição dos dados. Após a secagem, as amostras foram submetidas às análises descritas no item 3.7. Para cada condição experimental, os experimentos foram realizados em triplicata.

FIGURA 5 - ESQUEMA DO DISPOSITIVO EXPERIMENTAL UTILIZADO NOS ENSAIOS DE SECAGEM EM ESTUFA COM CIRCULAÇÃO DE AR.



FONTE: Adaptada de CIESLINSKI (2021).

### 3.6 INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO DE CÁLCIO E DO MÉTODO DE CONGELAMENTO (POR CONTATO OU A VÁCUO) UTILIZADO COMO PRIMEIRA ETAPA DA LIOFILIZAÇÃO DOS COGUMELOS NA CINÉTICA DE PROCESSO E NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO PRODUTO DESIDRATADO

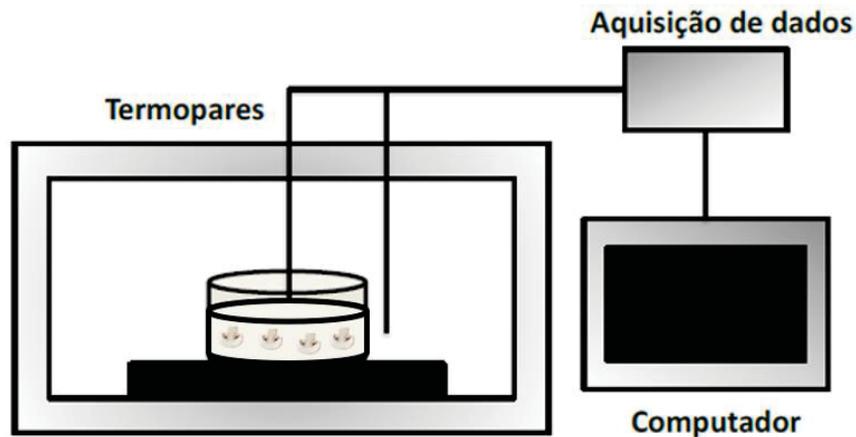
Para os ensaios, os cogumelos foram previamente selecionados quanto à uniformidade de tamanho (3-4 cm de diâmetro do chapéu), cor branca, ausência de danos mecânicos.

#### 3.6.1 Impregnação a vácuo + Liofilização utilizando diferentes métodos de congelamento (Processos IV+CC-L e IV+CV-L)

Os ensaios de impregnação a vácuo foram realizados conforme descrito no item 3.4.2.2. Cada amostra foi pesada antes e após a IV para a verificação da fração de solução impregnada. Posteriormente, foram fatiadas com espessura de 10 mm e submetidas à liofilização utilizando como primeira etapa o congelamento por contato com superfície e ar frios (IV+CC-L) ou o congelamento a vácuo (IV+CV-L), conforme descrito a seguir.

Para o processo CC-L, o congelamento por contato com superfície e ar frios (intitulado como “congelamento convencional”) das amostras impregnadas a vácuo foi realizado em uma câmara fria de aço inoxidável (8 L), conforme o esquema apresentado na Figura 6. A temperatura do ar e da superfície fria foi mantida em -50 °C. As amostras fatiadas foram dispostas em bandeja de aço inoxidável e o monitoramento da temperatura foi realizado por meio de termopares do tipo T (ECIL, BT-30-R990, Brasil) inseridos no centro geométrico da fatia. Os termopares foram conectados a um sistema de aquisição de dados controlado por um *software*. As amostras foram mantidas a pressão atmosférica no condensador até atingirem -40°C. Após o congelamento convencional, as amostras foram dispostas em uma estante feita de isopor acoplada a uma haste rígida conectada a uma célula de carga (descrita no item 3.8.1.) que foi fixada na tampa do liofilizador e ligada a um sistema de condicionamento de sinal (Alfa Instrumentos, 3101CP, Brasil), conectado ao computador para o monitoramento *on-line* da variação da massa da amostra durante o processo. A liofilização foi realizada em um liofilizador de bancada (Liobras, Liotop L101, Brasil) adaptado conforme o esquema apresentado na Figura 8. O dispositivo experimental consiste em uma câmara hermeticamente fechada e um sistema de bombeamento. A câmara de vácuo é construída em polimetil-metacrilato (PMMA) e possui volume de 15,8 L. O sistema de bombeamento compreende um condensador em aço inoxidável (volume de 8 L e capacidade de condensação de 2,08 mL min<sup>-1</sup>) e uma bomba de vácuo (D.V.P., RC.8D, Itália) com vazão nominal de 10,2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e pressão final de 1 Pa. O monitoramento da temperatura foi realizado por meio de termopares do tipo T (ECIL, BT-30-R990, Brasil). Os dados de pressão foram obtidos através de um sensor de pressão (*Freescale*, MPX2102, EUA). Os termopares e o sensor de pressão foram conectados a um sistema de aquisição de dados controlados por um *software*.

FIGURA 6 - ESQUEMA DO SISTEMA DE CONGELAMENTO POR CONTATO.

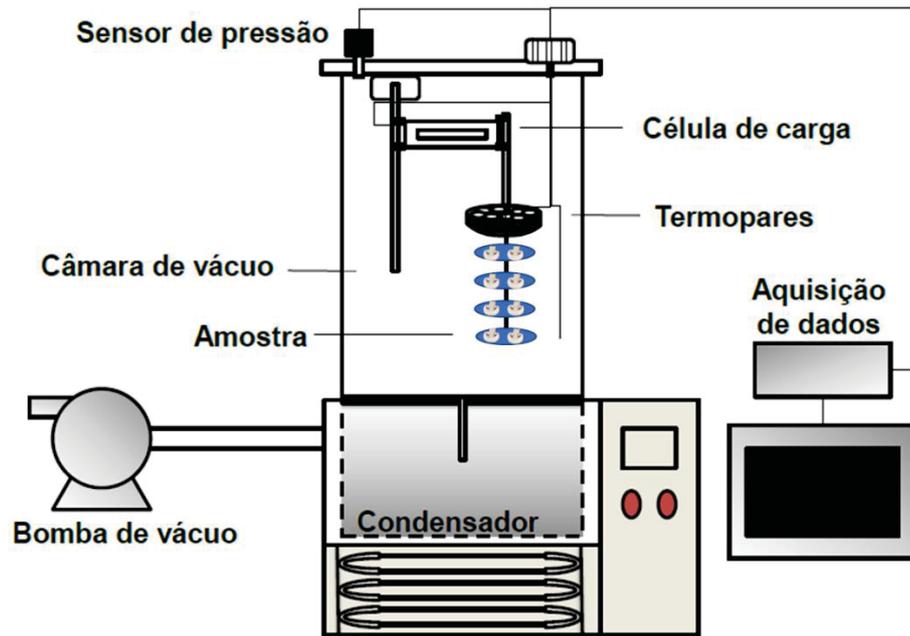


FONTE: Adaptada de SILVA; SCHMIDT (2019).

Para o processo CV-L, o congelamento a vácuo foi realizado no próprio liofilizador de bancada (Liobras, Liotop L101, Brasil), conforme apresentado na Figura 7. As amostras impregnadas e previamente pesadas foram dispostas em uma estante feita de isopor acoplada a uma haste rígida conectada a uma célula de carga (descrita no item 3.8.1.), fixada na tampa do equipamento e conectada a um sistema de condicionamento de sinal (Alfa Instrumentos, 3101CP, Brasil). Este foi conectado ao computador para o monitoramento *on-line* da variação da massa da amostra durante o processo. O monitoramento da temperatura foi realizado por meio de termopares do tipo T (ECIL, BT-30-R990, Brasil). Os dados de pressão foram obtidos através de um sensor de pressão (*Freescale*, MPX2102, EUA). Os termopares e o sensor de pressão foram conectados a um sistema de aquisição de dados controlados por um *software*. O início do processo (CV-L) foi marcado pelo fechamento hermético da câmara e o acionamento da bomba de vácuo, sendo que, neste caso, o congelamento e a sublimação ocorrem concomitantemente.

Após a liofilização, as amostras (IV+CC-L e IV+CV-L) foram submetidas às análises descritas no item 3.7. Para cada condição experimental, os experimentos foram realizados em triplicata.

FIGURA 7 - ESQUEMA DO LIOFILIZADOR.



FONTE: Adaptada de TRIBUZI (2014) e SILVA; SCHMIDT (2019).

### 3.7 CURVAS E TAXAS DE SECAGEM

As curvas de secagem dos cogumelos submetidos à secagem convectiva e a liofilização foram obtidas calculando o teor de umidade em base seca (b.s.) das amostras ao longo do tempo, utilizando a Equação (7).

$$\text{Umidade (b. s.)} = \frac{M_{w,0} - \Delta M_{w,t}}{M_{ms}} \quad (7)$$

onde  $M_{w,0}$  é a massa inicial de água na amostra, determinada de acordo com a AOAC,  $\Delta M_{w,t}$  é a variação na massa de água registrada pela célula de carga em intervalos de 0,2 horas e  $M_{ms}$  é a massa de matéria seca da amostra, também determinada de acordo com a AOAC. Um polinômio foi ajustado às curvas de secagem dos cogumelos e posteriormente diferenciado em relação ao tempo usando o software MATLAB® para determinar as taxas de secagem.

### 3.8 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DO COGUMELO SECO

#### 3.8.1.1 Umidade

A umidade da amostra após a impregnação e secagem foi determinada de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.1.1.

#### 3.8.1.2 Atividade de água

A atividade de água das amostras foi determinada de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.1.11.

#### 3.8.1.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada utilizando um microscópio eletrônico de varredura (JEOL, JSM 6360 LV, Japão), com ampliação de 200 vezes sob aceleração de voltagem de 15 kV. Para esta análise as amostras foram recobertas com ouro utilizando um metalizador (Balzers, SCD 030, EUA). O equipamento de MEV utiliza um feixe de elétrons para explorar a superfície da amostra e, dessa forma, gerar imagens com conformação tridimensional e de alta resolução do material (DUARTE et al., 2003).

#### 3.8.1.4 Avaliação química qualitativa e semiquantitativa do cálcio nas amostras de cogumelos secos

A avaliação química qualitativa e semiquantitativa do cálcio nas amostras foi realizada através de um sistema de espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) acoplada ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). O princípio de funcionamento do EDS baseia-se na detecção de raios-X emitidos pela amostra durante as transições eletrônicas ocasionadas por um feixe de elétrons. A energia de raio-X emitida é lida pelo equipamento de acordo com a voltagem apresentada. Uma vez que cada elétron de cada elemento químico tem a energia de emissão bem definida, o equipamento o classifica (SCOUTARIS et al, 2014; GOLDSTEIN et al, 2003). O eixo de contagens é referente às unidades de fótons, relativos à energia das transições eletrônicas de cada elemento químico que atingem o detector por unidade de área.

#### 3.8.1.5 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos foram determinados de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.1.6.

#### 3.8.1.6 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.1.7.

#### 3.8.1.7 Propriedades mecânicas

Os cogumelos foram reidratados com água destilada à temperatura ambiente (25 °C) até massa constante e então as propriedades mecânicas dos cogumelos foram determinadas de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.1.12.

#### 3.8.1.8 Cor

A avaliação da cor dos cogumelos foi realizada de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.1.13.

#### 3.8.1.9 Concentração de cálcio

A quantificação de cálcio nas amostras foi realizada por meio de um Espectrômetro de Emissão Atômica (ICPOES - Varian 720 ES - Vista axial). Para realização da leitura foi feita a digestão da amostra (0,5 a 1,0 g) com ácido nítrico (3 mL) e ácido clorídrico (2 mL) concentrados, sob aquecimento durante 30 minutos, seguido do resfriamento sob refluxo, filtragem da amostra em papel qualitativo com água ultra purificada e leitura no equipamento.

#### 3.8.1.10 Razão de reidratação

A razão de reidratação foi avaliada pela metodologia descrita por Chen, Guo e Wu (2016) com algumas modificações. Cerca de 0,2 a 0,5 g da amostra foram imersas em água destilada na temperatura de 25° C. A massa da amostra foi mensurada a cada 5 minutos até que a condição de equilíbrio fosse atingida (massa constante). A razão de reidratação (RR) foi calculada de acordo com a Equação 8.

$$RR = \frac{\text{massa da amostra reidratada}}{\text{massa da amostra seca}} \quad (8)$$

### 3.9 INFLUÊNCIA DO VÁCUO PARA IMPREGNAÇÃO DE CÁLCIO NOS COGUMELOS E DO MÉTODO DE SECAGEM NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO PRODUTO DESIDRATADO

Para este estudo foram avaliados os seguintes processos: (i) impregnação de cálcio a pressão atmosférica seguida de secagem convectiva a 50 °C ou liofilização com congelamento a vácuo como primeira etapa e (ii) impregnação a vácuo seguida de secagem convectiva a 50 °C ou liofilização com congelamento a vácuo como primeira etapa.

#### 3.9.1.1 Impregnação a pressão atmosférica + Secagem

Os ensaios de impregnação a pressão atmosférica foram realizados conforme a metodologia descrita no item 3.4.2.1, entretanto a solução de impregnação utilizada foi preparada utilizando-se água destilada e cloreto de cálcio a 20 g L<sup>-1</sup>. Posteriormente, as amostras foram pesadas para a verificação da variação da massa durante o processo. Em seguida, foram fatiadas com auxílio de uma faca e um paquímetro em fatias de 10 mm, metade das amostras foram enviadas diretamente para a estufa e secas a 50 °C, a outra parte foi enviada para o liofilizador, congeladas a vácuo e liofilizadas.

#### 3.9.1.2 Impregnação a vácuo + Secagem

Os ensaios de IV foram realizados conforme a metodologia descrita no item 3.4.2.2, entretanto a solução de impregnação utilizada foi preparada utilizando-se água destilada e cloreto de cálcio a 20 g L<sup>-1</sup>. Posteriormente, as amostras foram pesadas para a verificação da fração de solução impregnada durante a IV. Em seguida, foram fatiadas com auxílio de uma faca e um paquímetro em fatias de 10 mm, metade das amostras foram submetidas à secagem em a estufa a 50 °C e a outra parte foi enviada para o liofilizador, congeladas a vácuo e liofilizadas.

Após os processos as amostras foram submetidas às análises de Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Avaliação química qualitativa e semiquantitativa do

cálcio (EDS) e Avaliação da concentração de cálcio, conforme metodologias descritas nos itens 3.7.1.3; 3.7.1.4 e 3.7.1.9, respectivamente.

### 3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), e a comparação entre médias realizada por meio do teste de *Tukey*, com significância de 5 % ( $p < 0,05$ ). Para a avaliação estatística foi utilizado o *software* R.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS COGUMELOS PARIS (*A. BISPORUS*) *IN NATURA*

A composição centesimal, atividade água, parâmetros de cor, concentração de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) dos cogumelos *in natura* utilizados nos experimentos são apresentados na Tabela 1. Nota-se os elevados valores de umidade e atividade de água dos cogumelos, apresentando aproximadamente 93 % da massa de seu corpo de frutificação constituído por água. Os valores de umidade encontrados estão de acordo com os dados fornecidos por Manzi, Aguzzi e Pizzoferrato (2001), assim como os citados por Crisan e Sands (1978) e encontrados por Mattila et al. (2001) e Pauli (2010).

A fração sólida dos cogumelos é composta principalmente por carboidratos, fibras e proteínas. O principal constituinte nutricional são os carboidratos apresentando concentração média de 57,3 % (% b.s.), sendo  $17,21 \pm 0,07$  % de fibras alimentares. Os carboidratos presentes no cogumelo são em sua maioria polissacarídeos que constituem a parede celular, contendo uma mistura de quitina, oligo e polissacarídeos, como as mananas e as glicanas. Estes componentes são carboidratos não digeríveis e podem ser considerados como uma fonte de fibra alimentar (CHEUNG, 2013). A concentração de fibras obtida foi de aproximadamente 17,21 % (% b.s.). Desta forma, as amostras de cogumelo Paris analisadas podem ser consideradas como um alimento rico em fibras, com concentração 3 vezes superior a

mínima definida pela ANVISA (2020). Chang e Miles (1989) relataram uma concentração de carboidratos de 59,90 % e Furlani e Godoy (2007) de 54,12 %. Valores similares foram encontrados no estudo Bach (2017) em amostras de *A. bisporus* (59,1 %  $\pm$  0,6 % de carboidratos (% b.s.), sendo 29,4  $\pm$  0,8 % de fibras alimentares). Os valores de fibras alimentares encontrados neste estudo foram similares aos encontrados por Helm et al. (2009) (21,13 %, b.s.), por Furlani e Godoy (2007) (20 %  $\pm$  2 %, b.s.), por Cheung (1997) (18,2 %, b.s) e Beelmamn e Edwards (1989) (19,5 %).

O conteúdo médio de proteínas do cogumelo foi de 31,6 %  $\pm$  0,2 % (% b.s.). Concentrações próximas foram apresentadas por Bach (2017) e por Furlani e Godoy (2007) em amostras de cogumelos obtidos em Campinas-SP e São Paulo-SP. Em comparação com alimentos considerados de alta concentração de proteínas geralmente consumidos, como os ovos (12 %), o cogumelo apresenta quantidade superior dessas macromoléculas, podendo ser adotado como fonte alternativa de proteínas (LEMOS, 2009).

O resultado médio da concentração de cinzas foi de 8,9 %  $\pm$  0,00 % (b.s.). Este valor é próximo ao apresentado por Cheung (1996) (10,3 %), por Chang e Miles (1989), entre 7,7 e 12,0 %. Por outro lado, Furlani e Godoy (2007), Chang e Milles (1989) encontraram concentrações superiores, com 12 % de cinzas. A fração de cinzas é composta principalmente por compostos inorgânicos (indicativo da quantidade de minerais para este cogumelo).

A concentração média de lipídeos foi de 2,20 %  $\pm$  0,01 % (b.s.), ficando dentro da faixa de 1,1 % a 8,0 % apontada nos dados compilados na literatura por Fulani (2004). Valores semelhantes foram apresentados por Helm et al. (2009) de (2,66 %), por Chang e Milles (1989) (1,80 %) e Cheung (1996) (1,90 %). Entretanto, esses valores são inferiores aos encontrados por Furlani e Godoy (2007) (5,42 %). Conforme Kalač (2009) e Cheung (2008), os cogumelos apresentam baixa concentração de lipídeos, variando de 2 a 10 % em base seca. Alimentos com baixa concentração lipídica são interessantes para dietas com restrição de calorias. Além disso, grande parte dos ácidos graxos presentes nos cogumelos é insaturada e, dentre eles, os essenciais linolênico e linoleico estão presentes (COHEN et al., 2014; KAYODE et al., 2015).

Com relação aos parâmetros de cor L\*, a\* e b\* e o índice de escurecimento (IB) das amostras de cogumelo *in natura* apresentados na Tabela 1, destaca-se o valor

médio de  $L^*$  de  $93,5 \pm 0,5$ . O valor de  $L^*$  representa a luminosidade das amostras e quanto mais próximo de 100 mais clara é amostra, indicando que os cogumelos analisados apresentavam coloração próxima ao branco (característica esperada para o produto adquirido no dia de colheita). Valores semelhantes de  $L^*$  foram encontrados por Gao et al. (2014) ( $L^* = 91,5$ ). Por outro lado, Bernás e Jaworska (2015) e Fattahifar et al. (2018) encontraram valores menores de  $L^*$  para o cogumelo *in natura*, os quais foram de 66,7 e 73,4, respectivamente. O valor médio para o parâmetro  $a^*$  foi de  $0,2 \pm 0,1$ . Resultados similares foram relatados por Bernás e Jaworska (2015) ( $a^* = 0,84$ ). Fattahifar et al. (2018) e Barrón-García et al. (2022) encontraram valores maiores de  $a^*$ , os quais foram de 2,1 e 1,7, respectivamente. O valor médio do parâmetro  $b^*$  foi de  $10,4 \pm 0,4$ , similar ao valor citado por Fattahifar et al. (2018) para cogumelos Paris *in natura*. Os valores de  $b^*$  analisados por Bernás e Jaworska (2015) e Barrón-García et al. (2022) foram maiores, de 16,23 e 5,8, respectivamente. O aumento dos valores de  $a^*$  e  $b^*$  estão relacionados com reações de escurecimento (LESPINARD et al., 2009). O IB médio das amostras analisadas foi de  $11,8 \pm 0,1$ . Aday (2016) encontrou valores similares para o cogumelo *in natura*, com IB de  $13 \pm 2$ . Fattahifar et al. (2018) verificaram um IB superior de  $21,4 \pm 0,9$ , semelhante ao relatado por Gao et al. (2014) ( $IB = 20,0 \pm 0,3$ ). Quanto maior o IB, maior o grau de escurecimento dos cogumelos. Assim, os valores baixos de IB obtidos para as amostras analisadas indicam baixas reações de deterioração do cogumelo recém-colhido.

