



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA**  
**DE ALIMENTOS**



JANAINA OLIVEIRA FREIRE

**CINÉTICA DE SECAGEM DE COGUMELOS COMESTÍVEIS E EFEITO DA**  
**TEMPERATURA SOBRE OS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES**

Área de Concentração: Ciência de Alimentos

Itapetinga – BA  
Fevereiro 2019

JANAINA OLIVEIRA FREIRE

**CINÉTICA DE SECAGEM DE COGUMELOS COMESTÍVEIS E EFEITO DA  
TEMPERATURA SOBRE OS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES**

Dissertação de mestrado  
apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia e  
Ciência de Alimentos da  
Universidade Estadual do  
Sudoeste da Bahia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. DSc. Silmara Almeida de Carvalho

Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup>. DSc. Gabrielle Cardoso Reis Fontan

Co-orientador: Prof<sup>º</sup>. DSc. Leandro Soares Santos

Itapetinga – BA  
Fevereiro 2019

635.8  
F933c Freire, Janaina Oliveira

Cinética de secagem de cogumelos comestíveis e efeito da temperatura sobre os compostos antioxidantes. / Janaina Oliveira Freire. - Itapetinga: UESB, 2019.

77p.

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Área de Concentração: Ciência de Alimentos. Sob a orientação da Prof<sup>a</sup>. Silmara Almeida de Carvalho.

1. Cogumelos comestíveis - Temperatura de secagem. 2. Compostos fenólicos. 3. *Pleurotus eryngii*. 4. *Pleurotus ostreatus*. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. II. Carvalho, Silmara Almeida de. III. Título.

CDD(21): **635.8**

Catálogo na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535

Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Cogumelos comestíveis - Temperatura de secagem
2. Compostos fenólicos
3. *Pleurotus eryngii*
4. *Pleurotus ostreatus*



**Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**  
Recredenciada pelo decreto estadual nº 16.825 de 04.07.2016  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos  
PPG-ECAL / UESB



Áreas de Concentração: Engenharia de Alimentos  
Ciência de Alimentos

### DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

**Título: CINÉTICA DE SECAGEM DE COGUMELOS COMESTÍVEIS E EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE OS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES.**

**Autor (a): JANAÍNA OLIVEIRA FREIRE**

**Orientador (a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silmara Almeida de Carvalho**

**Coorientador (a):**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CIÊNCIA DE ALIMENTOS**, pela Banca Examinadora.

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Larissa Cavalcante de Rezende  
Membro UESB

Dr. Leonardo Milani Avelar Rodrigues  
Membro UESB

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silmara Almeida de Carvalho  
Orientadora - UESB  
Presidente da Banca

Itapetinga-BA, 26 de fevereiro de 2019.

*“O que prevemos raramente ocorre; o que menos esperamos geralmente acontece”.*

*Benjamin Disraeli*

*À Deus*

*À minha mãe*

*Dedico!*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que “diante de tudo não deixa de me amar e me da sua imensa ternura sem esperar nada em troca”, meu coração transborda de tamanha gratidão, obrigada por sempre estar comigo, seja através da natureza, da música ou de anjos que aparecem no nosso caminho.

Agradeço à minha mãe Cleuza e ao meu irmão Phillipe, por acreditarem em mim e me apoiarem sempre, demonstrando amor em cada gesto! À minha sobrinha Luna, que me fortalece pelo simples fato de existir e à minha cunhada Milena, que sempre me proporciona momentos de muita paz. Eu amo vocês!

Um agradecimento especial e cheio de amor aos amigos e colegas que de alguma maneira fizeram parte desta jornada. Às minhas “Paraibas” Gabriela, Amanda e Jessyka (sabe aqueles anjos que aparecem no nosso caminho?), vocês (e os nossos bichinhos) preencheram os meus dias e contribuíram de maneira fundamental nessa etapa tão importante! Obrigada Sara, Bela, Sayonara, Rafa, Gabi Carvalho, Ingrid, Jô, Hanna, Jenifer, Lavínia, Alexandre, Jack e Thainanne, por todos os momentos partilhados e por torcerem por mim! Todos vocês, de maneira muito singular, ocupam um espaço no meu coração!

À minha amiga e orientadora Silmara Carvalho, por sempre estar ao meu lado e por nunca faltar respeito e amizade. Obrigada pela caminhada de seis longos anos, foram sem dúvida de extrema importância para o meu crescimento pessoal e profissional. Que nunca nos falte amor!

Aos professores que contribuíram com conhecimento científico e aqueles que ultrapassaram o papel de educadores (Gabrielle Fontan, Sibelli Passini, Leandro Soares e Rafael Fontan), obrigada por todo o apoio sempre! Registro aqui meu respeito e admiração por vocês! À Leonardo Milani e Larissa Cavalcante pela disponibilidade em participar da banca e fazer parte da avaliação deste trabalho.

À família LPNBio, por serem tão parceiros, prestativos e por tornarem a rotina de trabalho mais leve. Vocês são maravilhosos! Ao meu amigo Filipe Nonato, pelo carinho, ajuda e por sempre me arrancar boas risadas! Mari, Daniel e Hernandez, obrigada pela disposição sempre! Sentirei saudades, mas estarei sempre por perto! Contem comigo! Agradeço à Hudson por toda ajuda durante o experimento e ao pessoal do LAPRON pelo auxílio na execução das análises, em especial Cleia, Matheus e Lucas.

À UESB, pela oportunidade de crescimento e pelos funcionários que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho, ao PPGCAL pelo apoio nessa jornada e à Fapesb, pela concessão da bolsa.

Meus sinceros agradecimentos!

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XII
RESUMO .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 COGUMELOS COMESTÍVEIS .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 GÊNERO <i>PLEUROTUS</i> .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 SECAGEM DE ALIMENTOS.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Modelos matemáticos na secagem de alimentos.....	7
2.2.2 A importância da secagem de cogumelos .....	8
<b>2.3 ANTIOXIDANTES NATURAIS EM COGUMELOS .....</b>	<b>9</b>
<b>2.4 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR) .....</b>	<b>11</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>13</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2 SECAGEM DOS COGUMELOS .....</b>	<b>14</b>
<b>4.3 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E CENTESIMAL DOS COGUMELOS.....</b>	<b>15</b>
<b>4.4 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS E AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE.....</b>	<b>16</b>
4.4.1 Quantificação de Fenólicos totais .....	16
4.4.2 Quantificação de flavonoides totais .....	17
4.4.3 Ensaio de Captura de Radicais DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil).....	17
4.4.4 Determinação do Poder Redutor - Método FRAP .....	18
4.4.5 Determinação Cromatográfica de Compostos Bioativos em cogumelos .....	18
<b>4.5 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER FTIR.....</b>	<b>19</b>
<b>4.6 ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>20</b>
<b>5 RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS COGUMELOS FRESCOS.....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COGUMELOS FRESCOS.....</b>	<b>22</b>
5.2.1 Teor de compostos fenólicos e flavonoides Totais .....	22
5.2.2 Atividade antioxidante pelos métodos do sequestro de radicais livres DPPH e redução do ferro - FRAP .....	22
5.2.3 Determinação Cromatográfica de Compostos Bioativos em cogumelos frescos.....	23
<b>5.3 CINÉTICA DE SECAGEM DOS COGUMELOS .....</b>	<b>24</b>
Ajuste dos dados experimentais .....	26