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL, PARÂMETROS DE COR ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , ÍNDICE DE ESCURECIMENTO - IB), ATIVIDADE DE ÁGUA, CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE (DPPH, ABTS E FRAP) DOS COGUMELOS *A. BISPORUS IN NATURA*.

Componente/Parâmetro	Concentração/ Valores
Umidade ( $\text{g g}^{-1}$ , base seca)	$12,39 \pm 0,00$
Cinzas (% , base seca)	$8,9 \pm 0,0$
Lipídeos (% , base seca)	$2,20 \pm 0,01$
Proteínas (% , base seca)	$31,6 \pm 0,2$
Carboidratos (% , base seca)	$57,3 \pm 0,0$
Fibras (% , base seca)	$17,21 \pm 0,07$
$a_w$	$0,99 \pm 0,00$
$L^*$	$93,5 \pm 0,5$
$a^*$	$0,2 \pm 0,2$
$b^*$	$10,4 \pm 0,4$
IB	$11,8 \pm 0,1$
Compostos fenólicos totais ( $\text{mg GAE g}^{-1}$ amostra seca)	$6,5 \pm 0,5$

DPPH ( $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ amostra seca)	87 $\pm$ 1
ABTS ( $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ amostra seca)	74 $\pm$ 3
FRAP ( $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ amostra seca)	42 $\pm$ 2

FONTE: A autora (2024).

A firmeza das amostras (representada pela média da força máxima obtida durante os ensaios de penetração) foi de 13 N  $\pm$  1 N. Fattahifar et al. (2018) verificaram uma firmeza semelhante para o cogumelo Paris *in natura* (9,1 N  $\pm$  0,7 N). Alterações nas propriedades mecânicas dos cogumelos indicam alterações metabólicas e do conteúdo de água. A principal causa do amolecimento dos tecidos de vegetais e frutas frescas é a degradação das paredes celulares por atividade de autólise endógena (GAO et al., 2014) ou por reações enzimáticas (LAGNIKA et al., 2013). Assim como o aumento do grau de escurecimento, a redução da firmeza do *A. bisporus* tem relação direta com a atividade da enzima polifenol oxidase (PPO) e com a deterioração por bactérias.

A concentração média de compostos fenólicos totais (TCP) das amostras de cogumelo *in natura* utilizadas foi de 6,5  $\pm$  0,2 mg GAE g<sup>-1</sup> amostra seca. Os resultados encontrados neste estudo estão dentro da faixa de valores relatados por Abugri e McElhenney (2013), a qual foi de 4,45 mg GAE g<sup>-1</sup> extrato seco a 14,44 mg GAE g<sup>-1</sup> extrato seco. Barros et al. (2008) verificaram valores semelhantes para cogumelos *A. bisporus* e *A. silvicola*. Valores superiores também foram observados por Silva (2015) (9,8 mg GAE g<sup>-1</sup> amostra seca) e Reis et al. (2012) (23,3 mg GAE g<sup>-1</sup> amostra seca).

A atividade antioxidante do cogumelo foi avaliada pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP em  $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  de matéria seca (Tabela 1). O extrato de *A. bisporus* apresentou maior nível de atividade antioxidante para a eliminação de radicais livres avaliadas pelos métodos DPPH (87  $\pm$  1  $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  amostra seca) e ABTS (73  $\pm$  3  $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  amostra seca). Apesar dos extratos avaliados em cada ensaio serem os mesmos, os mecanismos de ação envolvidos nos métodos são diferentes, o que pode explicar a diferença de valores apresentada entre as metodologias. Para DPPH e ABTS suas moléculas são dois radicais livres estáveis e coloridos, receptores de um átomo de hidrogênio, assim como de um elétron, e dependem disso para se tornar uma molécula diamagnética estável. Ao receberem um elétron ou átomo de hidrogênio de um agente antioxidante, a forma reduzida do radical é gerada, ocasionando a perda de cor (MUJIC et al., 2010; ZIELINSKI; HAMINIUK; BETA, 2016). Na metodologia FRAP, avalia-se apenas a capacidade de transferência de elétrons,

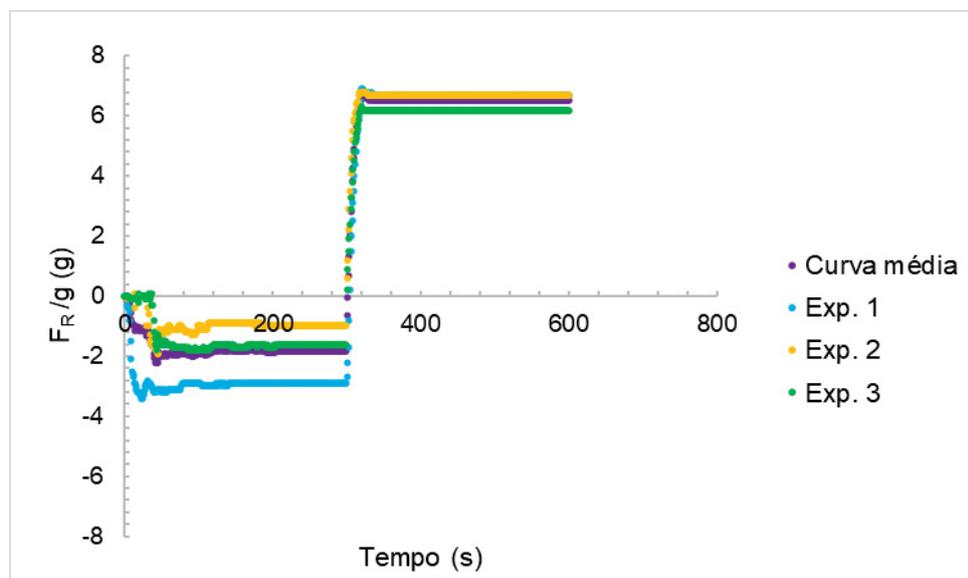
que resulta na redução de íons ferro ( $\text{Fe}^{3+}$  para  $\text{Fe}^{2+}$ ) na presença de compostos antioxidantes (CRAFT et al., 2012). Bach (2017) encontrou valores similares para a atividade antioxidante de *A. bisporus in natura* ABTS ( $74,06 \pm 1,73 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  amostra seca) e FRAP ( $40,84 \pm 0,63 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  amostra seca), com valores menores apenas para DPPH ( $34,35 \pm 0,21 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  amostra seca). Os valores de atividade antioxidante podem variar de acordo com a composição dos cogumelos relacionada à sua forma de cultivo, além da fatores externos que podem causar degradação dos compostos com propriedades antioxidantes, como a incidência de luz e a temperatura.

#### 4.2 CINÉTICA DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO E INFLUÊNCIA DO USO DE VÁCUO NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO CORANTE EM COGUMELOS PARIS (*A. BISPORUS*)

##### 4.2.1 Cinética de impregnação a vácuo

Na Figura 8 são apresentadas as curvas da cinética de impregnação a vácuo de uma solução de  $\text{CaCl}_2$  aos cogumelos (três repetições do experimento). As variações de massa e volume das amostras foram consideradas nulas imediatamente após a imersão do sistema no líquido, resultando em uma  $F_R / g$  igual a zero em  $t=0$ .

FIGURA 8 - CINÉTICA DE IV DE UMA SOLUÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO EM COGUMELO PARIS



FONTE: A autora (2024).

Com o acionamento da bomba de vácuo, observou-se uma redução da força resultante exercida sobre o sistema (haste-recipiente perfurado-amostra), devido à saída do líquido nativo dos poros (transportado pelo gás em evasão) e uma possível expansão da amostra. No período de 27 a 300 segundos, a força resultante permaneceu praticamente constante, indicando que o equilíbrio na primeira etapa da IV foi alcançado nesse intervalo. Cabe destacar que nesse período a pressão do sistema também permaneceu constante e igual a 0,025 MPa (dados não mostrados). Após o restabelecimento da pressão atmosférica (aos 300 segundos), ocorreu um abrupto aumento na força resultante, devido à impregnação da solução na amostra. As possíveis variações de volume da amostra foram insignificantes, uma vez que a massa da amostra verificada pela pesagem após a IV foi igual a massa indicada pela célula de carga. O equilíbrio no segundo passo da IV foi atingido logo após o restabelecimento na pressão inicial.

Para garantir que o equilíbrio seja atingido nos dois passos da IV, foram estabelecidos para as próximas etapas do trabalho um período de vácuo e de relaxação iguais a 5 minutos, totalizando 10 minutos de processo.

#### 4.2.2 Estudo Qualitativo: Influência do vácuo na impregnação de uma solução de azul de metileno nos cogumelos (*A. bisporus*)

Os experimentos de impregnação dos cogumelos com a solução de azul de metileno ( $0,4 \text{ g L}^{-1}$ ) foram realizados a pressão atmosférica (10 min a vácuo + 5 a  $P_{\text{atm}}$ ). Após o tratamento, as amostras foram cortadas ao meio e fotografadas. É possível notar na Imagem 1 que a aplicação de vácuo durante um curto intervalo de tempo intensificou a coloração azul na superfície e a impregnação no interior do cogumelo, em comparação com as amostras impregnadas a pressão atmosférica (análise qualitativa). A alta porosidade do cogumelo também contribuiu para a IV, evidenciada pela penetração do corante. A coloração intensa do cogumelo tratado por IV demonstra qualitativamente a teoria proposta por Fito e Pastor (1994). Isso comprova que o uso de vácuo pode intensificar o processo de impregnação de uma solução de interesse nos cogumelos como, por exemplo, o processo de fortificação com cálcio.

Hofmeister (2003) também avaliou a impregnação de solução corante em frutas. Especialmente em maçãs descascadas a autora relatou que o uso de vácuo intensificou a coloração da fruta após 12 minutos de processo a uma pressão absoluta de 660 mmHg.

Marcussi (2005) estudou a impregnação de azul de metileno em peras e concluiu que a aplicação de vácuo nas amostras sem casca e sem talo intensificaram a penetração do corante nas diferentes condições de processo avaliadas. Entretanto, nenhuma diferença foi notada nas amostras tratadas a pressão atmosférica. Nem o tratamento mais longo (90 minutos) sob pressão atmosférica foi capaz de levar a uma impregnação significativa.

IMAGEM 1 - FOTOGRAFIAS DOS COGUMELOS PARIS IMPREGNADOS COM AZUL DE METILENO: (a) PRESSÃO ATMOSFÉRICA E (b) A VÁCUO (0,025 MPa).



FONTE: A autora (2024).

### 4.3 INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO DE CÁLCIO E SECAGEM CONVECTIVA SOB DIFERENTES TEMPERATURAS NA CINÉTICA DE PROCESSO E NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DO COGUMELO SECO

#### 4.3.1 Cinética de secagem convectiva a diferentes temperaturas

Na Figura 9 são apresentadas as cinéticas de secagem convectiva a 40 °C, 50 °C e 60 °C dos cogumelos controle e impregnados a vácuo com cálcio. É possível notar que as amostras controle e impregnadas a vácuo apresentaram cinética de

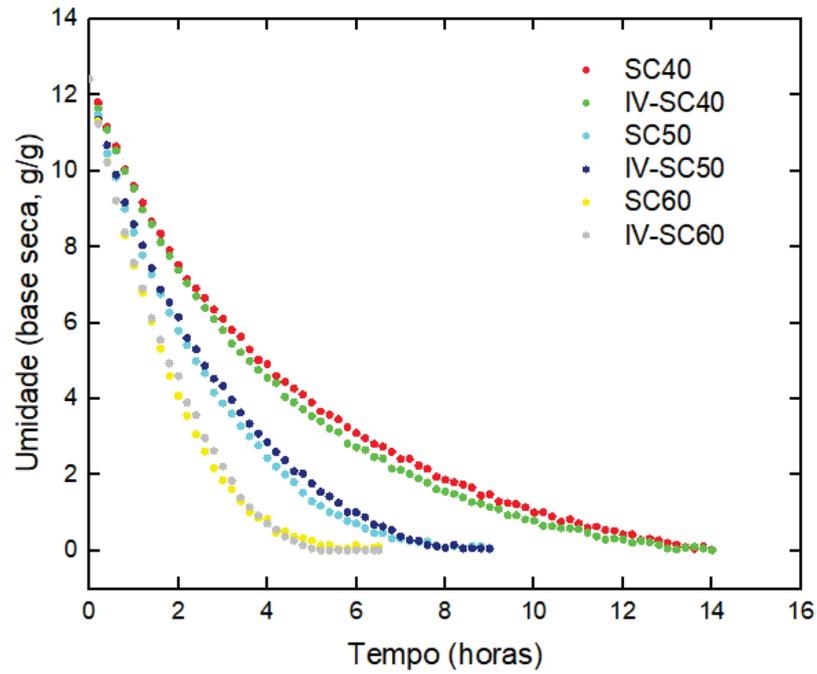
secagem similares, em todas as condições avaliadas (40, 50 e 60 °C). Isso ocorre em virtude de a água impregnada ser facilmente removida no início do processo.

Como esperado, houve um aumento na velocidade de secagem com o aumento da temperatura do ar de secagem. Isso implicou em uma redução nos tempos de secagem de 36,2% quando se alterou a temperatura de secagem de 40 °C para 50 °C, de 38,5% quando se aumentou a temperatura de 50 para 60 °C e de 62,2% quando se alterou a temperatura de secagem de 40 °C para 60 °C. Todas as comparações realizadas para atingir um valor de umidade igual 12 % (b.u.), conforme limite máximo estabelecido pela RDC Nº 726, de 1º de julho de 2022 - ANVISA. Pal e Chakraverty (1997) estudaram a secagem de *Pleurotus ostreatus* e observaram uma redução de 40 % no tempo de secagem quando se alterou a temperatura de secagem de 45 °C para 60 °C. Arora et al. (2003) encontraram resultados semelhantes para a secagem de cogumelos das espécies *A. bisporus* e *Pleurotus florida*. Apati (2004) cita reduções de 43,7 % no tempo de secagem de *Pleurotus ostreatus* com a mudança de temperatura de 40 °C para 60 °C, e 28,6 % de 50 °C para 60 °C.

Na Figura 10 são apresentadas as taxas de secagem convectiva a 40 °C, 50 °C e 60 °C dos cogumelos controle e impregnados a vácuo com cálcio. Verifica-se um período a taxa de secagem constante (umidade de 12 a 10 % b.s.) para a maioria das condições avaliadas. Isso deve-se ao transporte de umidade para a superfície ocorrer em velocidade suficiente para a manutenção da taxa de evaporação na superfície (RATTI; KUDRA, 2006). Além disso, observa-se que a taxa de secagem nesse período é fortemente dependente da taxa de transferência de calor para superfície, sendo aproximadamente 46,5 % maior para a processo realizado com temperatura do ar de 60 °C em comparação com a de 40 °C. Após esse período, observa-se o primeiro período a taxa de secagem decrescente - até o valor de umidade de aproximadamente 2 % (b.s.). Em seguida, é observado um segundo período a taxa/velocidade de secagem decrescente, tendendo a zero (momento que a umidade da amostra atinge a umidade de equilíbrio com o ar de secagem).

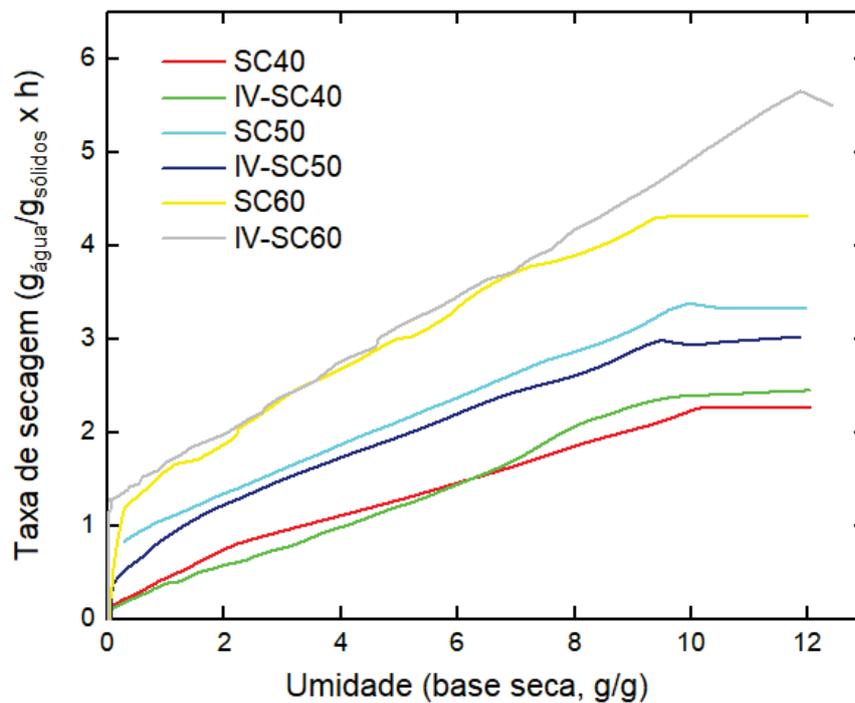
Embora a temperatura de 60 °C promova um aumento significativo na velocidade de secagem, essa temperatura pode provocar a degradação de compostos bioativos e redução da atividade antioxidante, além de alterações de cor (escurecimento) dos cogumelos (dados discutidos a seguir).

FIGURA 9 - CURVAS DE SECAGEM DOS COGUMELOS CONTROLES E IMPREGNADO, SECOS EM ESTUFA A 40, 50 E 60 °C.



FONTE: A autora (2024).

FIGURA 10 – TAXA DE SECAGEM DOS COGUMELOS CONTROLES E IMPREGNADOS, SECOS EM ESTUFA A 40, 50 E 60 °C.



FONTE: A autora (2024).

#### 4.3.2 Avaliação das propriedades físico-químicas e mecânicas do cogumelo seco

A umidade, atividade de água, dureza, parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , índice de escurecimento - IB), conteúdo de cálcio e razão de reidratação das amostras controle e impregnadas a vácuo submetidas à secagem convectiva são apresentadas na Tabela 2. As amostras controles secas a 40 °C, 50 °C e 60 °C foram denominadas de SC<sub>40</sub>, SC<sub>50</sub> e SC<sub>60</sub>, respectivamente. As amostras impregnadas a vácuo com cálcio submetidas à secagem a 40 °C, 50 °C e 60 °C foram denominadas IV-SC<sub>40</sub>, IV-SC<sub>50</sub> e IV-SC<sub>60</sub>, respectivamente.

Os menores valores de umidade e atividade de água foram encontrados a 50 °C para o controle e a 60 °C para os cogumelos impregnados com cálcio. Os resultados encontrados após a secagem dos cogumelos controles e impregnados, para todas as temperaturas, apresentaram valores de umidade inferiores a 12 % (b.u.), conforme estabelecido pela RDC N° 726, de 1° de julho de 2022 – ANVISA. Ainda, estão dentro da faixa estabelecida para alimentos estáveis do ponto de vista microbiológico, uma vez que apresentaram atividade de água inferior a 0,6 (CHISTÉ et al., 2007).

Com relação às propriedades mecânicas, os cogumelos tratados com cloreto de cálcio apresentaram valores ligeiramente maiores para a força máxima (dureza) que os controles, para todas as temperaturas avaliadas. Os corpos de frutificação dos cogumelos comestíveis não possuem pectina, sendo assim, o cálcio não atua como um agente de textura conforme observa-se em frutas e hortaliças (interação da pectina com o cálcio formando pectato de cálcio), mas sim como um agente de retenção de sais que favorece a manutenção da firmeza dos tecidos dos cogumelos. Além disso, a combinação da impregnação a vácuo com a secagem convectiva promoveu maior encolhimento dos cogumelos e conseqüentemente maior dureza do produto reidratado.

Analisando os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e o índice de escurecimento - IB) apresentados na Tabela 2, observa-se uma redução significativa nos valores de  $L^*$ , ou seja, uma redução na luminosidade das amostras com o aumento da temperatura de secagem, para ambos os tratamentos avaliados (sem e com impregnação de cálcio). Além disso, as amostras impregnadas a vácuo apresentaram menores valores de  $L^*$  em comparação com as amostras controle. O maior valor de  $L^*$  para os cogumelos impregnados foi observado para as amostras secas a 40 °C, valor

semelhante ao controle seco a 60 °C. Foram observados aumentos nos valores de  $a^*$  para todas as temperaturas de secagem nas amostras impregnadas a vácuo. Quanto maior a temperatura, maior o valor de  $a^*$  observado. Para o parâmetro  $b^*$  o comportamento foi inverso. A aplicação de vácuo antes da secagem ocasionou uma redução em seu valor. Os resultados para o índice de escurecimento seguiram o mesmo padrão que os parâmetros  $L^*$  e  $a^*$ , sendo maior para os cogumelos impregnados a vácuo e crescentes com a elevação de temperatura de secagem, como também pode ser observado na Imagem 2. As mudanças de cor ao longo da secagem em estufa são decorrentes, principalmente, do escurecimento causado por reações enzimáticas ou não enzimáticas entre carboidratos e aminoácidos a temperaturas elevadas (KOTWALIWALE et al., 2007).

TABELA 2 - UMIDADE ( $\text{g g}^{-1}$  b.s.), ATIVIDADE DE ÁGUA, DUREZA (N), PARÂMETROS DE COR ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , ÍNDICE DE ESCURECIMENTO - IB), CONTEÚDO DE CÁLCIO ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) E RAZÃO DE REIDRATAÇÃO DAS AMOSTRAS CONTROLES E IMPREGNADAS, SECAS EM ESTUFA A 40 °C, 50 °C E 60 °C.

Amostra	Umidade b.s. ( $\text{g g}^{-1}$ )	$a_w$	Dureza (N)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	IB	Cálcio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Razão de reidratação
SC <sub>40</sub>	0,079 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,34 ± 0,00 <sup>b</sup>	1,7 ± 0,4 <sup>bc</sup>	70,28 ± 0,02 <sup>a</sup>	3,76 ± 0,05 <sup>d</sup>	17,6 ± 0,1 <sup>b</sup>	32,3 ± 0,3 <sup>f</sup>	416 ± 19 <sup>d</sup>	3,6 ± 0,3 <sup>a</sup>
SC <sub>50</sub>	0,053 ± 0,008 <sup>b</sup>	0,33 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,6 ± 0,4 <sup>bc</sup>	64,27 ± 0,09 <sup>b</sup>	3,83 ± 0,09 <sup>d</sup>	16,7 ± 0,2 <sup>cd</sup>	33,9 ± 0,5 <sup>e</sup>	383 ± 8 <sup>d</sup>	3,0 ± 0,4 <sup>ab</sup>
SC <sub>60</sub>	0,062 ± 0,003 <sup>ab</sup>	0,32 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,2 ± 0,4 <sup>c</sup>	61,2 ± 0,4 <sup>c</sup>	4,79 ± 0,08 <sup>b</sup>	17,95 ± 0,06 <sup>a</sup>	39,9 ± 0,5 <sup>b</sup>	391 ± 21 <sup>d</sup>	3,0 ± 0,3 <sup>ab</sup>
IV-SC <sub>40</sub>	0,086 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,38 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	61,04 ± 0,27 <sup>c</sup>	3,92 ± 0,10 <sup>d</sup>	16,32 ± 0,12 <sup>e</sup>	35,27 ± 0,17 <sup>d</sup>	27397 ± 540 <sup>b</sup>	2,5 ± 0,2 <sup>bc</sup>
IV-SC <sub>50</sub>	0,083 ± 0,017 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,01 <sup>ab</sup>	2,4 ± 0,4 <sup>ab</sup>	57,63 ± 0,04 <sup>d</sup>	4,26 ± 0,01 <sup>c</sup>	16,47 ± 0,09 <sup>de</sup>	38,49 ± 0,23 <sup>c</sup>	29200 ± 391 <sup>a</sup>	2,7 ± 0,1 <sup>bc</sup>
IV-SC <sub>60</sub>	0,067 ± 0,006 <sup>ab</sup>	0,35 ± 0,01 <sup>ab</sup>	2,2 ± 0,3 <sup>ab</sup>	51,44 ± 0,31 <sup>e</sup>	5,46 ± 0,03 <sup>a</sup>	16,76 ± 0,03 <sup>c</sup>	46,56 ± 0,30 <sup>a</sup>	23043 ± 603 <sup>c</sup>	2,2 ± 0,1 <sup>c</sup>

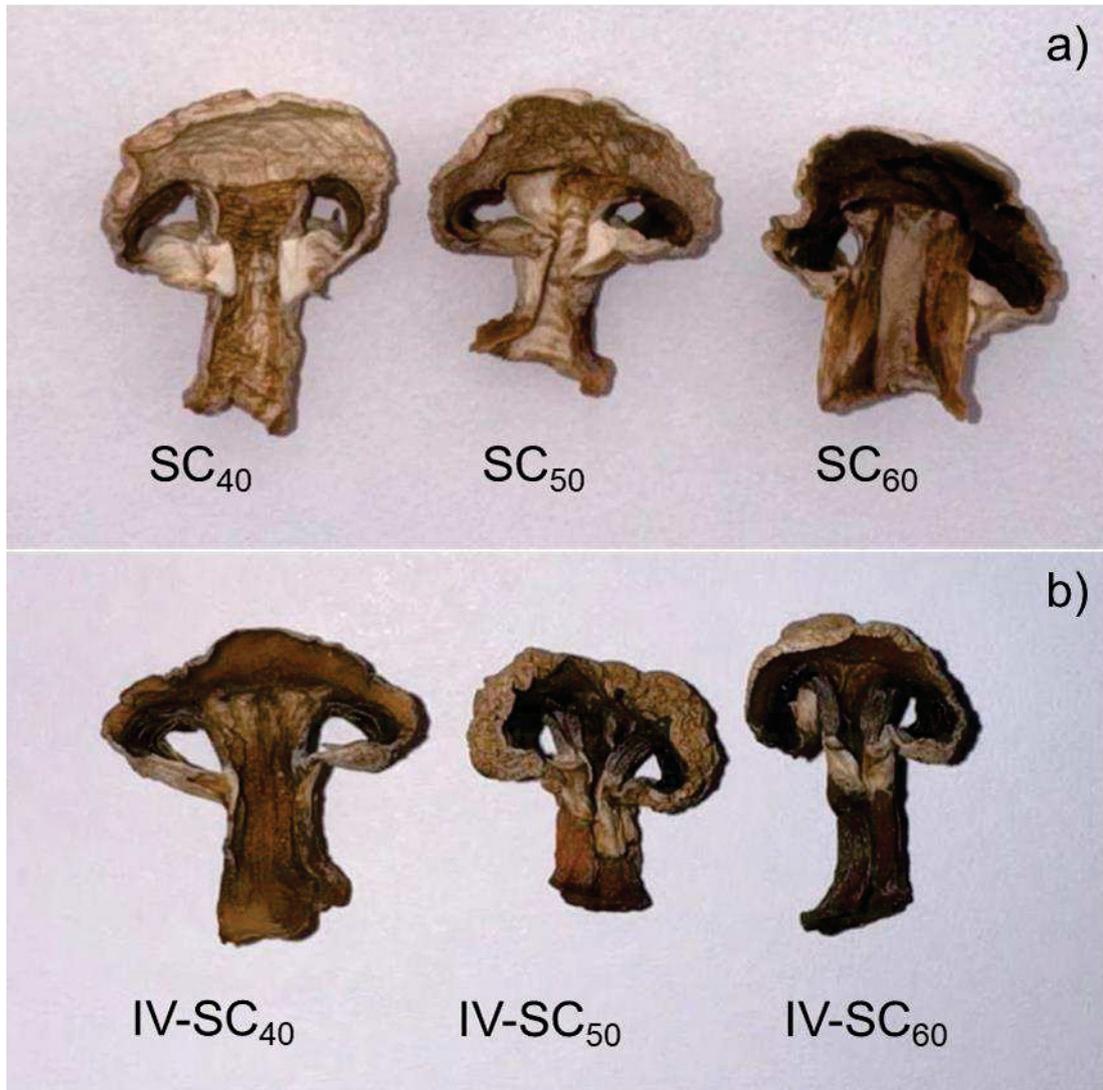
FONTE: A autora (2024).

As amostras controles apresentaram concentração média de cálcio de 383 a 416 mg kg<sup>-1</sup>, e não diferiram significativamente entre si (Tabela 2). A impregnação a vácuo possibilitou aumentar o conteúdo inicial de cálcio das amostras de 59 a 76 vezes. Assim, o consumo de cerca de 40 g de cogumelo seco satisfaria 100 % da Ingestão Diária Recomendada de cálcio (IDR) (IDR cálcio = 1000 mg por dia; FAO/OMS, 2001). Ortíz et al. (2003) também avaliaram a impregnação a vácuo de cálcio em Cogumelo Paris através da imersão das amostras em soluções aquosas de sal isotônico agitado (5,88 % p p<sup>-1</sup> de sais de cálcio), utilizando uma mistura de gluconato de cálcio e lactato de cálcio, pressão de 30 mmHg por 15 minutos e restauração da pressão atmosférica mantida por mais 15 minutos. A concentração de cálcio relatada foi de 2400 a 3200 ppm. Segundo os autores, o cálcio incorporado em 100 g de cogumelo satisfaria cerca de 24 a 32 % do IDR. A quantidade de cálcio impregnada verificada pelos autores citados acima foi menor que a quantidade obtida nesse estudo, e pode ser explicada principalmente pelos diferentes sais de cálcio utilizados e suas solubilidades menores em temperatura ambiente que o cloreto de cálcio, além da variabilidade biológica dos cogumelos de acordo com sua condição de cultivo e estrutura celular.

As amostras controles apresentaram maior razão de reidratação que as amostras impregnadas com cálcio. A razão de reidratação foi influenciada pelo processo de IV e não houve influência das diferentes temperaturas utilizadas. Estas diferenças na razão de reidratação podem ser causadas por diferentes graus de dano tecidual (encolhimento celular, endurecimento superficial) e pelas mudanças físicas e químicas ocorridas nas amostras ocorridas pela combinação da IV com a secagem convectiva. A capacidade de reidratação está estreitamente correlacionada com a porosidade do material, ou seja, quanto mais porosos os produtos, maior a facilidade de reidratação (KROKIDA; PHILIPPOPOULOS, 2005). As micrografias das amostras IV-SC<sub>40</sub>, IV-SC<sub>50</sub> e IV-SC<sub>60</sub> apresentadas nas Imagens 3, 4 e 5 confirmam que as amostras impregnadas a vácuo apresentaram maior encolhimento dos tecidos, ocasionando a redução de sua porosidade. Outro parâmetro que influencia na razão de reidratação é a dureza do material (SCAMAN et al., 2014). Como já apresentado, as amostras submetidas à IV apresentaram-se mais firmes, provavelmente por conta de sua microestrutura menos porosa. Por conseguinte, obtiveram razões de reidratação menores. Outros autores também observaram menor capacidade de

reidratação em produtos vegetais que se apresentavam, em sua estrutura seca final, mais rígidos (SCAMAN et al., 2014; KUMAR et al., 2013).

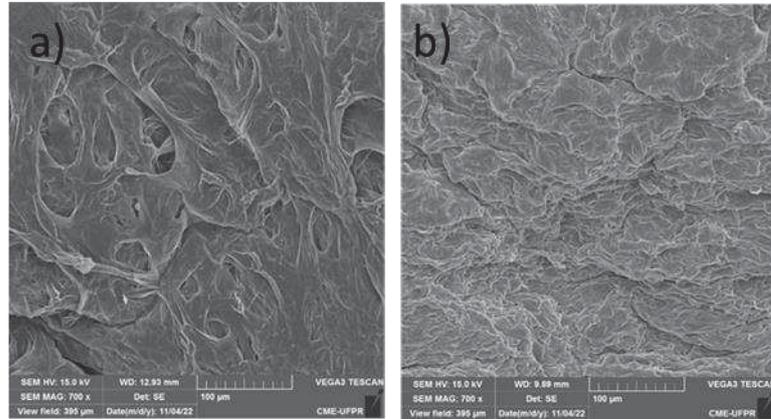
IMAGEM 2 - FOTOGRAFIA DOS COGUMELOS SECOS EM ESTUFA A 40, 50 E 60 °C (SC<sub>40</sub>, SC<sub>50</sub>, SC<sub>60</sub>, IV-SC<sub>40</sub>, IV-SC<sub>50</sub> E IV-SC<sub>60</sub>), (a) AMOSTRAS CONTROLE, (b) AMOSTRAS IMPREGNADAS A VÁCUO.



FONTE: A autora (2024).

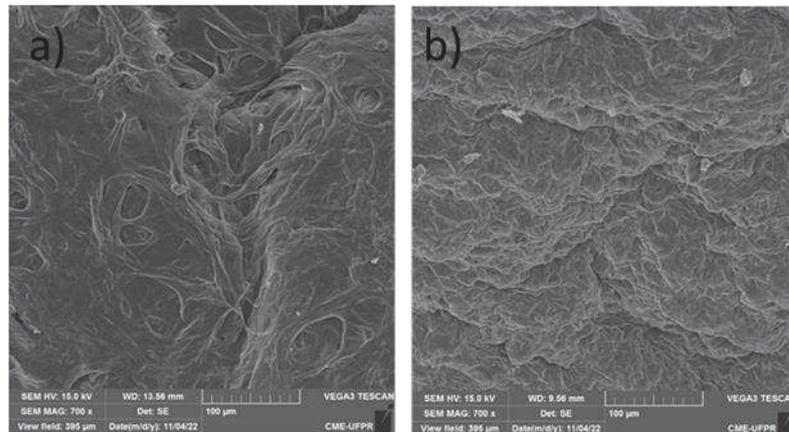
A avaliação da estrutura dos cogumelos através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) é apresentada nas Imagens 3, 4 e 5. É possível observar que o processo de impregnação a vácuo combinado à secagem em estufa convectiva ocasionou maior encolhimento e retração dos poros dos cogumelos. Este comportamento foi mais intenso com a elevação da temperatura. A temperatura de secagem de 60 °C (Imagem 5 (b)) foi a condição que mais afetou a estrutura do cogumelo.

IMAGEM 3 - ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS (a) SC<sub>40</sub>; (b) IV-SC<sub>40</sub>.



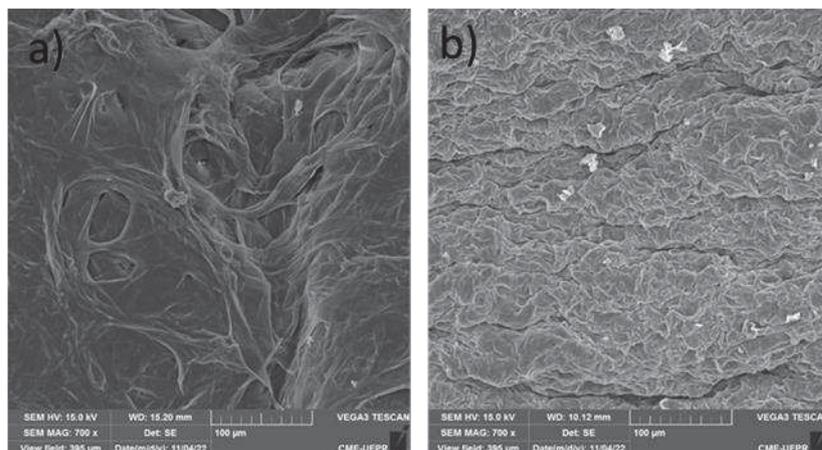
FONTE: A autora (2024).

IMAGEM 4 - ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS (a) SC<sub>50</sub>; (b) IV-SC<sub>50</sub>.



FONTE: A autora (2024).

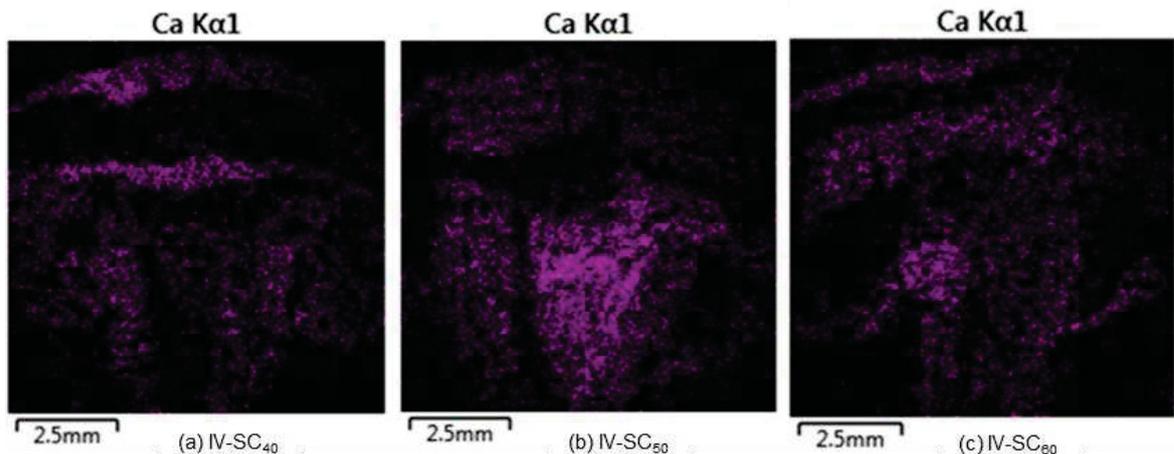
IMAGEM 5 - ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS (a) SC<sub>60</sub>; (b) IV-SC<sub>60</sub>.



FONTE: A autora (2024).

A análise de MEV/EDS (Imagem 6) permitiu identificar um aumento na concentração e uma distribuição uniforme de cálcio nas amostras impregnadas a vácuo. E não foi possível identificar esse mineral nas amostras controles durante a varredura. Isso indica que os gradientes de pressão impostos (vácuo + restabelecimento da pressão inicial) foram eficientes para a entrada de solução nos poros das amostras, diminuindo o caminho difusivo para a distribuição de cálcio. Esse resultado corrobora os resultados apresentados na Tabela 2 de concentração de cálcio.

IMAGEM 6 - DISTRIBUIÇÃO DE CÁLCIO NA ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS IMPREGNADO A VÁCUO E SECO EM ESTUFA CONVECTIVA A (a) 40 °C, (b) 50 °C e (c) 60 °C.