<b>5.4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS COGUMELOS DESIDRATADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>5.5</b>	<b>ANÁLISE DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COGUMELOS DESIDRATADOS.....</b>	<b>33</b>
5.5.1	Teor de Compostos Fenólicos e flavonoides totais .....	33
5.5.2	Atividade antioxidante pelos métodos do sequestro de radicais livres DPPH e redução do ferro - FRAP .....	34
5.5.3	Determinação Cromatográfica dos compostos bioativos nos cogumelos desidratados .....	35
<b>5.6</b>	<b>FTIR.....</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva típica de secagem para um produto alimentar (ORDÓÑEZ, 2005).....	6
Figura 2-Ilustração da estrutura química dos compostos fenólicos mais comumente encontrados em cogumelos (PALACIOS et al, 2011).....	10
Figura 3 - Cogumelos <i>eryngii</i> (A) e <i>shimeji</i> (B). .....	14
Figura 4 - Preparação das amostras para os ensaios de secagem. ....	14
Figura 5 - Curvas de secagem do <i>eryngii</i> (A) e <i>shimeji</i> (B) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. ....	25
Figura 6 - Modelagem da cinética de secagem do <i>eryngii</i> (A) e <i>shimeji</i> (B) a 50, 60 e 70 °C, utilizando o modelo de Henderson & Pabis. ....	27
Figura 7 - Modelagem da cinética de secagem do <i>eryngii</i> (A) e <i>shimeji</i> (B) a 50, 60 e 70 °C, utilizando o modelo Logarítmico. ....	27
Figura 8- Modelagem da cinética de secagem do <i>eryngii</i> (A) e <i>shimeji</i> (B) a 50, 60 e 70 °C, utilizando o modelo de Midilli. ....	27
Figura 9 - Análise de resíduos dos modelos estudados na secagem do <i>eryngii</i> (A) e <i>shimeji</i> (B) a 50 °C. ....	28
Figura 10 - Análise de resíduos dos modelos estudados na secagem do <i>eryngii</i> (A) e <i>shimeji</i> (B) a 60 °C.....	29
Figura 11 - Análise de resíduos dos modelos estudados na secagem do <i>eryngii</i> (A) e <i>shimeji</i> (B) a 70 °C.....	29
Figura 12 - Principais compostos bioativos encontrados nos cogumelos. ....	37
Figura 13 - Cromatograma característico do <i>shimeji</i> seco a 60 °C. Separação dos diferentes compostos bioativos: 1) Ácido gálico, 2) Catequina, 3) Ácido Clorogênico, 4) Cumárico, 5) Ferúlico, 6) Rutina. ....	39
Figura 14 - Cromatograma característico do <i>eryngii</i> seco a 60 °C.. Separação dos diferentes compostos bioativos: 1) Ácido gálico, 2) Catequina, 3) Ácido Clorogênico, 4) Cumárico, 5) Ferúlico, 6) Rutina .....	39
Figura 15 - Espectros obtidos através do FTIR para os cogumelos frescos. ....	41
Figura 16 - Espectros do FTIR para secagem do <i>eryngii</i> a 50 °C (A), 60 °C (B) e 70 °C (C), em diferentes tempos de secagem. ....	44
Figura 17 - Espectros do FTIR para a secagem do <i>shimeji</i> a 50 °C (A), 60 °C (B) e 70 °C (C), em diferentes tempos de secagem. ....	45
Figura 18 - Espectros do FTIR para o <i>shimeji</i> e <i>eryngii</i> frescos e secos a 60 °C nos seus respectivos tempos de secagem. ....	47
Figura 19- Gráfico de dispersão do cogumelo <i>eryngii</i> seco em diferentes tempos em relação aos componentes principais CP1 e CP2. ....	49
Figura 20 - Gráfico de dispersão do cogumelo <i>shimeji</i> seco em diferentes tempos em relação aos componentes principais CP1 e CP2. ....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos matemáticos de regressão não linear, utilizados para predizer o fenômeno de secagem. ....	7
Tabela 2- Relação dos compostos fenólicos encontrados no <i>P. ostreatus</i> (PALACIOS et al, 2011). ....	10
Tabela 3 - Equações para calibração das curvas padrões com coeficiente de correlação. ....	19
Tabela 4 - Caracterização físico-química e centesimal dos cogumelos frescos. ....	21
Tabela 5 - Teor de fenólicos e flavonoides totais para os cogumelo frescos. ....	22
Tabela 6 - Teor antioxidante pelo método FRAP e DPPH dos cogumelos frescos. ....	23
Tabela 7 - Conteúdo de compostos bioativos identificados nos cogumelos frescos. ....	24
Tabela 8 - Ajuste dos modelos matemáticos nas temperaturas de secagem. ....	26
Tabela 9 - Caracterização físico-química e centesimal dos cogumelos em diferentes temperaturas de secagem. ....	30
Tabela 10 - Propriedades de cor para os cogumelos <i>eryngii</i> e <i>shimeji</i> secos em diferentes temperaturas. ....	32
Tabela 11 - Teor de fenólicos e flavonoides totais para os cogumelos desidratados. ....	33
Tabela 12 - Teor antioxidante pelos métodos FRAP e DPPH dos cogumelos desidratados. ....	34
Tabela 13 - Conteúdo de compostos bioativos identificados no cogumelo <i>eryngii</i> seco em diferentes temperaturas de secagem. ....	36
Tabela 14 - Conteúdo de compostos bioativos identificados no cogumelo <i>shimeji</i> seco em diferentes temperaturas de secagem. ....	36
Tabela 15 – Atribuições da absorção dos compostos orgânicos identificados nos cogumelos. ....	41

## RESUMO

FREIRE, J. O. **Cinética de secagem de cogumelos comestíveis e efeito da temperatura sobre os compostos antioxidantes.** Itapetinga, BA: UESB, 2019. 77p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de concentração: Ciência de Alimentos).\*

Os cogumelos comestíveis têm grande importância comercial devido ao potencial funcional que possuem, no entanto, são extremamente perecíveis devido ao elevado teor de água. A tecnologia de secagem é um dos métodos mais aplicados para conservação de alimentos e nesse sentido, o objetivo do trabalho foi estudar a cinética de secagem dos cogumelos *Pleurotus eryngii* e *Pleurotus ostreatus* (*shimeji*) através das curvas de secagem e comportamento no FTIR, bem como avaliar o efeito das temperaturas na composição química e nos compostos antioxidantes. Os cogumelos frescos foram submetidos à secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Cinco modelos matemáticos (Henderson & Pabis, Lewis, Logarítmico, Page e Midilli) foram ajustados aos dados experimentais de secagem através da regressão não linear e avaliados com base nos parâmetros de qualidade ( $R^2$ ,  $X^2$ , RSME, SSE) e análise de resíduo. Os cogumelos frescos e secos nas diferentes temperaturas foram submetidos às análises de composição centesimal, compostos fenólicos totais, flavonoides totais, atividade antioxidante pelos métodos FRAP e DPPH, análise dos compostos bioativos por meio da Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) e avaliação da secagem através do FTIR. As curvas de secagem permitiram verificar que a temperatura foi altamente correlacionada com a velocidade de secagem. Apesar de três modelos matemáticos apresentarem bons parâmetros de qualidade, o de Midilli apresentou melhor ajuste, sendo capaz de prever a secagem dos cogumelos com mais precisão. A atividade de água nos cogumelos secos foi abaixo de 0,6 em todas as temperaturas avaliadas, já os maiores teores de proteína e as melhores opções para o parâmetro cor foram a 50 e 60 °C, respectivamente. Para a atividade antioxidante e quantificação dos compostos bioativos através da CLAE, a temperatura de 60 °C foi destacada, sendo capaz de reter a maior quantidade de catequina, ácido gálico e ácido clorogênico, respectivamente. O FTIR permitiu identificar os possíveis grupos funcionais presentes nos cogumelos e verificar o processo de secagem por meio da intensidade dos picos nas bandas relacionadas à água. A análise de componente principal (ACP) permitiu agrupar as amostras de acordo com os tempos de secagem e verificar a aplicabilidade da técnica FTIR. Os resultados evidenciaram que a temperatura influencia no teor antioxidante dos cogumelos, sendo 60 °C a mais aplicável às condições experimentais avaliadas.

**Palavras-chave:** *P. eryngii*; *P. ostreatus*; temperatura de secagem; compostos fenólicos; catequina

## ABSTRACT

FREIRE, J. O. **Kinetics of drying edible mushrooms and effect of temperature on antioxidant compounds.** Itapetinga, BA: UESB, 2019. 77p. Dissertation. (Master in Food Science and Engineering, Concentration area: Food Science).\*

Edible mushrooms have great commercial importance due to their functional potential, however, they are extremely perishable due to the high water content. Drying technology is one of the most applied methods for food preservation. In this sense, the objective of this work was to study the drying kinetics of *Pleurotus eryngii* and *Pleurotus ostreatus* (shimeji) mushrooms through drying curves and FTIR behavior, as well as evaluate the effect of temperatures on chemical composition and antioxidant compounds. Fresh mushrooms were dried at temperatures of 50, 60 and 70 ° C. Five mathematic models (Henderson & Pabis, Lewis, Logarítmico, Page and Midilli) were adjusted to the experimental data of drying through non-linear regression and evaluated based on quality parameters ( $R^2$ ,  $X^2$ , RSME, SSE) and residue analysis. Fresh and dry mushrooms at different temperatures were submitted to centesimal composition, total phenolic compounds, total flavonoids, antioxidant activity by FRAP and DPPH methods, analysis of bioactive compounds by High Performance Liquid Chromatography (CLAE) and drying evaluation through FTIR. The drying curves allowed to verify that the temperature was highly correlated with the drying speed. Although three mathematical models presented good quality parameters, Midilli presented a better fit, being able to predict mushroom drying more accurately. Water activity in dry mushrooms was below 0.6 at all temperatures, with the highest protein content and the best options for the color parameter were at 50 and 60 °C, respectively. For the antioxidant activity and quantification of the bioactive compounds through the CLAE, the temperature of 60 °C was highlighted, being able to retain the highest amount of catechin, gallic acid and chlorogenic acid, respectively. The FTIR allowed to identify the possible functional groups present in the mushrooms and to verify the drying process by means of the intensity of the peaks in the bands related to the water. The main component analysis (PCA) allowed to group the samples according to the drying times and verify the applicability of the FTIR technique. The results showed that the temperature influences the antioxidant content of the mushrooms, being 60 °C more applicable to the experimental conditions evaluated.

**Key words:** *P. eryngii*; *P. ostreatus*; drying temperature; phenolic compounds; catechin.

## 1 INTRODUÇÃO

Cogumelos comestíveis têm sido utilizados em todo o mundo desde a antiguidade por possuírem sabores únicos, sendo considerados como importantes fontes de nutrientes (REN et al., 2012). Atualmente, se tornaram mais atraentes como alimentos funcionais devido aos efeitos benéficos sobre a saúde humana (CORRÊA, FERREIRA, 2013). Como consequência do elevado consumo de cogumelos, aumenta-se a disponibilidade no mercado, tornando-os mais populares e acessíveis.

Apesar de apresentarem boas características nutricionais e medicinais, os cogumelos são altamente perecíveis, pois apresentam em sua composição uma grande quantidade de água e conseqüentemente, um meio propício para ocorrência de reações que aceleram sua degradação. O teor médio de umidade dos cogumelos frescos é de 90% (REIS et al., 2012), e o tempo de armazenamento pode atingir aproximadamente três semanas com o controle cuidadoso da umidade atmosférica (AKRAMA et al., 2012). O que torna a tecnologia de secagem uma alternativa interessante para a estabilidade do produto frente à etapa de armazenamento.

Cogumelos desidratados são ricos em proteínas e possuem alto teor de carboidratos e fibras, além do baixo conteúdo de lipídeos, o que os tornam excelentes para serem incluídos em dietas de baixo índice calórico. As vitaminas lipossolúveis e o ergosterol fazem dos cogumelos uma fonte vegetariana de vitamina D (RATHORE et al., 2017). São conhecidos também pelo efeito de melhoria do sistema imunológico devido às propriedades terapêuticas que possuem, como, antitumoral, antifúngica, antiviral, antioxidante, entre outras (LIN et al., 2014).