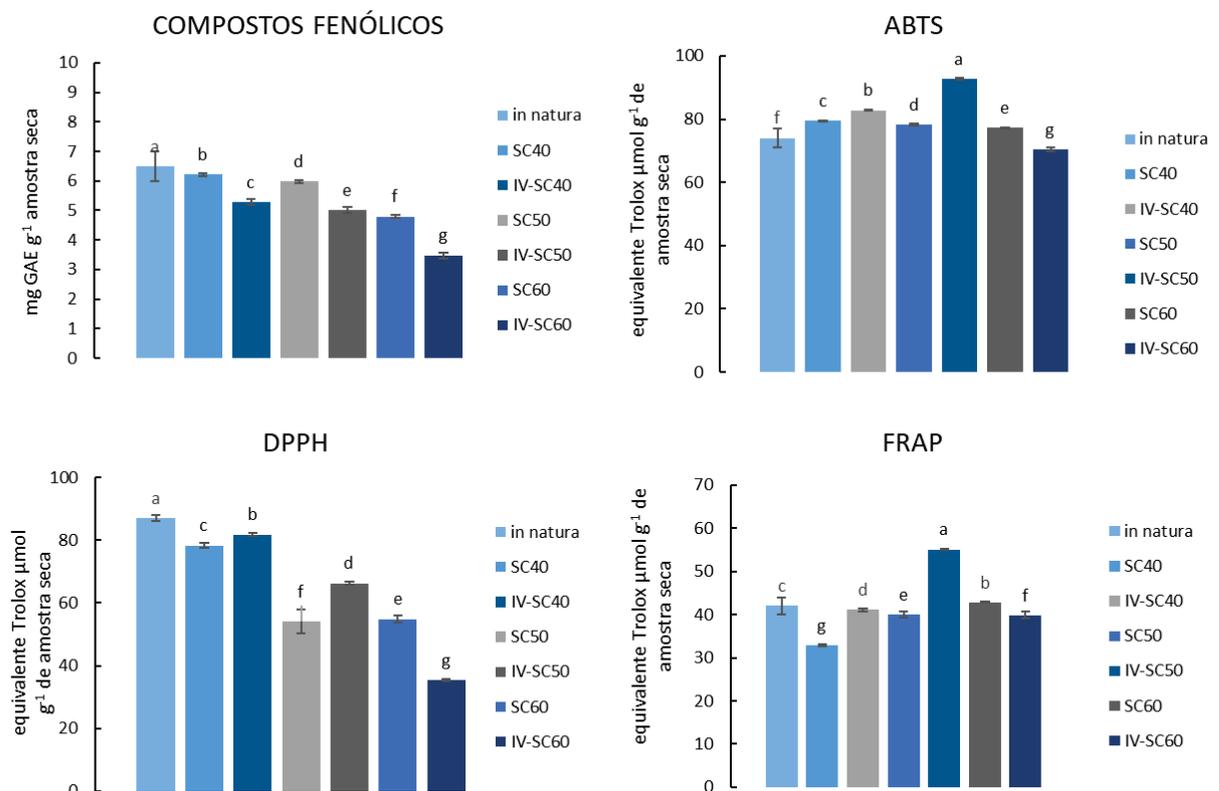


FONTE: A autora (2024).

O conteúdo fenólico total dos cogumelos é apresentado na Figura 11. Como esperado, as amostras impregnadas a vácuo apresentaram um menor conteúdo fenólico em relação às amostras controles em função do aumento da massa seca (impregnação de cloreto de cálcio) e da lixiviação de compostos fenólicos hidrossolúveis que migram juntamente com o líquido nativo dos poros durante a etapa a vácuo. Para ambas as amostras (controle e impregnadas com cálcio), a elevação da temperatura apresentou maior efeito sobre os compostos fenólicos, sendo que as menores concentrações foram encontradas nas amostras impregnadas a vácuo e desidratadas a 60 °C (IV-SC<sub>60</sub>) e o maior conteúdo fenólico total para as controle secas a 40 °C (SC<sub>40</sub>).

As amostras impregnadas com cálcio e secas a 40 °C e 50 °C apresentaram uma maior atividade antioxidante em relação às amostras controle para os três métodos avaliados (Figura 11 - ABTS, DPPH e FRAP). A temperatura do ar de secagem de 60 °C provocou uma redução na atividade antioxidante dos cogumelos impregnados comparados com a amostra *in natura* de aproximadamente 5% para os métodos ABTS e FRAP e de 59% para o DPPH. A maior atividade antioxidante dos cogumelos impregnados com cálcio e secos a 40 °C e 50 °C em relação ao cogumelo *in natura* pode estar associada à liberação de ergotioneína das estruturas proteicas da matriz, ocasionada pelas variações de pressão durante a IV (MIRZAEI-BAKTASH et al., 2022).

FIGURA 11 - CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE: ABTS (EQUIVALENTE TROLOX  $\mu\text{mol g}^{-1}$ , DPPH (EQUIVALENTE TROLOX  $\mu\text{mol g}^{-1}$  e FRAP (EQUIVALENTE TROLOX  $\mu\text{mol g}^{-1}$ ) DOS COGUELOS CONTROLE OU IMPREGNADOS COM CÁLCIO E SECOS EM ESTUFA A 40 °C, 50 °C E 60 °C.



FONTE: A autora (2024).

#### 4.4 INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO DE CÁLCIO E DO MÉTODO DE CONGELAMENTO COMO PRIMEIRA ETAPA DA LIOFILIZAÇÃO NA CINÉTICA DE PROCESSO E NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DO COGUMELO SECO

##### 4.4.1 Cinética de liofilização utilizando diferentes métodos de congelamento como etapa inicial

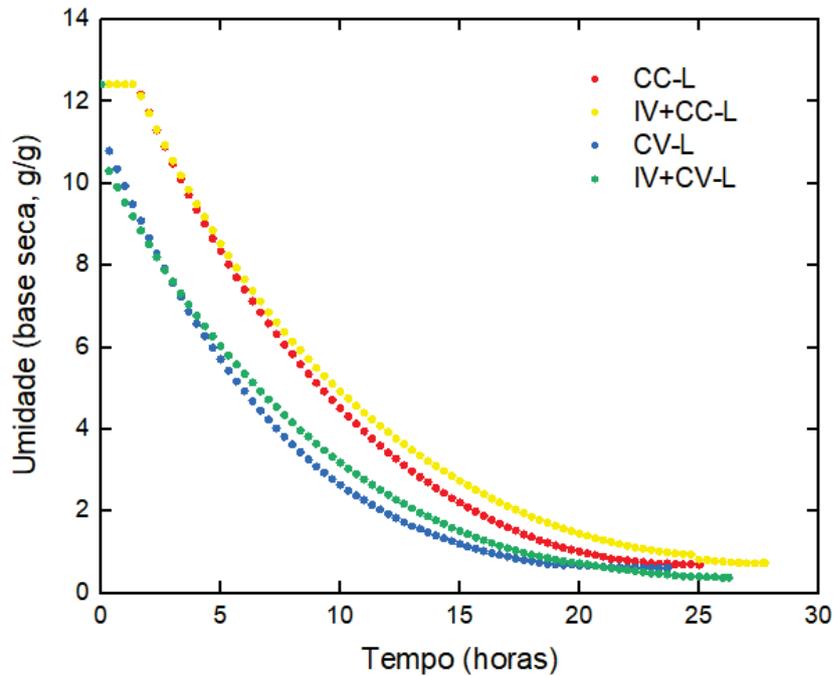
Na Figura 12 são apresentadas as cinéticas de liofilização utilizando o congelamento por contato com superfície e ar frios (denominado congelamento convencional - CC) ou o congelamento a vácuo (CV) dos cogumelos controles e impregnados com cálcio. Essas cinéticas representam a variação da umidade das amostras em todas as etapas da liofilização: (I) congelamento, (II) sublimação e (III) dessorção. Para as amostras submetidas aos processos CC-L (congelamento convencional seguido de liofilização) e IV+CC-L (impregnação a vácuo de cálcio seguida de congelamento convencional e liofilização), o fim da etapa (I) foi determinado como o tempo necessário para que a temperatura no centro geométrico da fatia atingisse  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o que levou aproximadamente 1,5 horas. Durante esse período, não houve variação de umidade nas amostras. No entanto, uma significativa redução de umidade foi observada na etapa (I) para as amostras submetidas ao CV-L (congelamento a vácuo seguido das etapas subsequentes da liofilização) e IV+CV-L (impregnação a vácuo seguida de congelamento a vácuo e liofilização), pois a remoção do calor do produto é conseguida através da evaporação da água livre e da sublimação do gelo formado a baixas pressões. Para CV-L e IV+CV-L, a sublimação de parte do gelo ocorre simultaneamente ao congelamento. Por outro lado, nos processos CC-L e IV+CC-L, a etapa de sublimação começa apenas após a transferência das amostras para o liofilizador e redução da pressão abaixo da pressão correspondente o ponto triplo da água ( $\sim 611\text{ Pa}$ ). Observa-se que os processos CV-L e IV+CV-L foram mais eficientes na redução da umidade durante a etapa (II), na qual as taxas de migração do vapor dependem principalmente do tamanho dos poros e da microestrutura da camada congelada (MARQUES; FERREIRA; FREIRE, 2007). A sublimação cessa quando não há mais gelo na matriz, e a partir desse ponto, a taxa de secagem diminui drasticamente, indicando o início da etapa (III) (GHIO; BARRESI; ROVERO, 2000; MUJUMDAR, 2014, SILVA; SCHMIDT, 2022). Embora parte da água

ligada seja removida por dessorção através da camada seca formada durante a sublimação, esse fenômeno ocorre predominantemente quando resta apenas a fração de água que não congelou (água ligada). A energia necessária para remover a água ligada é maior que a energia necessária para a sublimação e com isso a velocidade de secagem cai drasticamente, conforme pode ser observado na Figura 12, para todos os processos avaliados (CC-L, IV+CC-L, CV-L e IV+CV-L). Como durante os experimentos não foi utilizada nenhuma fonte adicional de calor, essa etapa se estendeu demasiadamente. Observando a Figura 12 fica claro que a utilização do método a vácuo como etapa inicial de congelamento do processo de liofilização do cogumelo pode diminuir consideravelmente o tempo de secagem. A umidade das amostras submetidas ao CV-L e IV+CV-L foi reduzida em 20 % (de 12,4 a 9,9 g g<sup>-1</sup>) e 23 % (de 12,4 a 9,5 g g<sup>-1</sup>) do valor inicial, respectivamente, durante a primeira hora de processo. Para CC-L e IV+CC-L, no mesmo período, esse valor foi de 11 % (de 12,4 a 11,10 g g<sup>-1</sup>) e 10 % (de 12,4 a 11,12 g g<sup>-1</sup>) do valor inicial, respectivamente. Para se atingir o valor máximo de umidade estabelecido pela RDC nº 726, de 1º de julho de 2022 – ANVISA, para produtos de vegetais secos ou desidratados, o tempo para o processo IV+CV+L foi de 26 horas, enquanto para o IV+CC-L foi de 28 horas.

Na Figura 13 são apresentadas as taxas de liofilização utilizando o congelamento por contato com superfície e ar frios ou o congelamento a vácuo dos cogumelos controles e impregnados com cálcio. Para o processo CV-L e IV+CV-L, observam-se dois estágios distintos de secagem. O primeiro apresenta uma taxa constante, com valores de umidade variando de 11,0 a 8,9 g/g (CV-L) e 11,2 a 9,0 g/g (IV+CV-L), seguido por um estágio final a taxa decrescente a partir de 8,6 g/g (CV-L) e 8,9 g/g (IV+CV-L) de umidade. O período de declínio da taxa de secagem está relacionado com a perda de massa durante o congelamento a vácuo e com o avanço da camada seca, que promove maior resistência à transferência de massa (MARQUES; FREIRE, 2005). Nessa fase, as amostras congeladas a vácuo mantiveram taxas de liofilização mais elevadas em comparação com aquelas congeladas por contato com superfície e ar frios. No estágio final, durante a etapa de dessorção, as taxas de liofilização dos dois processos se aproximaram, alcançando valores semelhantes a partir de uma umidade de 2,5 g/g para CV-L, 2,8 g/g para IV+CV-L, 2,6 g/g para CC-L e 3,2 g/g para IV+CC-L. A partir deste ponto, seria necessário fornecer energia ao sistema para aumentar as taxas de secagem, visto

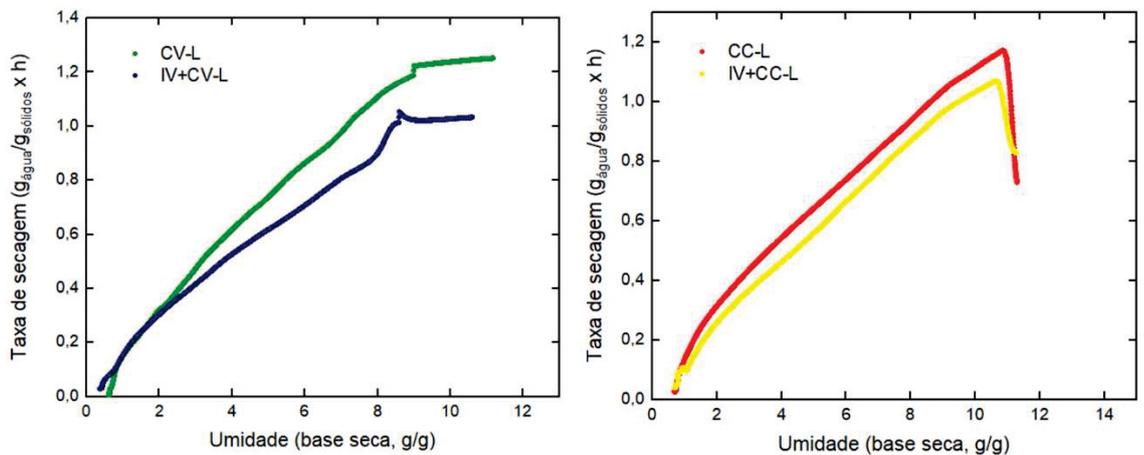
que a energia requerida para remover a água ligada é maior do que aquela necessária para sublimar o gelo (SILVA; SCHMIDT, 2022).

FIGURA 12 - CINÉTICA DE LIOFILIZAÇÃO DOS COGUELOS CONTROLES E FORTIFICADOS COM CÁLCIO CONGELADOS POR CONTATO OU A VÁCUO E LIOFILIZADOS.



FONTE: A autora (2024).

FIGURA 13 – TAXA DE LIOFILIZAÇÃO DOS COGUELOS CONTROLES E IMPREGNADOS CONGELADOS POR CONTATO OU A VÁCUO.



FONTE: A autora (2024).

#### 4.4.2 Avaliação das propriedades físico-químicas e mecânicas do cogumelo seco

A umidade, atividade de água, dureza, parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , índice de escurecimento - IB), conteúdo de cálcio e razão de reidratação das amostras controle e impregnadas a vácuo submetidas à liofilização utilizando congelamento convencional ou a vácuo são apresentadas na Tabela 3. As amostras controles congeladas por contato superfície e ar frios ou a vácuo e liofilizadas foram denominadas de CC-L e CV-L, respectivamente. Já as amostras impregnadas a vácuo com cálcio, congeladas por contato ou a vácuo e liofilizadas foram denominadas de IV+CC-L e IV+CV-L, respectivamente.

Os menores valores de umidade e atividade de água foram encontrados para CV-L e IV+CV-L. Os resultados encontrados após a liofilização dos cogumelos controles e impregnados, para ambos os métodos de congelamento, apresentaram concentrações de umidade inferiores 12 % conforme estabelecido pela RDC N° 726, de 1° de julho de 2022 – ANVISA e encontram-se dentro da faixa estabelecida para alimentos estáveis do ponto de vista microbiológico, uma vez que apresentaram atividade de água inferior que 0,6 (CHISTÉ et al., 2007). Foi possível verificar que o método de congelamento a vácuo foi o que mais afetou a concentração de água de *A. bisporus*, devido esse ser obtido pela evaporação e sublimação da água livre do produto.

TABELA 3 - UMIDADE ( $\text{g g}^{-1}$  b.s.), ATIVIDADE DE ÁGUA, DUREZA (N),  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , ÍNDICE DE ESCURECIMENTO (IB), CONTEÚDO DE CÁLCIO ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) E RAZÃO DE REIDRATAÇÃO DAS AMOSTRAS CONTROLE E IMPREGNADAS, CONGELADAS POR CONTATO OU A VÁCUO E LIOFILIZADAS.

Amostra	Umidade b.s. ( $\text{g g}^{-1}$ )	$a_w$	Dureza (N)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	IB	Cálcio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Razão de reidratação
CC-L	$0,086 \pm 0,013^a$	$0,24 \pm 0,00^c$	$0,8 \pm 0,1^b$	$89,21 \pm 0,01^a$	$0,25 \pm 0,04^d$	$10,51 \pm 0,06^b$	$12,45 \pm 0,04^c$	$356,8 \pm 9,0^c$	$5,8 \pm 0,2^b$
CV-L	$0,045 \pm 0,013^b$	$0,17 \pm 0,01^d$	$1,7 \pm 0,3^a$	$88,12 \pm 0,10^b$	$0,57 \pm 0,04^c$	$10,57 \pm 0,12^b$	$12,96 \pm 0,18^{bc}$	$353,7 \pm 19,8^c$	$7,3 \pm 0,3^a$
IV+CC-L	$0,075 \pm 0,018^{ab}$	$0,42 \pm 0,00^a$	$0,7 \pm 0,2^b$	$83,72 \pm 0,44^d$	$1,03 \pm 0,04^b$	$13,34 \pm 0,29^a$	$17,87 \pm 0,34^a$	$20172,0 \pm 592,4^b$	$6,9 \pm 0,2^a$

<b>IV+CV-L</b>	0,047 ± 0,002 <sup>b</sup>	0,33 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,9 ± 0,1 <sup>b</sup>	85,77 ± 0,44 <sup>c</sup>	1,21 ± 0,11 <sup>a</sup>	10,80 ± 0,55 <sup>b</sup>	14,19 ± 0,89 <sup>b</sup>	24667,5 ± 952,5 <sup>a</sup>	7,5 ± 0,4 <sup>a</sup>
----------------	-------------------------------	--------------------------------	------------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------	------------------------------	---------------------------------	------------------------

FONTE: A autora (2024).

Com relação às propriedades mecânicas, os cogumelos tratados com cloreto de cálcio apresentaram menor dureza que os controles, para todas as condições avaliadas. Comportamento contrário ao verificado para as amostras secas em estufa. Essa alteração nas propriedades mecânicas pode estar relacionada com o fenômeno de deformação-relaxação dos poros do cogumelo que acontece durante a impregnação a vácuo combinado com a estrutura extremamente porosa obtida pelo processo de liofilização, promovendo alterações no comportamento mecânico do produto reidratado.

Analisando os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e o índice de escurecimento - IB) apresentados na Tabela 3, observa-se que os resultados de  $L^*$  indicam que o processo de impregnação a vácuo de cálcio e o método de congelamento afetaram a luminosidade das amostras, visto que houve diferença significativa entre os valores médios de  $L^*$  para cada tratamento. O processo CC-L ofereceu um produto com maior luminosidade (89,21). Por outro lado, nas amostras impregnadas a vácuo a maior luminosidade foi obtida no IV+CV-L (85,77). Foram observados aumentos nos valores de  $a^*$  em ambos os métodos de congelamento quando houve a aplicação da impregnação a vácuo. Com relação ao  $b^*$ , apenas a impregnação a vácuo combinada com o congelamento convencional (IV+CC-L) ocasionou aumento significativo no valor desse parâmetro. Os resultados para o índice de escurecimento mostraram que a impregnação a vácuo resultou em produtos com maior escurecimento, e o método de congelamento convencional resultou no cogumelo com maior escurecimento, conforme observado na Imagem 7.

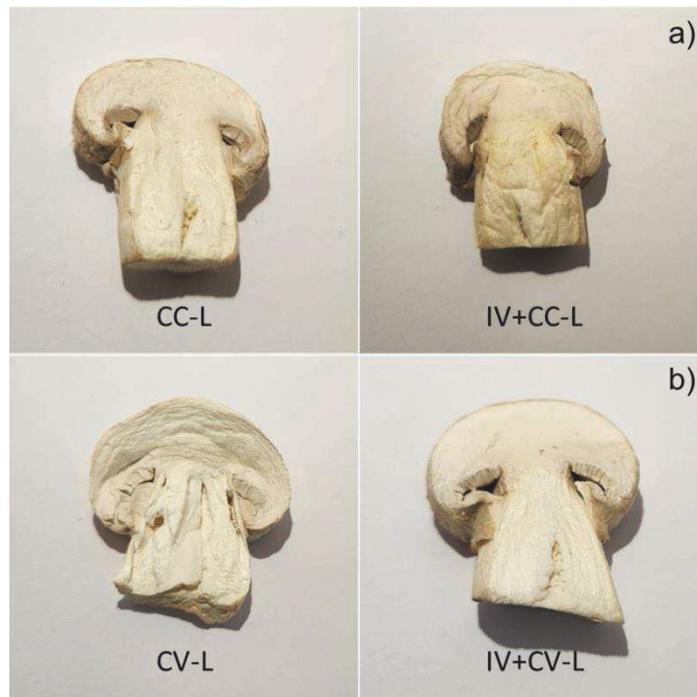
As amostras controles apresentaram concentração média de cálcio de 356,8 mg kg<sup>-1</sup> (CC-L) e 353,7 mg kg<sup>-1</sup> (CV-L), e não diferiram entre si significativamente (Tabela 3). O uso de vácuo no processo de impregnação possibilitou aumentar o conteúdo inicial de cálcio das amostras de 56 a 69 vezes. Os diferentes métodos de congelamento também tiveram influência na concentração final de cálcio. A maior concentração de cálcio foi obtida para o cogumelo impregnado e congelado a vácuo (IV+CV-L: 24668 ± 952 mg kg<sup>-1</sup>). Assim, o consumo de cerca de 40 g de cogumelo

seco satisfaria 100 % da Ingestão Diária Recomendada de cálcio (IDR) (IDR cálcio = 1000 mg por dia; FAO/OMS, 2001).

As amostras impregnadas a vácuo apresentaram maior razão de reidratação que os seus respectivos controles. A razão de reidratação foi influenciada pelo processo de IV e pelo método de congelamento utilizado na liofilização, sendo que o uso de vácuo no processo de congelamento possibilitou obter produtos com maiores valores de razão de reidratação. A aplicação de vácuo altera os poros dentro dos tecidos, esse efeito é explicado pelo mecanismo hidrodinâmico (HDM) e fenômenos de deformação-relaxação (DRP) que ocorrem no vácuo e no período de restauração da pressão atmosférica. Ao longo da aplicação do vácuo, os poros se expandem e ocorre a saída do gás, no reestabelecimento da pressão os canais se enchem com a solução de impregnação por diferença de pressão como a força motriz, desta forma o produto obtido apresenta uma estrutura mais porosa, facilitando a reidratação (SAGAR; SURESH KUMAR, 2010). Além disso, a saída forçada de ar e vapor d'água durante a secagem produz uma maior porosidade no produto, que contribui para sua reidratação. Scaman et al. (2014) também verificaram a maior porosidade e razão de reidratação de materiais secos a vácuo com estudos microscópicos de maçãs e batatas desidratadas. Para os controles, nota-se que o método de congelamento a vácuo possibilitou obter amostras com maior razão de reidratação mesmo com uma dureza superior, indicando que a porosidade resultante da aplicação do vácuo favorece a reidratação.

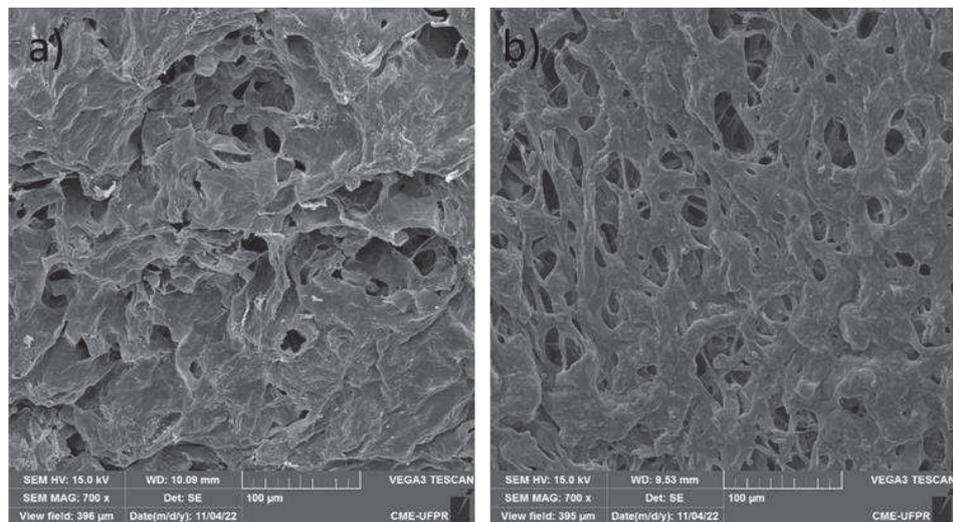
A avaliação da estrutura dos cogumelos através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) é apresentada nas Imagens 8 e 9. É possível observar que o processo de impregnação a vácuo combinado com a liofilização com congelamento a vácuo resultou em uma estrutura extremamente porosa com pouco ou nenhum encolhimento, condição ideal para o processo de reidratação de forma mais rápida e eficiente.

IMAGEM 7 - FOTOGRAFIA DOS COGUELOS CONTROLES E IMPREGNADOS A VÁCUO LIOFILIZADOS (CC-L, IV+CC-L, CV-L, IV+CV-L), (a) AMOSTRAS CONGELAMENTO CONVENCIONAL, (b) AMOSTRAS CONGELAMENTO A VÁCUO.



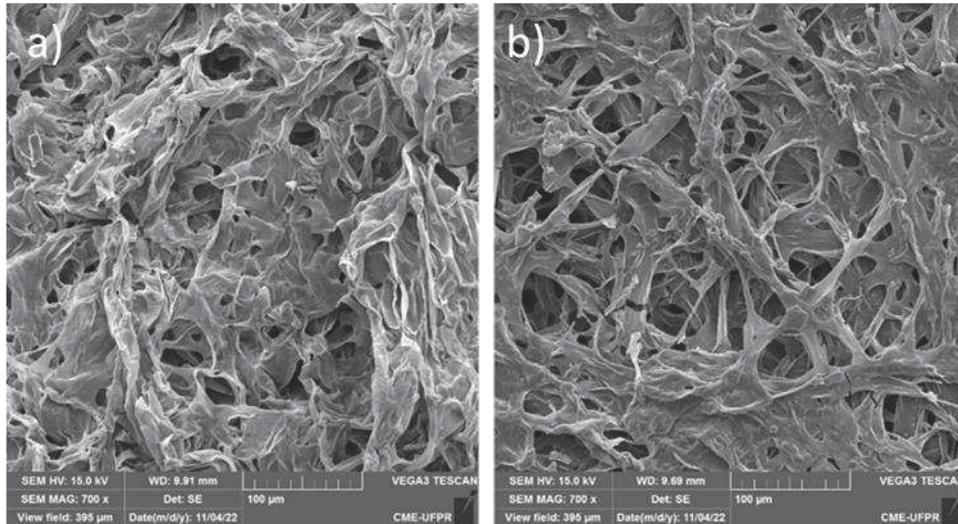
FONTE: A autora (2024).

IMAGEM 8 - ESTRUTURA DO COGUELO PARIS (a) CC-L; (b) IV+CC-L.



FONTE: A autora (2024).

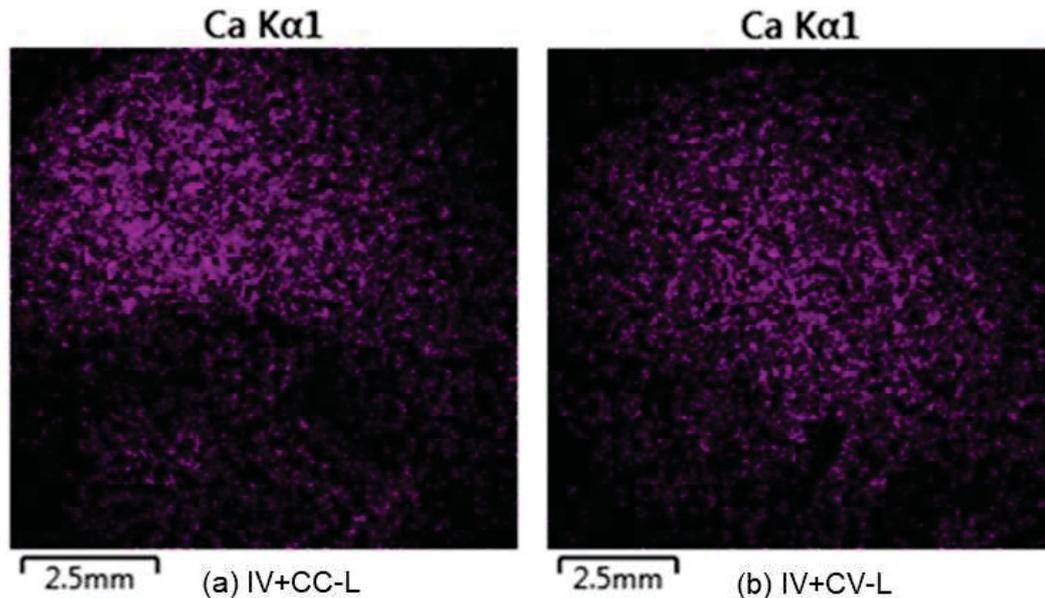
IMAGEM 9 - ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS (a) CV-L; (b) IV+CV-L.



FONTE: A autora (2024).

A análise de MEV/EDS (Imagem 10) permitiu identificar um aumento na concentração e uma distribuição uniforme de cálcio nas amostras impregnadas a vácuo, visto que as amostras controles não apresentaram a presença de cálcio durante a varredura. Isso indica que os gradientes de pressão impostos (vácuo + restabelecimento da pressão inicial) foram eficientes para a entrada de solução nos poros das amostras, diminuindo o caminho difusivo para a distribuição de cálcio. O método de congelamento da liofilização também afetou o conteúdo de cálcio no cogumelo, o congelamento a vácuo permitiu obter um produto com concentração superior ao obtido com o congelamento por contato superfície/ar frio, isso pode ser observado na Imagem 10 pela maior quantidade e intensidade dos pontos iluminados em roxo. Esse resultado corrobora os resultados da concentração de cálcio apresentados na Tabela 3.

IMAGEM 10 - DISTRIBUIÇÃO DE CÁLCIO NA ESTRUTURA DO COGUMELO PARIS IMPREGNADO A VÁCUO E LIOFILIZADO (a) UTILIZANDO CONGELAMENTO POR CONTATO SUPERFÍCIE/AR FRIO E LIOFILIZADO (b) UTILIZANDO CONGELAMENTO A VÁCUO.



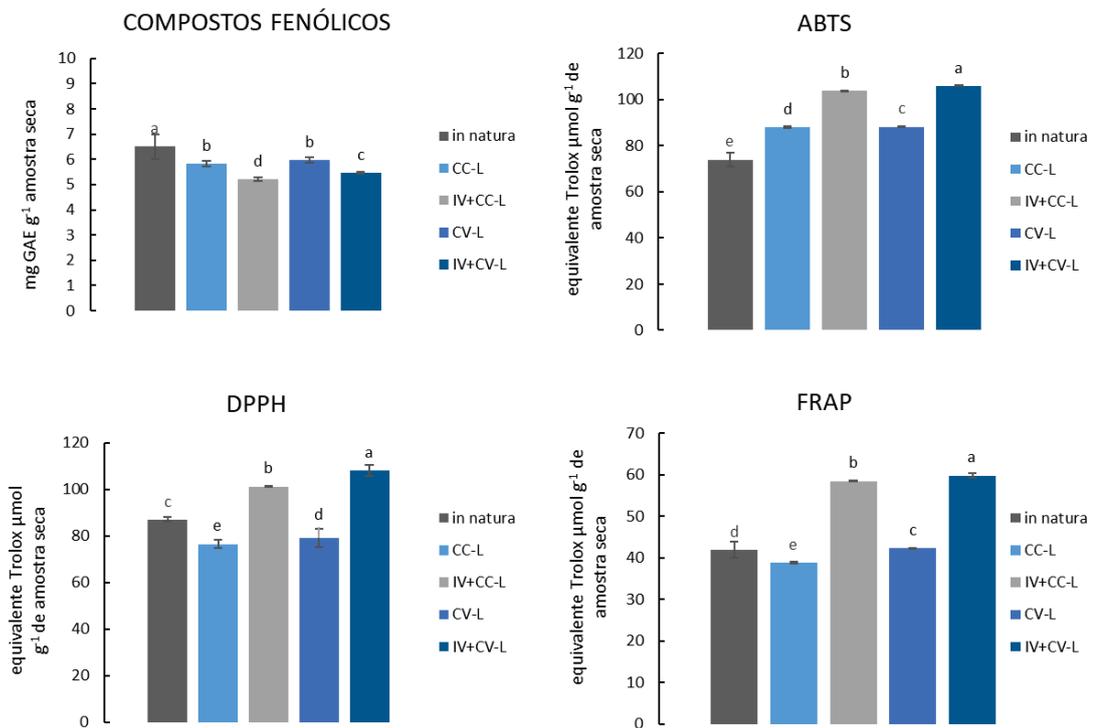
FONTE: A autora (2024).

O conteúdo fenólico total dos cogumelos é apresentado na Figura 14. Como esperado, as amostras impregnadas a vácuo apresentaram um menor conteúdo fenólico em relação aos controles em função do aumento da massa seca (impregnação de cloreto de cálcio) e da lixiviação de compostos fenólicos hidrossolúveis que migram juntamente com o líquido nativo dos poros durante a impregnação a vácuo. Com relação ao método de congelamento, o congelamento a vácuo causou uma menor redução de compostos fenólicos que o congelamento por contato, sendo que as menores concentrações foram encontradas nas amostras IV+CC-L (5,20 mg GAE g<sup>-1</sup> de amostra seca) e o maior conteúdo fenólico total para as amostras CV-L (5,98 mg GAE g<sup>-1</sup> de amostra seca). Em comparação com o cogumelo *in natura* (6,5 mg GAE g<sup>-1</sup> de amostra seca), o processo de liofilização, independentemente do método de congelamento aplicado, permitiu a obtenção de um produto seco com grande quantidade de compostos fenólicos preservados. Quando utilizado o congelamento a vácuo como etapa inicial da liofilização pode-se conseguir um produto seco com conteúdo fenólico total maior e próximo ao do cogumelo fresco.

A atividade antioxidante avaliada pelos métodos ABTS, DPPH e FRAP é apresentada na Figura 14, respectivamente. Em ambos os métodos o uso de impregnação a vácuo da solução de cálcio ocasionou aumento da atividade antioxidante das amostras. Assim como na secagem convectiva a menor atividade

antioxidante foi observada para as amostras controle, enquanto elas apresentaram o maior TPC, devido a presença de antioxidantes não fenólicos, liberados nas amostras impregnadas a vácuo. Além disso, a maior atividade antioxidante foi observada nas amostras impregnadas e congeladas a vácuo, para todas a metodologias avaliadas.

FIGURA 14 - CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL (mg GAE g<sup>-1</sup> AMOSTRA SECA), ATIVIDADE ANTIOXIDANTE: ABTS (EQUIVALENTE TROLOX μmol g<sup>-1</sup>, DPPH (EQUIVALENTE TROLOX μmol g<sup>-1</sup> e FRAP (EQUIVALENTE TROLOX μmol g<sup>-1</sup> DAS AMOSTRAS CONTROLE E IMPREGNADAS, CONGELADAS POR CONTATO OU A VÁCUO E LIOFILIZADAS.



FONTE: A autora (2024).

#### 4.5 INFLUÊNCIA DO VÁCUO NA IMPREGNAÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO EM COGUMELO PARIS COMBINADO COM SECAGEM CONVECTIVA A 50 °C OU CONGELAMENTO A VÁCUO + LIOFILIZAÇÃO NO CONTEÚDO DE CÁLCIO DO COGUMELO SECO

Realizou-se a avaliação da influência do uso vácuo na etapa de impregnação de cálcio (IP<sub>atm</sub> ou IV) nos cogumelos submetidos a duas condições específicas de secagem: (i) secagem em estufa convectiva a 50 °C (IP<sub>atm</sub>-SC<sub>50</sub> ou IV-SC<sub>50</sub>) e (ii) congelamento a vácuo + liofilização (IP<sub>atm</sub>+CV-L IV+CV-L), definidas aleatoriamente dentre os tratamentos abordados nesta pesquisa.

As concentrações de cálcio dos cogumelos após a impregnação a pressão atmosférica e a vácuo combinados com secagem convectiva a 50 °C ou congelamento a vácuo + liofilização são apresentadas na Tabela 4. A concentração de cálcio do cogumelo tratado a vácuo foi de 29.200,1 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto a concentração de cálcio obtido para o cogumelo tratado a pressão atmosférica foi de 13.974,7 mg kg<sup>-1</sup>. A aplicação de vácuo possibilitou duplicar o conteúdo de cálcio do produto final. Além disso, observou-se que o maior conteúdo de cálcio no produto final foi obtido para o tratamento de impregnação a vácuo combinado com a secagem convectiva a 50 °C.

A concentração de cálcio do cogumelo tratado a vácuo foi de 24.667,5 mg kg<sup>-1</sup>, já a concentração de cálcio obtido para o cogumelo tratado a pressão atmosférica foi de 3.603,1 mg kg<sup>-1</sup>. A aplicação de vácuo possibilitou aumentar em seis vezes o conteúdo de cálcio do produto final.

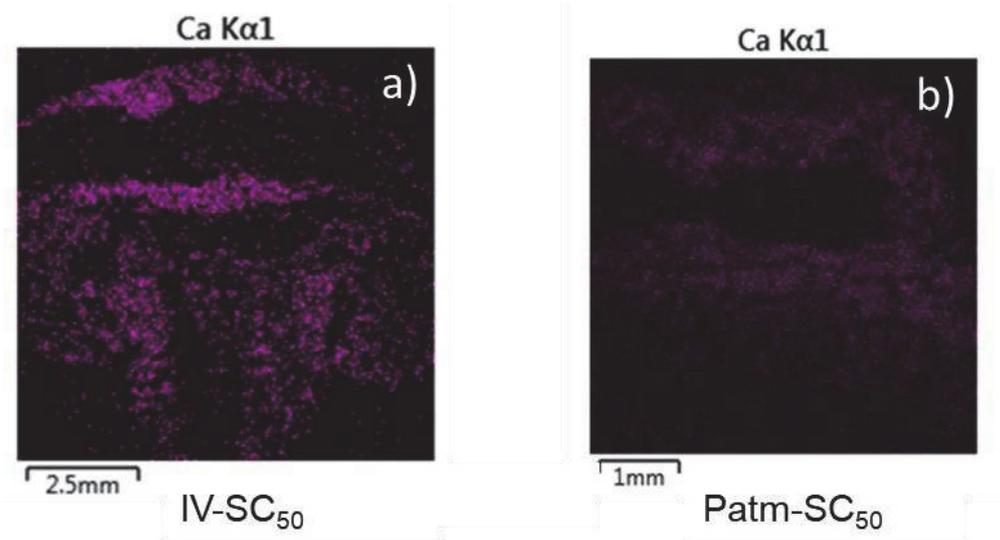
TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO DAS AMOSTRAS IMPREGNADAS A PRESSÃO ATMOSFÉRICA E A VÁCUO, SECAS EM ESTUFA CONVECTIVA A 50 °C OU LIOFILIZADAS CONGELADAS A VÁCUO.

<b>Amostra</b>	<b>Concentração de cálcio (mg kg<sup>-1</sup>)</b>
<b>IP<sub>atm</sub>+CV-L</b>	3603± 30 <sup>b</sup>
<b>IP<sub>atm</sub>-SC<sub>50</sub></b>	13975± 200 <sup>b</sup>
<b>IV+CV-L</b>	24668± 952 <sup>a</sup>
<b>IV-SC<sub>50</sub></b>	29200 ± 391 <sup>a</sup>

FONTE: A autora (2024).