Dentre as várias técnicas empregadas para estender o prazo de validade, a secagem é o método de conservação mais adotado comercialmente. Os cogumelos secos são usados como um ingrediente importante em diversas formulações de alimentos, como pré-mistura instantânea de sopas, recheios, massas, pizzas, saladas (DEHKORDI, 2010). No entanto, a secagem dos cogumelos a altas temperaturas por longos períodos pode causar sérios danos ao sabor, cor, concentração de compostos voláteis e de nutrientes (POLITOWICZ et al. al., 2017).

Estes nutrientes podem ser quantificados por métodos convencionais que apesar de eficientes na avaliação dos alimentos, necessitam de tempo para execução das análises, além dos gastos com reagentes, que são muitas vezes fatores limitantes para a pesquisa científica. Por esses motivos, técnicas como espectroscopia no infravermelho vêm sendo utilizadas como

estratégia para avaliação dos alimentos e otimização do tempo de análise, além de atender os conceitos políticos da química verde (FERREIRA, 2013).

Dentro deste contexto o objetivo foi avaliar a cinética de secagem dos cogumelos *Pleurotus Ostreatus* (shimeji-preto) e *Pleurotus eryngi* em diferentes temperaturas, a fim de verificar a melhor condição de secagem através dos modelos matemáticos e avaliar o efeito das temperaturas na composição química e nos compostos antioxidantes do produto final. O estudo também visou investigar o desempenho da espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) na avaliação do processo de secagem.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cogumelos Comestíveis

Segundo a Resolução nº 272, de 22 de setembro de 2005 da ANVISA que aprova o "Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis" o cogumelo comestível tradicionalmente utilizado como alimento pode estar dessecado, inteiro, fragmentado, moído ou em conserva, defumado e/ou submetido à cocção e/ou salga e/ou fermentação ou outro processo tecnológico considerado seguro para a produção de alimentos (BRASIL, 2005).

Segundo Chen (2001), os cogumelos comestíveis são fungos filamentosos como os bolores, nome mais comumente denominado para fungos, mas que apresentam a capacidade de formar corpo de frutificação. Sempre foram respeitados e cultivados por diferentes civilizações, como a europeia e a oriental. Existem mais de 2000 espécies de cogumelos na natureza, mas apenas cerca de 25 são amplamente aceitos como alimentos e poucos são comercialmente cultivados (VALVERDE, 2015).

Atualmente, a China é o principal produtor mundial de cogumelos comestíveis, com 64% da produção total (FAOSTAT, 2016). No Brasil, são três os fungos mais cultivados e consumidos: *Agaricus bisporus* (Champignon de Paris), *Lentinula edodes* (Shiitake) e *Pleurotus ostreatus* (Shimeji). Entretanto, alguns fungos como Cogumelo do sol (*Agaricus blazei*) são cultivados especialmente para exploração de suas propriedades imunoterapêuticas, e normalmente são comercializados em forma de pó, cápsulas ou comprimidos (ANCP, 2017).

Existe uma grande variabilidade na composição nutricional de cogumelos, esta variação deve-se às espécies de cogumelos, ao tipo de substrato utilizado, ao tipo de armazenamento e ao procedimento de conservação (SALES-CAMPOS et al., 2011). Em geral, os cogumelos possuem cerca de 80 a 90% de água, alto teor de vitaminas, minerais e fibras, baixo teor de lipídios, apresentando predominantemente ácidos graxos insaturados (CHEUNG, 2013). São considerados ricos em proteínas, pois apresentam um teor que varia de 1,75 a 5,9% quando frescos e em base seca esse teor varia de 19 a 39% (BERNAS et al., 2006).

### 3.1 Gênero *Pleurotus*

Os cogumelos do gênero *Pleurotus* são considerados de ampla adaptabilidade, porque possuem enzimas que degradam polissacarídeos como a lignina, celulose e hemicelulose, sendo capazes de crescer em um grande número de substratos. Têm odor e sabor

característicos, podendo ser cultivados em diferentes condições climáticas (CHANG & MILES, 2004; SYNYTSYA et al., 2009).

É um dos gêneros de cogumelos com maior produção em todo o mundo. A China é o principal produtor com cerca de 5,6 milhões de toneladas em 2010, que representam 80% da produção mundial (ZHANG et al., 2014). *Pleurotus eryngii*, conhecido também como o cogumelo rei ostra é uma importante espécie de cogumelo, nativo do sul da Europa e das áreas da Ásia central e do norte da África, tornou-se recentemente o cogumelo mais comumente cultivado na Coreia, China e Japão. Sua popularidade deve-se a seu caule branco grosso e carnudo, sabor agradável, composição nutricional e função bioativa potencial, além de possuir boa consistência, aroma agradável, qualidades culinárias, tornando-se preferível a outras espécies de *Pleurotus* (CHEN, 2012; IM et al., 2013; RYUA et al., 2015).

Estudos revelam que o *eryngii* é um potencial alimento para uso funcional e terapêutico, pois possui atividade antitumoral, anti-inflamatória, antioxidante e atua na prevenção do câncer (LIN et al., 2014; ZHANG et al., 2014). Contém uma grande quantidade de L-ergotioneína (2-mercaptohistidina trimethylbetaina), que é um aminoácido associado a distúrbios autoimunes tais como artrite reumatoide e doença de Crohn. A ergotioneína também é um excelente antioxidante e possui capacidade para estimular o sistema imunológico (PELTEKOVA et al., 2004; NOZAKI et al., 2008).

O *Pleurotus ostreatus*, também conhecido como shimeji, é um cogumelo comestível comum, cultivado no mundo todo e entre as suas variações, encontram-se o shimeji branco e o shimeji preto (HEARST et al., 2009). Estudos comprovam que o shimeji pode reduzir a glicose no sangue e colesterol em pacientes com diabetes (KATHATUN, 2007). Foi demonstrado em um experimento em humanos que a ingestão de sopa de tomate com 30 g de shimeji seco reduziu em três semanas, os triglicerídeos séricos e os níveis de lipoproteínas oxidadas de baixa densidade, comparados com os que consumiram apenas sopa de tomate (SCHNEIDER et al., 2011).

Nutricionalmente, a qualidade proteica do shimeji é a característica mais relevante, pois possui aminoácidos essenciais, além da excelente digestibilidade proteica (CARRASCO-GONZALÉZ, 2017). Um estudo comparativo entre espécies de cogumelos mais cultivados e apreciados, mostrou que o shimeji e *eryngii* apresentaram níveis mais altos de ácidos graxos monoinsaturados comparados a *A. bisporus*, *L. edodes* (REIS et al. 2012).