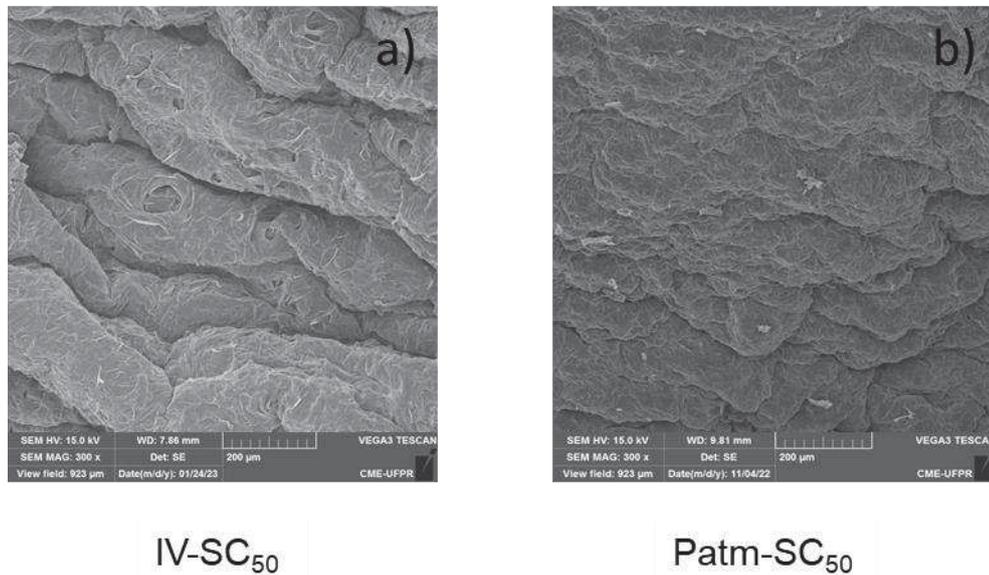
Avaliou-se também a microestrutura e distribuição do cálcio nas fatias dos cogumelos impregnados com cálcio e secos, através das análises de MEV e EDS. A Imagem 11 mostra a estrutura e distribuição do elemento cálcio do cogumelo seco em estufa. Pode-se observar que a amostra tratada com vácuo (Imagem 11 (a)) possui mais pontos iluminados de cálcio e mais uniformemente distribuídos ao longo da face de corte do que o cogulo impregnado a pressão atmosférica (Imagem 11 (b)). Além disso através da imagem de MEV (Imagem 12) é possível notar que com a IV houve uma redução do encolhimento do cogumelo.

IMAGEM 11 - IMAGENS DE EDS DO COGUMELO SECO EM ESTUFA A 50 °C IMPREGNADO A VÁCUO (a); E IMPREGNADO A PRESSÃO ATMOSFÉRICA (b).



FONTE: A autora (2024).

IMAGEM 12 - IMAGENS DE MEV DO COGUMELO SECO EM ESTUFA A 50 °C IMPREGNADO A VÁCUO (a); E IMPREGNADO A PRESSÃO ATMOSFÉRICA (b).

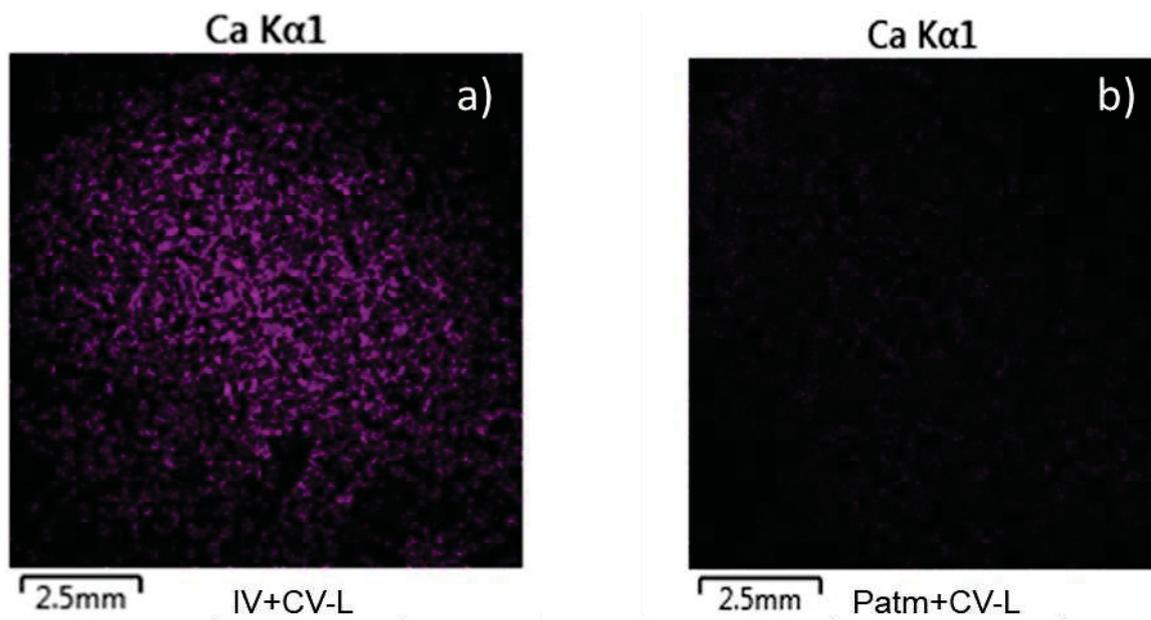


FONTE: A autora (2024).

A Imagem 13 mostra a estrutura e distribuição do elemento cálcio. Pode-se observar que a amostra tratada com vácuo (Imagem 13 (a)) possui mais pontos iluminados de cálcio e muito mais intensos ao longo da face de corte do que o cogulo impregnado a pressão atmosférica (Imagem 13 (b)), o que corrobora com o maior conteúdo de cálcio verificado anteriormente. Além disso, os cogumelos liofilizados

preservaram sua estrutura com pouco ou nenhum encolhimento, sendo a distribuição do cálcio intensa e uniforme por toda a extensão da face de corte. Através da imagem de MEV (Imagem 14) é possível notar que com a IV houve melhora da porosidade do cogumelo, o que é favorável para o produto seco, facilitando sua reidratação. Na Imagem 14 (a), observa-se uma estrutura mais porosa quando comparada com a Imagem 14 (b). Assim, nota-se que o método de congelamento a vácuo como etapa inicial da liofilização permite obter um produto poroso e a combinação desta técnica com a impregnação a vácuo contribuiu com o aumento de poros no cogumelo seco.

IMAGEM 13 - IMAGENS DE EDS DO COGUMELO LIOFILIZADO COM CONGELAMENTO A VÁCUO IMPREGNADO A VÁCUO (a); E IMPREGNADO A PRESSÃO ATMOSFÉRICA (b).



FONTE: A autora (2024).



## 5 CONCLUSÃO

O uso da impregnação a vácuo mostrou-se eficiente na fortificação do Cogumelo Paris com cálcio. As concentrações verificadas em aproximadamente 40 g de cogumelos impregnados a vácuo e submetidos à secagem são suficientes para suprir 100 % da recomendação diária de ingestão de cálcio, apresentando-se como uma alternativa fonte de cálcio a partir de tecidos vegetais, interessante para veganos.

Verificou-se que o aumento da temperatura na secagem convectiva aumentou a taxa de desidratação dos cogumelos controles e impregnados. Entretanto, quanto maior a temperatura aplicada menor a qualidade dos cogumelos, observada pelo escurecimento da amostra com reduções nos valores do parâmetro de cor L\*, aumento para o parâmetro a\*, b\* e conseqüente aumento no IB. A cor dos cogumelos Paris é um dos principais parâmetros considerados pelos consumidores quando se referem a qualidade. Além disso, verificou-se redução da capacidade de reidratação e menor firmeza/dureza das amostras com o aumento de temperatura do ar de secagem.

A utilização do congelamento a vácuo como etapa inicial do processo de liofilização do cogumelo aumenta consideravelmente a taxa de secagem. A redução de umidade observada para o congelamento a vácuo foi cerca de duas vezes a verificada quando aplicado o congelamento convencional, ao longo da primeira hora de processo. Isso, confirma a hipótese de que o congelamento a vácuo pode ser utilizado para reduzir o tempo de liofilização.

Os resultados obtidos neste estudo, demonstram que a combinação da impregnação a vácuo de cálcio combinada com a liofilização utilizando o congelamento a vácuo como etapa inicial permite obter cogumelos secos e fortificados de melhor qualidade, com menores alterações de cor, menores perdas de compostos fenólicos e atividade antioxidante, distribuição uniforme de cálcio nos tecidos e maior capacidade de reidratação.

## REFERÊNCIAS

- ABALOS, Rosa Ana *et al.* Vacuum impregnation: a methodology for the preparation of a ready-to-eat sweet potato enriched in polyphenols. **LWT-Food Science and Technology**, [S.L.], v. 131, p. 109773, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109773>.
- ABUGRI, D.A., MCELHENNEY, W. Extraction of Total Phenolic and Flavonoids from Edible Wild and Cultivated Medicinal Mushrooms as Affected by Different Solvents. **Journal of Natural Product and Plant Resources**, v. 3, p. 37-42, 2013.
- ADAY, Mehmet Seckin. Application of electrolyzed water for improving postharvest quality of mushroom. **LWT-Food Science and Technology**, v. 68, p. 44-51, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Instrução Normativa nº 75, de 08 de outubro de 2020. Brasil, 9 out. 2020. n. 195.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 726, de 01 de julho de 2022. Brasil, 6 jul. 2022. n. 212.
- AHLAVAT, O.P. *et al.* Proximate composition of different mushroom varieties and effect of UV light exposure on vitamin D content in *Agaricus bisporus* and *Volvariella volvacea*. **Mushroom Research**, 2016.
- AKATA, Ilgaz; TORLAK, Emrah; ERCI, Fatih. Efficacy of gaseous ozone for reducing microflora and foodborne pathogens on button mushroom. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 40-44, 2015.
- ALZAMORA, Stella M. *et al.* Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. **Journal of Food Engineering**, v. 67, n. 1-2, p. 205-214, 2005.
- ANDRÉS, A. M. G. **Impregnacion a Vacio em Alimentos porosos. Aplicación al salado de quesos**. Valencia, 1995, 195p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Universidad Politécnica de Valencia.
- AOAC – **Association of Official Analytical Chemists**. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th Edition, 2016.
- APATI, G. P. **Secagem e resfriamento a vácuo de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotostreatus* DSM 1833**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- ARES, Gastón *et al.* Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. **Postharvest biology and technology**, v. 41, n. 2, p. 191-197, 2006.

ARGYROPOULOS, D.; HEINDL, A.; MÜLLER, J. Assessment of convection, hot-air combined with microwave-vacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality. **International Journal of Food Science & Technology**, 46: 333-342, (2011). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02500.x>

ARORA, S. *et al.* Drying kinetics of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus florida* mushrooms. **Transactions of the ASAE**, v. 46, n. 3, p. 721, 2003.

ARSICCIO, A.; PISANO, R. The ice-water interface and protein stability: a review. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 109, p. 2116–2130. 2020.

ASSEGEHEGN, G.; BRITO-DE LA FUENTE, E.; FRANCO, J. M.; GALLEGOS, C. The importance of understanding the freezing step and its impact in freeze-drying process performance. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 108, n. 4, p. 1378–1395. 2019.

AYKIN-DINÇER, Elif. Application of ultrasound-assisted vacuum impregnation for improving the diffusion of salt in beef cubes. **Meat Science**, [S.L.], v. 176, p. 108469, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108469>.

AZEVEDO, Sílvia; CUNHA, Luís M.; FONSECA, Susana C. Modelling the influence of time and temperature on the respiration rate of fresh oyster mushrooms. **Food Science and Technology International**, v. 21, n. 8, p. 593-603, 2015.

BACH, Fabiane. **Avaliação do potencial nutricional, antioxidante e antibacteriano de cogumelos comestíveis**. 2017. 134 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

BARAT, J. M. *et al.* Post-salting studies in Spanish cured ham manufacturing. Time reduction by using brine thawing-salting. **Meat Science**, Estados Unidos, v. 69, n. 2, p. 201-208, 2005.

BARAT, José M. *et al.* 14 Vacuum Salting Treatment for the Accelerated Processing of Dry-Cured Ham. **Advanced technologies for meat processing**, p. 353, 2006.

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; SEVERINI, C. Air drying of plums. A comparison among twelve cultivars. **Sciences des Aliments**, n. 14, p. 61 – 73, 1994.

BARRERA, C.; BETORET, N.; FITO, P. Ca<sup>2+</sup> and Fe<sup>2+</sup> influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 65, n. 1, p. 9-14, nov. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.10.016>.

BARRÓN-GARCÍA, O. Y. *et al.* Ohmic heating blanching of *Agaricus bisporus* mushroom: effects on polyphenoloxidase inactivation kinetics, color, and texture. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S.L.], v. 80, p. 103105, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103105>.

BARROS, Lillian *et al.* Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. **Food and Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 46, n. 8, p. 2742-2747, ago. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2008.04.030>.

BEELMANN, R. B.; EDWARDS, C. G. Variability in the compositional nutritional value of the cultivated mushrooms *Agaricus bisporus*. **Mush News**, v. 37, p. 20-26, 1989.

BENZIE, Iris FF; STRAIN, John J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.

BERLINGUER, Fiammetta *et al.* Effects of trehalose co-incubation on in vitro matured prepubertal ovine oocyte vitrification. **Cryobiology**, v. 55, n. 1, p. 27-34, 2007.

BERNAŚ, Emilia; JAWORSKA, Grażyna. Use of onion extract to prevent enzymatic browning of frozen *Agaricus bisporus* mushrooms. **International Journal of Refrigeration**, [S.L.], v. 57, p. 257-264, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.04.022>.

BERNAŚ, Emilia; JAWORSKA, Grażyna. Vitamins profile as an indicator of the quality of frozen *Agaricus bisporus* mushrooms. **Journal of Food Composition and Analysis**, [S.L.], v. 49, p. 1-8, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.002>.

BETORET, Ester *et al.* Strategies to improve food functionality: Structure–property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 46, n. 1, p. 1-12, 2015.

BONONI, V.L.; CAPELARI, M.; MAZIERO, R.; TRUFEM, S.F.B. Cultivo de cogumelos comestíveis. Icone Editora, São Paulo, 206p, 1999.

BREENE, W. Valor Nutricional e Medicinal de Cogumelos Especiais. **Journal of Food production**, 53, 883-894. 1990.

BRENNAN, Martine *et al.* Post-harvest Treatment with Citric Acid or Hydrogen Peroxide to Extend the Shelf Life of Fresh Sliced Mushrooms. **Lwt - Food Science and Technology**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 285-289, jun. 2000. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.2000.0657>.

BRENNAN, Martine *et al.* The Effect of Sodium Metabisulphite on the Whiteness and Keeping Quality of Sliced Mushrooms. **Lwt - Food Science and Technology**, [S.L.], v. 32, n. 7, p. 460-463, nov. 1999. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.1999.0575>.

BRENNAN, Martine; PORT, Gaëlle Le; GORMLEY, Ronan. Post-harvest Treatment with Citric Acid or Hydrogen Peroxide to Extend the Shelf Life of Fresh Sliced Mushrooms. **Lwt - Food Science and Technology**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 285-289, jun. 2000. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.2000.0657>.

CALVO, Mona S. *et al.* A Retrospective Study in Adults with Metabolic Syndrome: diabetic risk factor response to daily consumption of agaricus bisporus (white button mushrooms). **Plant Foods for Human Nutrition**, [S.L.], v. 71, n. 3, p. 245-251, 19 maio 2016. Springer Science and Business Media LLC.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11130-016-0552-7>.

CAPACCIONI, María Eugenia; CASALES, María Rosa; YEANNES, María Isabel. Acid and salt uptake during the marinating process of *Engraulis anchoita* fillets influence of the solution: fish ratio and agitation. **Food Science and Technology**, v. 31, n. 4, p. 884-890, 2011.

CARCIOFI, Bruno AM; PRAT, Marc; LAURINDO, João B. Dynamics of vacuum impregnation of apples: Experimental data and simulation results using a VOF model. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 2, p. 337-343, 2012.

CARDONA U., F. T. Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. **Crónica Forestal Y Del Medio Ambiente**, v. 16, p. 99-119, 2001.

CARDWELL, Glenn *et al.* A Review of Mushrooms as a Potential Source of Dietary Vitamin D. **Nutrients**, [S.L.], v. 10, n. 10, p. 1498, 13 out. 2018. MDPI AG.  
<http://dx.doi.org/10.3390/nu10101498>.

CARGNIN, Mariana Aguiar. **Influência da impregnação a vácuo de curcumina nas características físico-químicas das ostras (*Crassostrea gigas*)**. 2017. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CASTELLANOS-REYES, Katy; VILLALOBOS-CARVAJAL, Ricardo; BELDARRAIN-IZNAGA, Tatiana. Fresh Mushroom Preservation Techniques. **Foods**, [S.L.], v. 10, n. 9, p. 2126, 9 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods10092126>.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 51 p., 2010.

CHANG, S.T. & MILES, P.G. **Edible Mushrooms and their cultivation**. Boca Raton: CRC Press, 1989. p.189-223.

CHANG, Shu-ting; MSHIGENI, K. E. **Mushroom farming: Life-changing humble creatures**. Mkuki na Nyota, 2013.

CHANJIRAKUL, K., *et al.* Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries. **Postharvest Biology and Technology**. 2006.

CHEN, Shin-Yu *et al.* Contents of lovastatin,  $\gamma$ -aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia. **Lwt**, [S.L.], v. 47, n. 2, p. 274-278, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.019>.

CHEN, Shiuan *et al.* Anti-Aromatase Activity of Phytochemicals in White Button Mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Cancer Research**, [S.L.], v. 66, n. 24, p. 12026-12034, 15 dez. 2006. American Association for Cancer Research (AACR). <http://dx.doi.org/10.1158/0008-5472.can-06-2206>.

CHEN, Zhi-Gang; GUO, Xiao-Yu; WU, Tao. A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. **Ultrasonics Sonochemistry**, [S.L.], v. 30, p. 28-34, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.026>.

CHENG, H. P., LIN, C. T. The morphological visualization of the water in vacuum cooling and freezing process. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 569-576, 2007.

CHERNO, N. *et al.* Chemical composition of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* fruiting bodies and their morphological parts. **Food and Environment safety**, 2013.

CHEUNG, P. C. K. Dietary fiber content and composition of some cultivated edible mushroom fruiting bodies and mycelia. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 44, n. 2, p. 468- 471, fev. 1996.

CHEUNG, P. C. K. Dietary fiber content and composition of some edible fungi determined by two methods of analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 73, n. 2, p. 255-260, 1997.

CHEUNG, Peter C. (Ed.). **Mushrooms as functional foods**. John Wiley & Sons, 2008.

CHEUNG, P. C. K. The nutritional and health benefits of mushrooms. **Nutrition Bulletin**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 292-299, 19 nov. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-3010.2010.01859.x>.

CHEUNG, P. C. K. Mini-review on edible mushrooms as source of dietary fiber: Preparation and health benefits. **Food Science and Human Wellness**, v. 2, n. 3-4, p. 162-166, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2013.08.001>.

CHIRALT, A. *et al.* Use of vacuum impregnation in food salting process. **Journal of Food Engineering**, Holanda, v. 49, n. 2-3, p. 141-151, 2001.

CHIRALT, Amparo *et al.* **Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1999.

CHISTÉ, R. C. *et al.* Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 265-269, 2007.

CIESLINSKI, G. M. **Produção de extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em pó por secagem convectiva em camada de espuma e liofilização**. 2021. 110 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

CLIFFE-BYRNES, V.; O'BEIRNE, D. Effects of washing treatment on microbial and sensory quality of modified atmosphere (MA) packaged fresh sliced mushroom (*Agaricus bisporus*). **Postharvest Biology and Technology**, [S.L.], v. 48, n. 2, p. 283-294, maio 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.10.012>.

COGNÉ, C. *et al.* Modeling heat and mass transfer during vacuum freezing of puree droplet. **International Journal of Refrigeration**, v. 36, p. 1319–1326, 2013.

COHEN, N. *et al.* Chemical Composition and Nutritional and Medicinal Value of Fruit Bodies and Submerged Cultured Mycelia of Culinary-Medicinal Higher Basidiomycetes Mushrooms. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 273-291, 2014. Begell House. <http://dx.doi.org/10.1615/intjmedmushr.v16.i3.80>.

COLLA, L. M., PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Congelamento e descongelamento—sua influência sobre os alimentos. 2003.

CRAFT, B. D. *et al.* Phenol-based antioxidants and the In vitro methods used for their assessment. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, p. 148–173, 2012.

CRISAN, E. V.; SANDS, A. A nutritional value: In: CHANG, S. T.; HAYES, W. A. (Eds). The biology and cultivation of edible mushroom. **New York: Academic Press**, 1978, p. 137-168.

CRUVINEL, Rafael Souza Ribeiro *et al.* Preservação de abacaxis congelados por impregnação a vácuo de pectina e propionato de cálcio. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza-Ce, v. 40, n. 4, p. 539-548, out. 2009.

DALVI-ISFAHAN, M.; HAMDAMI, N.; XANTHAKIS, E.; LE-BAIL, A. Review on the control of ice nucleation by ultrasound waves, electric and magnetic fields. **Journal of Food Engineering**, v. 195, p. 222–234. 2017.

DAS, I.; ARORA, A. Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 223, p. 208-219, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.018>.

DEROSSI A.; DE PILLI, T.; SEVERINI, C. Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 9-15, jul. 2010.

DEROSSI, A.; PILLI, T. de; SEVERINI, C.. Application of pulsed vacuum acidification for the pH reduction of mushrooms. **Lwt - Food Science and Technology**, [S.L.], v. 54, n. 2, p. 585-591, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.007>.

- DESMOND, E. M.; KENNY, T. A.; WARD, P.; SUN, D-W. Effect of rapid and conventional cooling methods on the quality of cooked ham joints. **Meat Science**, v. 56, p. 271–277, 2000.
- DEUMIER, F. *et al.* Pulsed vacuum brining of poultry meat: experimental study on the impact of vacuum cycles on mass transfer. **Journal of Food Engineering**, Holanda, v. 58, n. 1, p. 75-83, 2003.
- DING, Yang *et al.* Effects of Postharvest Brassinolide Treatment on the Metabolism of White Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) in Relation to Development of Browning During Storage. **Food and Bioprocess Technology**, [S.L.], v. 9, n. 8, p. 1327-1334, 31 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-016-1722-1>.
- DONINI, LP *et al.* Desenvolvimento in vitro de *Pleurotus* spp. sob a influência de diferentes substratos e dextrose. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 72, n. 3, pág. 331-338, 2005.
- DORMAN, HJ–Dean; DEANS, Stanley G. Agentes antimicrobianos de plantas: atividade antibacteriana de óleos voláteis de plantas. **Revista de microbiologia aplicada**, v. 88, n. 2, pág. 308-316, 2000.
- DUARTE, L. C., *et al.* (2003). Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. **Pesquisas em Geociências**, 30(2), 3-15.
- ERIHEMU *et al.* Iron enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation. **Lwt - Food Science and Technology**, [S.L.], v. 59, n. 1, p. 504-509, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.043>.
- FALLAH-JOSHAQANI, S.; HAMDAMI, N.; KERAMAT, J. Qualitative attributes of button mushroom (*Agaricus bisporus*) frozen under high voltage electrostatic field. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 293, p. 110384, mar. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110384>.
- FALANDYSZ, Jerzy; BOROVIČKA, Jan. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [S.L.], v. 97, n. 2, p. 477-501, 25 nov. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-012-4552-8>.
- FAROKHIAN, Forough *et al.* Quality preservation of air-dried sliced button mushroom (*Agaricus bisporus*) by lavender (*Lavandula angustifolia* mill.) essential oil. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 3, p. e12432, 2017.
- FATTAHIFAR, E. *et al.* Evaluation of the inhibitory effect of pistachio (*Pistacia vera* L.) green hull aqueous extract on mushroom tyrosinase activity and its application as a button mushroom postharvest anti-browning agent. **Postharvest Biology and Technology**, [S.L.], v. 145, p. 157-165, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.07.005>.

FEENEY, Mary Jo; MILLER, Amy Myrdal; ROUPAS, Peter. Mushrooms—Biologically Distinct and Nutritionally Unique. **Nutrition Today**, [S.L.], v. 49, n. 6, p. 301-307, nov. 2014. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health).  
<http://dx.doi.org/10.1097/nt.0000000000000063>.

FERNANDES, Ângela *et al.* Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: a review. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 135, n. 2, p. 641-650, nov. 2012. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.136>.

FERNANDES, Ângela *et al.* Effects of Gamma Irradiation on the Chemical Composition and Antioxidant Activity of *Lactarius deliciosus* L. Wild Edible Mushroom. **Food and Bioprocess Technology**, [S.L.], v. 6, n. 10, p. 2895-2903, 21 jul. 2013. Springer Science and Business Media LLC.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0931-5>.

FERRARI, C. C.; SARANTÓPOULOS, C. I.; CARMELLOGUERREIRO, S. M.; HUBINGER, M. D. Effect of osmotic dehydration and pectin edible coatings on quality and shelf life of fresh-cut melon. *Food and Bioprocess Technology*, v. 6, n. 1, p. 80-91, jan. 2013.

FERRAZ, Dina Márcia Menezes *et al.* Efeito do cloreto de cálcio sobre a antracnose e características de frutos de goiaba em pós-colheita. **Agrotropica**, v. 28, n. 2, p. 311-318, 2016.

FIGUEIRÊDO, V. R. **Variáveis físico-químicas, biológicas e ambientais para produção dos cogumelos *Agaricus bisporus* e *Agaricus subrufescens***. 2013. 88 f. Tese (Doutorado) - Curso de Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras-Mg, 2013.

FITO, P. *et al.* Vacuum impregnation in fruit processing. **Trends in food engineering**, p. 149-64, 2000.

FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, Holanda, v. 22, n. 1-4, p. 313-328, 1994.

FITO, P.; CHIRALT, A.; PARDO, P. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. **Journal of Food Engineering**, v. 27, n. 3, p. 229-240, 1996.

FITO, P.; PASTOR, R. Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, Holanda, v. 21, n. 4, p. 513-519, 1994.

FITO, P.; CHIRALT, A. Vacuum impregnation of plant tissues. In: *Minimally processed fruits and vegetables*. Maryland: Aspen publication, Cap. 11, p. 189-204, 2000.

FREITAS, A. B. *et al.* Ação dos crioprotetores glicose, trealose e quitosana na manutenção da viabilidade de células de *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae* após liofilização. **Ciência Animal Brasileira**. 2020.

FULLER, B.J. Cryoprotectants: the essential antifreezes to protect life in the frozen state. *Cryo Letters*, v.25, p.375-88, 2004.

FUNGICULTURA: *Agaricus bisporus*. 2021. Disponível em: <https://www.fungicultura.com.br/especie/agaricus-bisporus/>. Acesso em: 24 fev. 2022.

FURLANI, R. P. Z. **Valor nutricional de cogumelos cultivados no Brasil**. 2004. 88 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FURLANI, R. P. Z.; GODOY, H. T. Valor nutricional de cogumelos comestíveis: uma revisão. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 64 (2), p. 149-154, 2005.

FURLANI, Regina Prado Zanes; GODOY, Helena Teixeira. Valor nutricional de cogumelos comestíveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 154-157, mar. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612007000100027>.

FURLANI, Regina Prado Zanes; GODOY, Helena Teixeira. Vitamins B1 and B2 contents in cultivated mushrooms. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 106, n. 2, p. 816-819, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.007>.

GANTNER, Magdalena *et al.* The effect of film type and modified atmosphere packaging with different initial gas composition on the shelf life of white mushrooms (*Agaricus bisporus* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 1, p. e13083, 2017.

GAO, M. *et al.* Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 149, p. 107-113, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.073>.

GAOXING, Ma *et al.* A critical review on the health promoting effects of mushrooms nutraceuticals. **Food Science and Human Wellness**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 125-133, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fshw.2018.05.002>.

GAYED, Ahmed Abdel Nabi Abdel *et al.* Pre-harvest application of calcium chloride and chitosan on fruit quality and storability of 'Early Swelling' peach during cold storage. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 220-231, abr. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017412005917>.

GEORGE, J. P.; DATTA, A.K. Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 52, n. 1, p. 89-93, mar. 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774\(01\)00091-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774(01)00091-7).

GHASEMI-VARNAMKHAJASTI, Mahdi *et al.* Effects of the combination of gamma irradiation and Ag nanoparticles polyethylene films on the quality of fresh bottom mushroom (*Agaricus bisporus* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 7, p. e13652, 2018.

GIRI, S.K.; PRASAD, S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 78, n. 2, p. 512-521, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.021>.

GRANATO, D. et al. Chemical perspective and criticism on selected analytical methods used to estimate the total content of phenolic compounds in food matrices. **Trac Trends in Analytical Chemistry**, [S.L.], v. 80, p. 266-279, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2016.03.010>.

GRAS, María Luisa; VIDAL-BROTÓNS, Daniel; VÁSQUEZ-FORTTES, Fresia Alejandra. Production of 4th range iceberg lettuce enriched with calcium. Evaluation of some quality parameters. **Procedia Food Science**, [S.L.], v. 1, p. 1534-1539, 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.227>.

GHIO, S.; BARRESI, A. A.; ROVERO, G. A comparison of evaporative and conventional freezing prior to freeze-drying of fruits and vegetables. **Food and Bioproducts Processing**, v. 78, n. 4, p. 187–192. 2000.

GOLI, Thierry *et al.* Mass transfer dynamics during the acidic marination of turkey meat. **Journal of Food Engineering**, v. 104, n. 1, p. 161-168, 2011.

GOLDSTEIN, J. *et al.* Scanning Electron Microscopy and Xray Microanalysis. Plenum Press. 2003.

GONZÁLEZ-PÉREZ, J.E.; LÓPEZ-MÉNDEZ, E.M.; OCHOA-VELASCO, C.E.; RUIZ-LÓPEZ, I.I. Mass transfer and morphometric characteristics of fresh and osmodehydrated white mushroom pilei during convective drying. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 262, p. 181-188, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.017>.

GUAN, Wenqiang *et al.* Effect of combination of ultraviolet light and hydrogen peroxide on inactivation of Escherichia coli O157: h7, native microbial loads, and quality of button mushrooms. **Food Control**, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 554-559, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.05.027>.

GUILLAMÓN, Eva *et al.* Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases. **Fitoterapia**, [S.L.], v. 81, n. 7, p. 715-723, out. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fitote.2010.06.005>.

GUO-YAN, Z., et al. Characteristics of freeze-drying technology and its application in convenience staple food. **Science & Technology of Food Industry** 3: 389–392. 2010.

GUPTA, P. *et al.* Eficácia de diferentes tratamentos de lavagem na qualidade de cogumelos de botão (*A. bisporus*). **Journal of Food Processing and Technology**, v. 7, n. 6, 2016.

GUYTON, A. C., HALL, J. E. Tratado de fisiologia médica. 10. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan AS, 2002.

HANDA, C. L. et al. Multi-response optimisation of the extraction solvent system for phenolics and antioxidant activities from fermented soy flour using a simplex-centroid design. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 197, p. 175-184, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.124>.

HAN-SHAN, X. U. et al. Application of vacuum freeze-drying technology in food processing. **Drying Technology & Equipment** 29 (6):232–235. 2008.

HARGUINDEGUY, M.; FISSORE, D. On the effects of freeze-drying processes on the nutritional properties of foodstuff: a review. **Drying Technology**, v. 38, n. 7, p. 846-868. 2020.

HASELEY, P.; OETJEN, G. W. **Freeze-drying**. 4 ed. Wiley-VCH: Weinheim, Germany. 2018.

HASLER, Clare M. Functional Foods: their role in the disease prevention and health promotion. **Food Technology**, Chicago, v. 52, n. 11, p. 63-70, nov. 1998.

HELDMAN, D. R., HARTEL, R. W. Liquid concentration. **Principles of food processing**. Springer, Boston, MA, 1998. p. 138-176.

HELM, C. V.; CORADIN, J. H.; RIGONI, D. **Avaliação da composição química dos cogumelos comestíveis *Agaricus bisporus*, *Agaricus brasiliensis*, *Agaricus bisporus portobello*, *Lentinula edodes* e *Pleurotus ostreatus***. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico/Recomendações Técnicas. 2009.

HERRERA, Juan J *et al.* A DSC study on the effects of various maltodextrins and sucrose on protein changes in frozen-stored minced blue whiting muscle. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S.L.], v. 81, n. 4, p. 377-384, 2001. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1002/1097-0010\(200103\)81:43.0.co;2-0](http://dx.doi.org/10.1002/1097-0010(200103)81:43.0.co;2-0).

HIGASHIYAMA, Takanobu. Novel functions and applications of trehalose. **Pure and applied Chemistry**, v. 74, n. 7, p. 1263-1269, 2002.

HINCHA, Dirk K. Low concentrations of trehalose protect isolated thylakoids against mechanical freeze-thaw damage. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes**, v. 987, n. 2, p. 231-234, 1989.

HIRONAKA, K. *et al.* Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 127, n. 3, p. 1114-1118, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.111>.

HOFMEISTER, L. C. **Estudo da impregnação a vácuo em alimentos porosos**. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

HOFMEISTER, Luciana C.; SOUZA, José Antônio R.; PETRUS, José Carlos C.; LAURINDO, João Borges. Salga de queijo tipo Minas por impregnação a vácuo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 487-494, set. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612005000300016>.

HU, Yong-Hua *et al.* 4-Hydroxy cinnamic acid as mushroom preservation: anti-tyrosinase activity kinetics and application. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 86, p. 489-495, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.070>.

HUBÁLEK, Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. **Cryobiol.** v. 46, p.205-229. 2003.

HUNTERLAB. **User's manual with Universal Software Version 3.5**. Reston: HunterLab, 1998.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos** 3.ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. 533p.

JEONG, Sang Chul *et al.* White button mushroom (*Agaricus bisporus*) lowers blood glucose and cholesterol levels in diabetic and hypercholesterolemic rats. **Nutrition Research**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 49-56, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nutres.2009.12.003>.

JIAN, Tianjia. Effect of alginate coating on the physical-chemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a modified atmosphere with high oxygen content. *Biology and post-harvest technology*, v. 76, p. 91-97, 2013.

JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 84, p. 194–205. 2008.

JOLIVET, S. *et al.* *Agaricus bisporus* escurecimento: Uma revisão. *Pesquisa Micológica*, 1998. <http://doi.org/10.1017/S0953756298006248>.

JOSHI, Kompal *et al.* Impact of cold chain and product variability on quality attributes of modified atmosphere packed mushrooms (*Agaricus bisporus*) throughout distribution. **Journal of Food Engineering**, v. 232, p. 44-55, 2018.

KALAČ, Pavel. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: a review. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 113, n. 1, p. 9-16, mar. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.077>.

KALAČ, Pavel. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 2, p. 209-218, 2013.

KAREL, Marcus; LUND, Daryl. **Physical Principles of Food Preservation**. 2nd ed.ed. New York: Marcel Dekker, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9780203911792>.

KASPER, J. C.; FRIESS, W. The freezing step in lyophilization: physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality attributes of biopharmaceuticals. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v.78, n. 2, p. 248–263. 2011.

KATILI, L. M., BONASSI, I. A., ROÇA, R. O. Aspectos físico-químicos e microbianos do queijo maturado por mofo obtido da coagulação mista com leite de cabra congelado e coalhada congelada. **Food Science and Technology**. 2006, v. 26, n. 4, p. 740-743. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000400004>>.

KAYODE, R.M.O. *et al.* Evaluation of amino acid and fatty acid profiles of commercially cultivated oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) grown on gmelina wood waste. **Nigerian Food Journal**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 18-21, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nifoj.2015.04.001>.

KHALIQ, G., MOHAMED, M.T.M, ALI, A., DING,F., GHAZALI, H.M. Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. **Scientia Horticulturae**, v.190, p.187-194, 2015.

KOOP, Betina Luiza *et al.* Incorporação a vácuo de curcumina em ostras (*Crassostrea gigas*). 2018.

KOTWALIWALE, N. *et al.* Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 78, n. 4, p. 1207-1211, fev. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.033>.

KROKIDA, M. K.; PHILIPPOPOULOS, C. Rehydration of dehydrated foods. **Drying Technology**, v. 23, n. 4, p. 799-830, 2005.

KUMAR, Ashok; SINGH, Manpreet; SINGH, Gurdeep. Effect of different pretreatments on the quality of mushrooms during solar drying. **Journal of food science and technology**, v. 50, n. 1, p. 165-170, 2013.

KUNSLER, Nicole Luíse Froehlich. **Estudo da Impregnação a Vácuo de Trealose como Crioprotetor em Morangos**.2017. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

KUYPER, L. *et al.* The Effect of Modified Atmosphere Packaging and Addition of Calcium Hypochlorite on the Atmosphere Composition, Colour and Microbial Quality of Mushrooms. **Lwt - Food Science and Technology**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 14-20, fev. 1993. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.1993.1003>.

LAGNIKA, Camel *et al.* Effects of ultrasound and high pressure argon on physico-chemical properties of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest

storage. **Postharvest Biology and Technology**, [S.L.], v. 82, p. 87-94, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.006>.

LAURINDO, J.B.; STRINGARI, G.B.; PAES, S.s.; CARCIOFI, B.A.M. Experimental Determination of the Dynamics of Vacuum Impregnation of Apples. **Journal of Food Science**, [S.L.], v. 72, n. 8, p. 470-475, out. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00512.x>.

LEI, Jing *et al.* Effects of UV-C treatment on browning and the expression of polyphenol oxidase (PPO) genes in different tissues of *Agaricus bisporus* during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, [S.L.], v. 139, p. 99-105, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.022>.

LEMOS, F. M. R. **Elaboração e caracterização de produto análogo a hambúrguer de cogumelo *Agaricus brasiliensis***. 2009. 147f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos) – Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

LESPINARD, A.R. *et al.* Experimental determination and modelling of size variation, heat transfer and quality indexes during mushroom blanching. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 92, n. 1, p. 8-17, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.025>.

LIMA, M.; SIGA, C.; LEITEMPERGHER, F.; LERIN, L. A.; SOARES, L. S.; TOSATI, J. V.; RODRIGUES, N. B.; MONTEIRO, A. R. Mussel (*Perna perna*) Processing by an Alternative Method and Packaging Under Modified Atmosphere to Improve Physicochemical and Microbiological Characteristics. **Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 3, p.1-9, jun. 2016.

LIMA, M. M.; TRIBUZI, G.; SOUZA, J. A. R.; SOUZA, I. G.; LAURINDO, J. B.; CARCIOFI, B. A. M. Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks. **Lwt - Food Science and Technology**, [S.L.], v. 72, p. 501-509, out. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.016>.

LIN, D.; LEONARD, S.; LEDERER, C.; TRABER, M.; ZHAO, Y. Retention of fortified vitamin E and sensory quality of fresh-cut pears by vacuum impregnation with honey. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 7, p. 553-559, set. 2006.

LIN, E. C. C. Glycerol dissimilation and its regulation in bacteria. **Annual review of microbiology**, v. 30, n. 1, p. 535-578, 1976.

LIN, Xiaohui; SUN, Da Wen. Advances in the blackness of the button mushroom (*Agaricus bisporus*): Factors that affect and control methods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 90, p. 63-75, 2019.

LIU, Jun *et al.* In vitro and in vivo antioxidant activity of ethanolic extract of white button mushroom (*Agaricus bisporus*). **Food and Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 51, p. 310-316, jan. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.10.014>.

MAHAJAN, Pramod V. *et al.* Development of a moisture absorber for packaging of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 3, p. 408-414, 2008.

MANZI, P.; AGUZZI, A.; PIZZOFERRATO, L. Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 73, n. 3, p. 321-325, maio 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146\(00\)00304-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146(00)00304-6).

MARCUSSI, B. A. **Desidratação osmótica e impregnação a vácuo de pêra**. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MARQUES, L. G.; FREIRE, J. T. Analysis of freeze-drying of tropical fruits. **Drying Technology**, v. 23, p. 2169-2184. 2005.

MARTINS, E. M. F.; RAMOS, A. M.; MARTINS, M. L.; LEITE JÚNIOR, B. R. C. Fruit salad as a new vehicle for probiotic bacteria. **Food Science and Technology**, v. 36, n. 3, jul./set. 2016.

MARQUES, L. G.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, J. T. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 451–457. 2007.

MASHKOUR, M.; MAGHSOUDLOU, Y.; KASHANINEJAD, M.; AALAMI, M. Effect of ultrasound pretreatment on iron fortification of potato using vacuum impregnation. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 5, 2018. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.13590>.

MATTILA, P. *et al.* Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 49, n. 5, p. 2343-2348, 2001.

MATIN-DIANA, A. B. *et al.* Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, n. 4, p. 210-218, 2007.