Os cogumelos do gênero *Pleurotus* produzem polissacarídeos fúngicos de interesse por conter  $\beta$ -glucanos, que são grupos funcionais associados ao teor antioxidante, anti-inflamatório e analgésico (BOBEK e GALBAVY, 2001; SMIDERLE et al., 2008), foram

relatados também efeitos anticancerígenos, antimicrobianos, anti-hipertensivos, antidiabéticos e propriedades antialérgicas (KHAN e TANIA 2012).

O uso de cogumelos desse gênero, como alimento ou ingrediente para o processamento de produtos funcionais é promissor devido aos seus atributos benéficos para a saúde. No entanto, o elevado conteúdo de água presente nos cogumelos comestíveis justifica a busca por novas tecnologias de colheita e armazenamento, bem como métodos de conservação eficazes para manutenção de suas propriedades.

## **2.2 Secagem de alimentos**

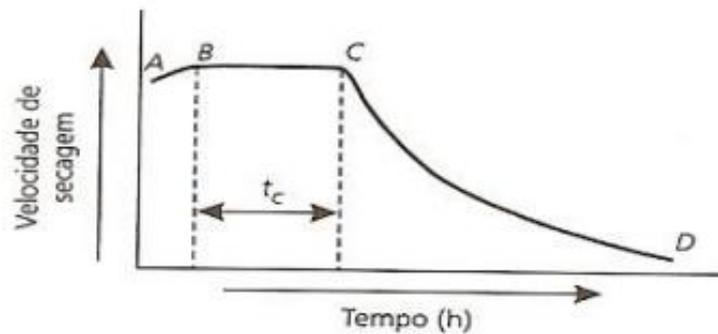
A secagem é um dos métodos mais antigos para a conservação de alimentos e uma das operações unitárias mais utilizadas na indústria alimentícia. Este processo remove a maior parte da água livre normalmente presente nos alimentos através da aplicação de calor sob condições controladas (KROKIDA et al., 2003; SALEHI, 2016). A redução da água melhora a estabilidade do produto impedindo ou retardando o crescimento de microrganismos, reações de escurecimento enzimático ou não enzimático e garantindo ao alimento longos períodos de conservação (KUROZAWA et al, 2012; DOYMAZ, 2013).

A secagem oferece outras vantagens como estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente, diminuição de perdas pós-colheita e redução nos custos de transporte e armazenamento, pois o peso e o volume dos alimentos são reduzidos e não necessitam de refrigeração. No entanto, a secagem pode ocasionar o desenvolvimento de características indesejáveis, comprometendo a qualidade sensorial e o valor nutricional de alguns alimentos (BRENNAN, 2006; CELESTINO, 2010). Sendo assim, estudar o processo de secagem é de suma importância, uma vez que pode acarretar em maiores danos ao produto final.

São vários os métodos empregados na secagem de alimentos e de uma maneira geral podem ser classificados como natural e artificial. Entre os métodos artificiais, uma das técnicas mais utilizadas é a secagem por ar quente (convectiva). Dois fenômenos ocorrem simultaneamente quando um sólido úmido é submetido à secagem: transferência de calor e massa (MENNOUCHE et al., 2014). No primeiro fenômeno, o calor é transferido para a superfície do produto e da superfície para o interior do meio. Na transferência de massa, ocorre o transporte da água no interior do alimento até a superfície e a remoção do vapor por meio do ar de secagem (ATEEQUE et al., 2014; MARTINS, 2015).

O estudo da cinética de secagem é uma etapa muito importante e permite escolher o método, o tempo e a temperatura adequados para a secagem de produtos alimentícios (AVHAD; MARCHETTI, 2016). O fenômeno de transferência de calor e massa que ocorre

entre o ar de secagem e o produto é comum a qualquer condição de secagem e pode ser caracterizado por três períodos (PARK; YADO; BROD, 2001). Para a maioria dos produtos biológicos, a cinética não é uniforme, devendo ser avaliada conforme o período de secagem considerado (taxa de secagem constante ou taxa de secagem decrescente) (BORÉM, 2014), como ilustrado na Figura 1.



**Figura 1** - Curva típica de secagem para um produto alimentar (ORDÓÑEZ, 2005).

O Período A-B corresponde a um período de estabilização, onde se atinge o equilíbrio entre a superfície do produto e o ar de aquecimento, sendo geralmente desprezável. A zona B-C corresponde ao período de velocidade de secagem constante, que ocorre nas primeiras horas de secagem, quando o produto se encontra com teor de água elevado. Nesse período, a superfície do produto encontra-se saturada com água líquida, mantendo a temperatura da superfície constante (BORÉM, 2014).

A zona C-D corresponde ao período de velocidade decrescente e constitui geralmente o período de tempo mais significativo. A taxa interna de transporte de água é menor do que a evaporação superficial. A temperatura do alimento tende a aumentar e a atingir a temperatura do ar de secagem. Nesse período de velocidade decrescente, ocorrem os maiores riscos de perda de qualidade por danos térmicos, o que o torna quase sempre, os únicos observados na secagem de produtos alimentares (BORÉM; ANDRADE; ISQUIERDO, 2014).

Além de ser representado por curvas de secagem e taxa de secagem, o estudo cinético pode ser explicado por meio de modelos matemáticos utilizados para descreverem as curvas de secagem. Os modelos permitem estimar o tempo necessário para redução do teor de água do produto, em diferentes condições de secagem, além de auxiliarem nas tomadas de decisão e na eficiência do processo, contribuindo assim para minimização dos testes laboratoriais (MEZIANE, 2011).

### 2.2.1 Modelos matemáticos na secagem de alimentos

Com a finalidade de auxiliar na descrição dos processos de secagem, vêm-se explorando cada vez mais a utilização de modelos matemáticos que consideram as características do sistema de transferência de massa, sendo essa ferramenta bastante eficiente para o cálculo do desenvolvimento de cada análise, tendo em vista a melhoria da operação, redução de perdas e o aumento da qualidade do produto final (DANTAS; MATA; DUARTE, 2011).

A modelagem é um dos mais importantes aspectos da tecnologia de secagem, especialmente para processos industriais e projeção de equipamentos. A partir dela é possível escolher o método mais adequado de secagem do produto, assim como escolher as condições mais apropriadas (FERNANDES et al., 2006). Modelos matemáticos propostos para descrever o comportamento de secagem de alimentos geralmente se enquadram em três categorias: teóricos, semi-empíricos ou puramente empíricos (MEZIANE, 2011).