MAZLAN, Nor Aishah *et al.* Antioxidante, antitirozinase, anticolinesterase e atividades de inibição de óxido nítrico de três espécies de Macaranga da Malásia. **The Scientific World Journal**, 2013.

MAZZA, Giuseppe (Ed.). **Functional foods: biochemical and processing aspects**. CRC Press, 1998.

MEURER, Christian dos Santos. Avaliação de hidrolisados de colágeno associado com glicerol na criopreservação de melões. 2019.

MIGUEL, A. C., *et al.* Efeito do cloreto de cálcio na qualidade de melancias minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**. v. 25, n. 3, p. 442-446. 2007.

MIRZAEI-BAKTASH, H. *et al.* Impact of different pretreatments on drying kinetics and quality of button mushroom slices dried by hot-air or electrohydrodynamic drying. **Lwt**, [S.L.], v. 155, p. 112894, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112894>.

MISHRA, Bibhuti Bhusan; GAUTAM, Satyendra; SHARMA, Arun. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): The factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*). **Food chemistry**, v. 139, n. 1-4, p. 105-114, 2013.

MITCHELL, Daniel E. *et al.* Ice-recrystallization inhibiting polymers protect proteins against freeze-stress and enable glycerol-free cryostorage. **Materials horizons**, v. 6, n. 2, p. 364-368, 2019.

MOHEBBI, Mohebbat *et al.* Suitability of Aloe Vera and Gum Tragacanth as Edible Coatings for Extending the Shelf Life of Button Mushroom. **Food and Bioprocess Technology**, [S.L.], v. 5, n. 8, p. 3193-3202, 29 nov. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-011-0709-1>.

MOHR, L. R., TROUNSON, A. O. Structural changes associated with freezing of bovine embryos. **Biology of Reproduction**, v. 25, n. 5, p. 1009-1025, 1981.

MOLENA, Oscar. **O moderno cultivo de cogumelos**. Liv. Nobel, 1986.

MORO, V., GORMLEY, T. R. Methods for assessing freezing damage in strawberries and mushrooms. **Farm & Food**, p. 37-40, Winter 1998/1999.

MUJIC, I. *et al.* Antioxidant properties of selected edible mushroom species. **Journal Central European Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 387-392, 2010.

MUJUMDAR, A. S. Drying Fundamentals. In: **Industrial drying of foods**. London: Chapman & Hall, 1997.

MUJUMDAR, A. S. (Ed.). **Handbook of industrial drying**. 4. ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2014.

MÜLLER, Joachim; BOLLER, Thomas; WIEMKEN, Andres. Trehalose and trehalase in plants: recent developments. **Plant science**, v. 112, n. 1, p. 1-9, 1995.

MUSLAT, M. M.; AL-ASSAFFII, I. A. A.; OWAID, M. N. Agaricus bisporus product development by using local substrate with bio-amendment. **International Journal for Environment and Global Climate**, v. 2, n. 4, p. 176-188, 2014.

MUSZYŃSKA, Bożena *et al.* Indole compounds in fruiting bodies of some edible Basidiomycota species. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 125, n. 4, p. 1306-1308, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.056>.

MUSZYŃSKA, Bożena *et al.* Levels of physiologically active indole derivatives in the fruiting bodies of some edible mushrooms (Basidiomycota) before and after thermal processing. **Mycoscience**, [S.L.], v. 54, n. 5, p. 321-326, set. 2013. The Mycological Society of Japan. <http://dx.doi.org/10.1016/j.myc.2012.11.002>.

NARVAIZ, P. Some physicochemical measurements on mushrooms (*Agaricus campestris*) irradiated to extend shelf-life. **LWT-Food Science and Technology**, v. 27, n. 1, p. 7-10, 1994.

NASIRI, M. *et al.* Application of Tragacanth gum impregnated with *Satureja khuzistanica* essential oil as a natural coating for enhancement of postharvest quality and shelf life of button mushroom (*Agaricus bisporus*). **International Journal of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 106, p. 218-226, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.003>.

NASIRI, Mahshid *et al.* Tragacanth gum containing *Zataria multiflora* Boiss. essential oil as a natural preservative for storage of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 72, p. 202-209, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.045>.

NERI, Lilia *et al.* Use of vacuum impregnation for the production of high quality fresh-like apple products. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 179, p. 98-108, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.02.002>.

NITSCHKE, Jörg *et al.* A new method for the quantification of chitin and chitosan in edible mushrooms. **Carbohydrate Research**, [S.L.], v. 346, n. 11, p. 1307-1310, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carres.2011.03.040>.

NOVAES, Maria Rita Carvalho Garbi *et al.* The effects of dietary supplementation with Agaricales mushrooms and other medicinal fungi on breast cancer: evidence-based medicine. **Clinics**, [S.L.], v. 66, n. 12, p. 2133-2139, 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1590/s1807-59322011001200021>.

OJEDA, Gonzalo A. *et al.* Chitosan/tripolyphosphate nanoaggregates enhance the antibrowning effect of ascorbic acid on mushroom slices. **Postharvest Biology and Technology**, [S.L.], v. 156, p. 110934, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110934>.

OLIVEIRA, F. *et al.* Development of shelf-life kinetic model for modified atmosphere packaging of fresh sliced mushrooms. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 111, n. 2, p. 466-473, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.013>.

OLIVEIRA, M. H. S. B. **Melão desidratado fortificado com cálcio**. 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

OMS-OLIU, Gemma *et al.* Effects of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Postharvest Biology and Technology**, [S.L.], v. 56, n. 3, p. 216-222, jun. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.12.011>.

Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). Banco de dados FAOSTAT.

ORTIZ, CF; SALVATORI, DM; ALZAMORA, SM. Fortificação de cogumelos com cálcio por impregnação a vácuo. **Lat. Sou. aplicativo res.**, Bahía Blanca, v. 33, n. 3, pág. 281-287, jul. 2003. Disponível em <[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0327-07932003000300013&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0327-07932003000300013&lng=es&nrm=iso)>. acesso em 22 abr. 2023.

OWAID, M.N. Mineral elements content in two sources of *Agaricus bisporus* in Iraqi market. **Journal of Advanced & Applied Sciences**, 2015.

PAES, S. **Estudo da impregnação a vácuo de maçãs (Var. Gala)**. 2005. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PAL, U.S.; CHAKRAVERTY, A. Thin layer convection-drying of mushrooms. **Energy Conversion and Management**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 107-113, jan. 1997. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0196-8904\(96\)00020-9](http://dx.doi.org/10.1016/0196-8904(96)00020-9).

PATIST, A.; ZOERB, H. Preservation mechanisms of trehalose in food and biosystems. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 40, n. 2, p. 107–113, 2005.

PAULI, P. A. **Avaliação da composição química, compostos bioativos e atividade antioxidante em cogumelos comestíveis**. 2010. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2010.

PEKKARINEN, Satu S.; HEINONEN, I. Marina; HOPIA, Anu I. Flavonóides quercetina, miricetina, kaemferol e (+)-catequina como antioxidantes em metil linoleato. **Revista da Ciência da Alimentação e Agricultura**, v. 79, n. 4, pág. 499-506, 1999.

PEREZ-CABRERA, L. *et al.* Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. **Lwt - Food Science and Technology**, [S.L.], v. 44, n. 10, p. 2273-2280, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.007>.

PETZOLD, G.; AGUILERA, J. Ice morphology: fundamentals and technological applications in foods. **Food Biophysics**, v. 4, p. 378-396. 2009.

PROVESI, João Gustavo; AMANTE, Edna Regina. Revisão: proteínas anticongelantes uma tecnologia emergente para o congelamento de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 2-13, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.7714>.

QUE, Phan Thi Thanh; VERLINDEN, Berto; NICOLAU, Bart. Effect of controlled atmosphere and storage temperature on weight loss and color of fresh mushroom hat (*Agaricus bisporus*). **May Tho Univ. J. Sci.**, v. 6, p. 127-139, 2017.

QUEVEDO, Roberto *et al.* Differences between the order model and the Weibull model in the modeling of the enzymatic browning. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 11, p. 1961-1967, 2016.

RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, Elżbieta; BIEGAŃSKA-MARECIK, Róża; KIDOŃ, Marcin. Applicability of Vacuum Impregnation to Modify Physico-Chemical, Sensory and Nutritive Characteristics of Plant Origin Products—A Review. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 15, n. 9, p. 16577-16610, 19 set. 2014. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms150916577>.

RAMOS, M. *et al.* Agaricus bisporus and its by-products as a source of valuable extracts and bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 292, p. 176-187. 2019.

RATTI, C. **Advances in Food Dehydration**. New York: CRC Press, 2009.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 311–319, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00228-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4)

RATTI, C.; KUDRA, T. Drying of foamed biological materials: Opportunities and challenges. **Drying Technology**, v. 24, n. 9, p. 1101–1108, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373930600778213>

RE, Roberta *et al.* Atividade antioxidante aplicando um ensaio de descoloração de cátion radical ABTS aprimorado. **Biologia e medicina dos radicais livres**, v. 26, n. 9-10, pág. 1231-1237, 1999.

REIS, Filipa S. *et al.* Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated mushrooms: a comparative study between in vivo and in vitro samples. **Food and Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 50, n. 5, p. 1201-1207, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.02.013>.

RODRIGUES, Marcela Zonta. **Impregnação a vácuo de micro-organismos probióticos em goiaba minimamente processada**. 2013. 98 f. Tese (*Magister Scientiae*) - Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

RODRIGUEZ, M. C. *et al.* Impregnación de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) de forma semiesférica con una emulsión fortificante. **Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 27, 2016. Universidad del Cauca. [http://dx.doi.org/10.18684/bsaa\(14\)27-36](http://dx.doi.org/10.18684/bsaa(14)27-36).

ROSSOUW, Werner; KORSTEN, Lise. Arable microbiome of fresh white mushrooms. *Letters in Applied Microbiology*, v. 64, n. 2, pág. 164-170, 2017.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, The merck index online Glycerol, disponível em: < <https://www.rsc.org/Merck-Index/monograph/m5790/glycerol?q=unauthorize>>.

ROYSE, Daniel J. *et al.* A global perspective on the top five: Agaricus, Pleurotus, Lentinula, Auricularia e Flammulina. In: **Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8)**, 2014.

ROZEK, A.; GARCIA-PEREZ, V. J.; LOPEZ, F.; GUELL, C.; FERRANDO, M. Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: phenolic stability during air drying. **Journal of Food Engineering**, v. 99, n. 2, p. 142-150, jul. 2010.

RUFINO, M. S. M. *et al.* **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Comunicado técnico, 127. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 4 p.

RUX, Guido *et al.* Application of humidity-regulating tray for packaging of mushrooms. **Postharvest Biology and Technology**, [S.L.], v. 108, p. 102-110, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.010>.

SADIQ, S. *et al.* Studies on chemical composition and nutritive evaluation of wild edible mushrooms. **Iran Journal of Chemistry and Chemical Engineering**, v. 27, n. 3, p. 151-154, 2008.

SAGAR, V. R.; SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of food science and technology**, v. 47, p. 15-26, 2010.

SALAMAT, Razieh *et al.* The effect of additional packaging barrier, air moment and cooling rate on quality parameters of button mushroom (*Agaricus bisporus*). **Food Packaging and Shelf Life**, [S.L.], v. 23, p. 100448, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100448>.

SALVATORI, A.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; FITO, P. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. **Journal of Food Process Engineering**, v. 21, p. 59-73, fev. 1998.

SANCHES, A. G. *et al.* Tratamentos químicos na manutenção da qualidade pós-colheita em frutos de pitanga (*Eugenia uniflora* L.). **Nativa**, v. 5, n. 4, p. 257-262, 2017. DOI: 10.31413/nativa.v5i4.4429.

SATOH, I., FUSHINOBU, K., HASHIMOTO, Y. Freezing of a Water Droplet Due to Evaporation—Heat Transfer Dominating the Evaporation-Freezing Phenomena and the Effect of Boiling on Freezing Characteristics. **International Journal of Refrigeration**, v.25, p.226-234. 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-7007\(01\)00083-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-7007(01)00083-4).

SCAMAN, C. H. *et al.* Combined Microwave Vacuum Drying. **Emerging Technologies for Food Processing**, [S.L.], p. 427-445, 2014. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-411479-1.00023-1>.

SCHMIDT, F. C. **Estudo das trocas de massa durante o tratamento de cortes de peito de frango com soluções salinas**. 2006, 89f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Alimentos), Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis.

SCHMIDT, F. C.; ARAGÃO, G. M. F.; LAURINDO, J. B. Integrated cooking and vacuum cooling of chicken breast cuts in a single vessel. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 2, p. 219-224. 2010.

SCOUTARIS, N. et al. SEM/EDX and confocal Raman microscopy as complementary tools for the characterization of pharmaceutical tablets. **International Journal of Pharmaceutics**, 470, 88-98. 2014.

SERRANO, M. *et al.* Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2005.

SERRANO, M. *et al.* The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 115-123, mar. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2004.09.001>.

SHAO, Suqin *et al.* Ergosterol Profiles, Fatty Acid Composition, and Antioxidant Activities of Button Mushrooms as Affected by Tissue Part and Developmental Stage. **Journal Of Agricultural and Food Chemistry**, [S.L.], v. 58, n. 22, p. 11616-11625, 20 out. 2010. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf102285b>.

SHAMS, R.; SINGH, J.; DASH, K. K.; DAR, A. H. Comparative study of freeze drying and cabinet drying of button mushroom. **Applied Food Research**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 100084, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.afres.2022.100084>.

SILVA, N. G. **Estudo da capacidade antioxidante de cogumelos comestíveis**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Segurança Alimentar, Faculdade de Farmácia da Universidade de Coimbra, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015.

SILVA, A. C. C.; SCHMIDT, F. C. Vacuum freezing of coffee extract under different process conditions. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 1683–1695. 2019.

SILVA, A.C.C.; SCHMIDT, F.C. Intensification of freeze-drying rate of coffee extract by vacuum freezing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S.L.], v. 78, p. 103022, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103022>.

SINGH, Preeti *et al.* Recent advances in extending the shelf life of fresh Agaricus mushrooms: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 9, p. 1393-1402, 2010.

SINGLA, R.; GANGULI, A; GHOSH, M. Physicochemical and Nutritional Characteristics of Organic Acid-Treated Button Mushrooms (*Agaricus bisporous*). **Food Bioprocess Technol** 5, 808–815 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0457-7>

SINGLETON, Vernon L.; ROSSI, Joseph A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SRINIVASAN, G.; MUNEESHWARAN, M.; RAJA, B. Numerical investigation of heat and mass transfer behavior of freeze drying of milk in vial. **Heat and Mass Transfer**, v. 55, p. 2073–2081. 2019.

SQUIRES, E.L., *et al.* Cooled and frozen stallion semen. Fort Collins: Colorado State University. 1999.

SQUIRES, EL; MCCUE, PM; VANDEWALL, D. A situação atual da transferência de embriões equinos. **Theriogenology**, v. 51, n. 1, pág. 91-104, 1999.

STAMETS, P.; CHILTON, J.S. 1983. **The mushroom cultivator**. Washington: Agarikon Press Olimpia, 1983. 415p.

SZADZIŃSKA, J.; MIERZWA, D.; MUSIELAK, G. Ultrasound-assisted convective drying of white mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, [S.L.], v. 172, p. 108803, fev. 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2022.108803>.

TORREGGIANI, D. Technological aspects of osmotic dehydration of foods, in food preservation by moisture. **Fundamentals and Applications**. 1995.

TRAVAGLINI, D.A.; NETO, M.P.; BLEINROTH, E.W.; LEITÃO, M.F.F. **Bananapassa: Princípios de secagem, conservação e produção industrial**. Campinas: ITAL, 1993. 73p.

TRAVAGLINI, D.A.; AGUIRRE, J.M.; SILVEIRA, E.T. Desidratação de frutas. In: **Desidratação de frutas e hortaliças – Manual técnico**. Campinas: ITAL, 2001. p.31-34.

TRIBUZI, G.; LAURINDO, J. B.. How to Adapt a Lab-Scale Freeze Dryer for Assessing Dehydrating Curves at Different Heating Conditions. **Drying Technology**, [S.L.], v. 32, n. 9, p. 1119-1124, 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2014.886258>.

URBEN, A.F.; EMBRAPA (2004). Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada. Brasília, DF: Embrapa. 187 p. ISBN 85-87697-27-7.

VALVERDE, J. M. *et al.* Improvement of Table Grapes Quality and Safety by the Combination of Modified Atmosphere Packaging (MAP) and Eugenol, Menthol, or Thymol. **Journal Of Agricultural and Food Chemistry**, [S.L.], v. 53, n. 19, p. 7458-7464, 19 ago. 2005. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf050913i>.

VALVERDE, María Elena; HERNÁNDEZ-PÉREZ, Talía; PAREDES-LÓPEZ, Octavio. Edible Mushrooms: improving human health and promoting quality life. **International**

**Journal of Microbiology**, [S.L.], v. 2015, p. 1-14, 2015. Hindawi Limited.  
<http://dx.doi.org/10.1155/2015/376387>.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J. **Food dehydration**. Westport: Avi Pub., 1963.  
v.1: Principles, 185p.

VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D. F. **Compendium of methods for the microbiological examination of food**. 3. ed. Washington, DC: American Public Health Association (APHA), 1992.

VERMA, Anil Kumar *et al.* Processing of mushrooms: a viable option to sustain the growing population of the developing countries. **International Journal of Chemical Studies**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 1416-1423, 1 maio 2020. AkiNik Publications.  
<http://dx.doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3s.9396>.

WALDE, S.G.; VELU, V.; JYOTHIRMAYI, T.; MATH, R.G. Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 74, n. 1, p. 108-115, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.008>.

WANG, Q., WANG, H., XIE, M. Antibacterial mechanism of soybean isoflavone on staphylococcus aureus. **Arch Microbiol**. V. 192, p. 893 – 898. 2010.

WANI, Bilal Ahmad; BODHA, RH; WANI, AH Importância nutricional e medicinal dos cogumelos. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 4, n. 24, pág. 2598-2604, 2010.

WINGLER, Astrid. The function of trehalose biosynthesis in plants. **Phytochemistry**, v. 60, n. 5, p. 437-440, 2002.

XIE, J.; ZHAO, Y. Nutritional enrichment of fresh apple (Royal Gala) by vacuum impregnation. **International journal of food sciences and nutrition**, v. 54, n. 5, p. 387-398, 2003.

XU, Yingyin *et al.* Effect of plasma activated water on the postharvest quality of button mushrooms, *Agaricus bisporus*. **Food chemistry**, v. 197, p. 436-444, 2016.

YAMAMOTO, Euriann Lopes Marques *et al.* Função do cálcio na degradação da parede celular vegetal de frutos. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 6, n. 2, p. 6, 2011.

YANG, Hongshun *et al.* Effects of vacuum impregnation with calcium lactate and pectin methylesterase on quality attributes and chelate-soluble pectin morphology of fresh-cut papayas. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 5, p. 901-913, 2017.

YILMAZ, Fatih Mehmet *et al.* Ultrasound-assisted vacuum impregnation on the fortification of fresh-cut apple with calcium and black carrot phenolics. **Ultrasonics Sonochemistry**, [S.L.], v. 48, p. 509-516, nov. 2018. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.007>.

ZALEWSKA, Magdalena *et al.* Effect of Applied Ozone Dose, Time of Ozonization, and Storage Time on Selected Physicochemical Characteristics of Mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Agriculture**, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 748, 6 ago. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11080748>.

ZIELINSKI, A. A. F.; HAMINIUK, C. W. I.; BETA, T. Multi-response optimization of phenolic antioxidants from white tea (*Camellia sinensis* L. Kuntze) and their identification by LC-DAD-Q-TOF-MS/MS. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 897–907, 2016.

ZHANG, Z.; GAO, J.; ZHANG, S. Heat and mass transfer of the droplet vacuum freezing process based on the diffusion-controlled evaporation and phase transition mechanism. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1–8. 2016.

ZHANG, Kexin *et al.* Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): a review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 78, p. 72-82, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.012>.

ZHAO, Y.; XIE, J. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, p. 434-451, set. 2004.

ZHAO, Yanyun; XIE, Jing. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 15, n. 9, p. 434-451, set. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2004.01.008>.