Os modelos teóricos consideram apenas a resistência interna à transferência de calor e água entre o produto e o ar aquecido (MIDILLI et al., 2002) A difusão líquida (modelo teórico) admite que não ha influencia da capilaridade, não considera os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro, e admite que os corpos entram em equilíbrio térmico com o ar, imediatamente (OLIVEIRA et al., 2006). Os modelos semi-empíricos são aplicados para transferência de massa, já os modelos empíricos (Tabela 1) possuem uma relação direta entre a umidade e o tempo de secagem (MENEZES et al., 2013).

**Tabela 1** - Modelos matemáticos de regressão não linear, utilizados para predizer o fenômeno de secagem.

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>	<b>Designação</b>
Henderson & Pabis	$RX = a. \exp(-K. t)$	(2)
Lewis	$RX = \exp(K. t)$	(3)
Logarítmico	$RX = a. \exp(-K. t) + c$	(4)
Page	$RX = \exp(-K. t^n)$	(5)
Midilli	$RX = a. \exp(-K. t^n) + b. t$	(6)

RX é razão de teor de água (adimensional); k é a constante de velocidade de secagem do modelo; a, b, c e n são constantes de equação.

Modelos empíricos são importantes não só para descrever a remoção de água da camada fina, mas para descrever também a penetração de calor durante essa remoção (SILVA et al., 2014c). A fim de minimizar os erros, aconselha-se que grande parte dos modelos sejam testados nas condições específicas de secagem (SANTOS et al., 2010).

### 2.2.2 A importância da secagem de cogumelos

Segundo Aday (2016), o processo fisiológico acelera a degradação da qualidade dos cogumelos através da perda de peso e encolhimento dos mesmos. O processo de senescência contribui para redução da vida de prateleira e aumento da capacidade de contaminação microbiana (GAO et al., 2014). Durante a pós-colheita, alguns fatores influenciam a qualidade dos cogumelos, como os fatores internos relacionados ao próprio cogumelo (atividade de água, taxa respiratória e atividade microbiana) e os fatores externos relacionados às condições de armazenamento (temperatura e umidade relativa) (DING et al., 2016).

Uma desvantagem que limita o valor econômico dos cogumelos é o curto prazo de validade. Cogumelos frescos apresentam em sua composição alto teor de umidade que varia de 85% a 95% (KUMAR et al., 2013). A atividade de água ( $a_w$ ) é um fator de grande influência na qualidade dos cogumelos (JAWORSKA, 2014), e é frequentemente utilizada para avaliar e justificar a ocorrência de algumas reações, como oxidação lipídica, estabilidade microbiana, atividades enzimáticas e não enzimáticas e alterações na textura. O cogumelo fresco possui elevada  $a_w$ , podendo proporcionar um ambiente ideal para reações de deterioração (OLOTU et al., 2015).

Nesse sentido, os processos de secagem podem apresentar uma alternativa eficaz no controle da atividade de água dos cogumelos (PEI et al., 2014). Os métodos de secagem aplicados a fungos comestíveis são principalmente secagem em estufa, vácuo, microondas, leiteo fluidizado e liofilização (FERNANDES et al., 2013). A secagem se destaca como uma opção para o armazenamento de cogumelos, tornando-os ingredientes valiosos em uma variedade de produtos alimentícios. Devido à sensibilidade dos cogumelos ao calor, a escolha da temperatura e do método de secagem, pode ser a chave para uma conservação eficaz (GIRI, 2007; GHANBARIAN; SALEHI; 2016).

O sabor característico dos cogumelos, principalmente secos, é muito apreciado pelos consumidores. O principal composto que confere um sabor característico aos cogumelos é o 1-octen-3-ol, formado a partir da quebra oxidativa do ácido linoleico. Este é um processo característico dos cogumelos e é muito intenso durante a secagem (BERNAS et al., 2006; KALAC, 2009).

A operação de secagem é geralmente adotada por preservar os nutrientes, compostos biologicamente ativos, e propriedades antioxidantes (TAUFIQ, 2014; SOGI et al., 2015). Entretanto, as condições apropriadas de secagem são de fundamental importância para assegurar essas propriedades (FRANCO et al., 2015). A vida de prateleira dos cogumelos é um obstáculo para a distribuição e comercialização do produto fresco. Nesse sentido, a

conservação por meio da secagem surge como uma alternativa capaz de preservar a qualidade dos cogumelos e aumentar a concentração de compostos bioativos.

### **2.3 Antioxidantes naturais em cogumelos**

Antimicrobianos e antioxidantes estão entre os aditivos mais utilizados pela indústria de alimentos para preservar produtos por períodos mais longos (CAROCHO et al., 2014). Muitos antioxidantes sintéticos são empregados para retardar o processo de oxidação em sistemas alimentares, tais como hidroxitolueno butilado (BHT), hidroxianisol butilado (BHA), *t*-butilhidroquinona (TBHQ) e propil galato (PG) (MAGSOOD, 2013).

Devido a potenciais riscos para a saúde, a aplicação de antioxidantes sintéticos em produtos alimentares foi mantida sob vigilância (PARK, 2001). A fim de atender a demanda, os pesquisadores estão agora se concentrando na extração e utilização de antioxidantes naturais. Afinal, os antioxidantes estão relacionados com a prevenção de muitas doenças crônicas, como câncer, diabetes e doenças cardiovasculares (ZOU et al., 2016).

Os antioxidantes se classificam segundo seu mecanismo de ação, como antioxidantes primários e secundários. Os primários agem interrompendo a reação em cadeia formada pelos radicais livres durante a oxidação, por meio da doação de átomos de hidrogênio a essas moléculas. Os antioxidantes secundários previnem ou retardam a oxidação, suprimindo os agentes causadores da oxidação, incluindo íons metálicos, oxigênio singlete, enzimas pró-oxidativas e outros oxidantes (SHAHIDI e ZHONG, 2015).

Além de fornecer nutrientes importantes, os cogumelos são ricos em compostos bioativos com propriedades antioxidantes (BHATTACHARYA et al., 2014). Apresentam polissacarídeos, triterpenos, fenólicos e vários metabólitos que exibem fontes potenciais de novos antioxidantes naturais. As características estruturais desses compostos, tais como peso molecular, configuração, tipos de ligação, afetam a intensidade da atividade antioxidante (REN et al., 2014).

#### **Compostos fenólicos**

Os ácidos fenólicos nos cogumelos são os principais compostos encontrados e são responsáveis por um grande número de efeitos biológicos (TAOFIQ et al., 2016). Os fenólicos são grupos de moléculas que se caracterizam pela presença de um anel aromático com, pelo menos, um grupo hidroxila substituinte e uma cadeia lateral (ROCHE et al., 2017).

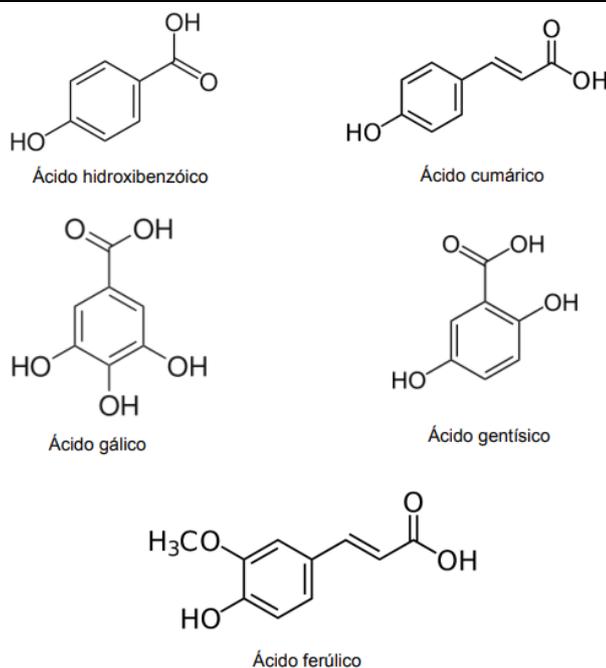
Os compostos fenólicos podem ser classificados em uma ampla variedade de estruturas e funções e podem ser considerados como compostos solúveis em água (ácidos fenólicos, fenilpropanóides, flavonóides e quinonas) ou como compostos insolúveis em água (taninos

condensados, ligninas e paredes celulares ligadas a ácidos hidroxicinâmicos) (HAMINIUK et al., 2011). Existem uma variedade de metabólitos secundários presentes em cogumelos comestíveis, incluindo os compostos fenólicos. Que apresentam uma excelente fonte de antioxidantes e possuem propriedades antitumorais, cardiovasculares, antivirais, antimicrobianas, anti-inflamatórias e antialérgicas (BARROS, et al., 2007).

Os compostos fenólicos, especialmente ácido gálico, catequina, ácido caféico, rutina, quercetina, ácido tânico e ácido protocatecúico, já são conhecidos em muitas espécies de cogumelos comestíveis (KIM, et al., 2008; YALTIRAK et al., 2009;). Em estudos realizados por Palácios et al., (2011), os compostos fenólicos mais encontrados no shimeji são apresentados a seguir, com suas respectivas estruturas químicas demonstradas na Figura 2.

**Tabela 2-** Relação dos compostos fenólicos encontrados no *P. ostreatus* (PALACIOS et al, 2011).

Composto fenólico	Concentração (µg/g amostra)
Ácido hidroxibenzoico	04,69 ± 1,59
Ácido cumárico	11,15 ± 0,85
Ácido ferúlico	20,16 ± 0,16
Ácido gálico	290,34 ± 3,61
Ácido gentísico	292,62 ± 3,42



**Figura 2-** Ilustração da estrutura química dos compostos fenólicos mais comumente encontrados em cogumelos (PALACIOS et al, 2011).

A atividade antioxidante dos compostos fenólicos está associada à neutralização ou sequestro de radicais livres e na quelação de metais. Tal característica deve-se a sua estrutura

química e a capacidade redutora. Devido ao processo de ressonância do anel aromático existente na estrutura, os produtos da ação antioxidante dos compostos fenólicos são relativamente estáveis (SOUSA et. al., 2007).

Em função da atual busca por antioxidantes naturais e alimentos com este potencial (REIS, 2014), os cogumelos se tornam importantes fontes de estudo por possuírem em sua composição compostos bioativos, que reafirma a importância de sua ingestão como alimento funcional.

#### **2.4 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)**

Os métodos convencionais aplicados para determinar a qualidade final dos produtos, bem como para monitorar a cinética do processo de secagem, consomem tempo e exigem uma preparação trabalhosa das amostras. Portanto, é importante desenvolver métodos rápidos para avaliar as principais mudanças que ocorrem durante esses processos. Recentemente, mais atenção tem sido dada ao desenvolvimento das técnicas não invasivas, não destrutivas e eficazes, tal como a espectroscopia no infravermelho (DOMINGO et al., 2014).

Pavia (2010), explica que as frequências de radiação no infravermelho absorvidas são equivalentes às frequências vibracionais naturais de uma molécula e a energia que é absorvida aumenta a amplitude dos movimentos vibracionais das suas ligações. A energia nomeada de infravermelho corresponde à região do espectro eletromagnético que se situa na faixa de comprimento de onda entre  $14.290\text{ cm}^{-1}$  a  $200\text{ cm}^{-1}$ , onde envolve as regiões do infravermelho próximo, médio e distante (HOLLER, 2009). Os espectros de compostos orgânicos são gerados em uma faixa comum que varia de  $4.000\text{ cm}^{-1}$  a  $400\text{ cm}^{-1}$ , porém, o FTIR produz o espectro mais rapidamente e com maior sensibilidade, quando comparado a outros métodos (PAVIA, 2010).

A espectroscopia de infravermelho tem se tornado importante ferramenta na análise qualitativa e quantitativa de materiais, afinal é uma técnica de grande utilidade em laboratórios analíticos e industriais (FIORINI, 2000). Nesse sentido, estudos apontam que a indústria de alimentos vem enxergando a espectroscopia de infravermelho como uma técnica útil no controle de qualidade dos produtos, atendendo os conceitos políticos da química verde (FERREIRA, 2013).

Radzki et. al., (2016), ao avaliar polissacarídeos do cogumelo *Pleurotus ostreatus* através do FTIR, observou que as bandas características da presença de polissacarídeos e moléculas de proteínas foram identificadas. Em estudos realizados por YAO et al., (2017), o FTIR foi aplicado para rastreabilidade de 247 amostras de cogumelos *Boletaceae* em

combinação com a quimiometria e conseguiram observar que para a rastreabilidade de espécies, a fusão de dados de UV-visível e FTIR combinada com a quimiometria pode alcançar 100,00% de precisão de previsão.

Sabe-se que muitas vezes os espectros acabam gerando dados complexos que necessitam de técnicas multivariadas para traduzir esses resultados. A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica quimiométrica que permite visualizar a estrutura dos dados, encontrar as similaridade ou diferenças entre as amostras, com a redução da dimensionalidade dos dados (SHIN et al., 2010).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar a cinética de secagem de cogumelos do gênero *Pleurotus*, verificando a influência das temperaturas na capacidade antioxidante, na composição química e no FTIR.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- ✓ Obter a cinética de secagem do *eryngii* e *shimeji* em diferentes temperaturas;
- ✓ Aplicar e definir modelos matemáticos que melhor se ajustem ao processo de secagem;
- ✓ Determinar a composição química dos cogumelos antes e após o processo de secagem;
- ✓ Avaliar o potencial bioativo dos cogumelos frescos e secos, através da quantificação de compostos fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante;
- ✓ Determinar o perfil cromatográfico e quantificar os compostos fenólicos presentes nos extratos através da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE);
- ✓ Avaliar o FTIR como instrumento de monitoramento do processo de secagem e na diferenciação as amostras.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos no Laboratório de Produtos Naturais e Biotecnologia – LPNbio, Laboratório de Panificação, Centro de Análise Cromatográfica – CEACROM, Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias – CEDETEC, todos localizados na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, campus de Itapetinga.

### 4.1 Obtenção da matéria-prima

Os cogumelos comestíveis foram adquiridos na fábrica Hochibra Cogumelos Exóticos, localizada em Vitória da Conquista, BA. Após a colheita, as amostras foram armazenadas sob refrigeração e acondicionadas em embalagens plásticas durante 24 horas, para início da secagem.



**Figura 3** - Cogumelos eryngii (A) e shimeji (B).

Fonte: autor (2018)

### 4.2 Secagem dos cogumelos

Para realização da cinética de secagem, os cogumelos foram previamente limpos e cortados em cubos com espessura média de 0,5 cm. Após o corte, 10g de cogumelos foram colocados em placas de Petri, para início da secagem.



**Figura 4** - Preparação das amostras para os ensaios de secagem.

Fonte: Autor (2018)

Os ensaios foram realizados em estufa de circulação e renovação de ar natural (modelo SL-102, marca SOLAB / São Paulo, Brasil), nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Os intervalos de tempo entre as pesagens foram inicialmente 15 minutos, 30 minutos durante as duas horas

e intervalos de 1 hora até o fim do processo, o qual teve duração de 5 horas. A secagem foi finalizada quando as variações da massa das amostras foram mínimas, variando apenas a quarta casa decimal. As amostras foram colocadas em sacos de polietileno e armazenadas em potes de vidro sob refrigeração. O experimento foi realizado em triplicata, com duas repetições.

### **Modelagem matemática do processo de secagem**

A partir dos dados de teor de água em cada tempo, foi possível determinar através da equação 1, a razão do teor de água em grandeza adimensional.

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs(inicial)} - X_e} \quad (1)$$

Onde,

$RX$  - razão de teor de água (adimensional);

$X_{bs}$  - teor de água em base seca;

$X_e$  - teor de água de equilíbrio;

$X_{bs(inicial)}$  - teor de água inicial em base seca.

Os modelos de secagem (Henderson & Pabis, Lewis, Logarítmico, Page e Midilli) mencionados no item 2.2.1, foram ajustados aos dados experimentais utilizando-se a análise de regressão não linear, através do programa estatístico R (R Core Team, 2018).

Os parâmetros utilizados para avaliar a adequação do ajuste foram o coeficiente de correlação ( $R^2$ ), o qui-quadrado reduzido ( $X^2$ ), o erro quadrático médio (RMSE) e soma de quadrado do erro (SSE). Os valores mais altos de  $R^2$  e os mais baixos de  $X^2$ , SSE e RMSE indicam o melhor modelo (ZAREIN, 2015).

### **4.3 Composição físico-química e centesimal dos cogumelos**

A composição foi realizada para os cogumelos frescos e para os cogumelos após processo de secagem, a fim de avaliar o efeito das temperaturas de secagem. As análises de umidade, aw, cinzas, proteína e lipídios totais foram determinadas em triplicata, sendo o resultado expresso em base úmida; a análise de cor foi avaliada apenas nos cogumelos secos em diferentes temperaturas.

O teor percentual de umidade foi determinado de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), através do método gravimétrico, em estufa a 105°C até a obtenção do peso constante. A atividade de água foi medida por meio de um analisador de atividade de

água modelo CX-2, marca Aqualab (Pullman, EUA), com temperatura de 25 °C, de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985).

A determinação do teor de cinzas totais foi realizada conforme a metodologia descrita pela AOAC (1995), por incineração da amostra em mufla a 550 °C. Os lipídeos totais foram determinados por meio da extração direta em Soxhlet, utilizando éter de petróleo como solvente extrator (IAL, 2008). Para análise de proteína bruta total foi realizado o método de Kjeldahl de acordo com a metodologia recomendada pelo IAL (2004), onde o resultado foi convertido utilizando o fator de conversão nitrogênio/proteína de 4,38.

A quantificação objetiva de cor foi feita por meio de um colorímetro, com leitura direta de reflectância das coordenadas de cromaticidade “L” (luminosidade), “a” (tonalidades de vermelho a verde) e “b” (tonalidades de amarela a azul), empregando-se a escala HunterLab. 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). Os valores correspondentes às coordenadas de cromaticidade L\*, a\* e b\* foram obtidos por meio de leitura direta das amostras dos cogumelos desidratados (*eryngii* e *shimeji*) em uma cubeta acoplada ao colorímetro (modelo ColorQuest XE, marca HunterLab / Virginia, USA).

#### **4.4 Obtenção dos Extratos e avaliação da capacidade Antioxidante**

A extração foi realizada com solução hidroalcolica (metanol 70%). Foi utilizada 1g da amostra e 30 mL da solução para obtenção dos extratos. O processo ocorreu em banho ultrassônico por uma hora. Os extratos foram utilizados nas determinações de fenólicos totais, flavonoides totais e capacidade antioxidante, cuja concentração do extrato foi de 33,33 mg/ml.

##### **4.4.1 Quantificação de Fenólicos totais**

A determinação destes polifenóis ocorreu através de sua reação com o reagente fosfomolibdotúngstico (Folin-Ciocalteu), diluído em água (10%) no momento do uso, na presença de carbonato de sódio (solução a 7,5%). Alíquotas de 0,5 mL dos extratos foram transferidas para os tubos de ensaio, nos quais foram adicionados 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Os tubos foram agitados e estes permaneceram em repouso por 8 minutos. Posteriormente, foram adicionados 2 mL de solução de carbonato de sódio e agitados novamente. Os tubos permaneceram em repouso por 30 minutos, ao abrigo da luz. A absorbância foi lida em espectrofotômetro de absorção molecular modelo UV mini 1240, marca Shimadzu (São Paulo, Brasil) a 773 nm, tendo como branco o reagente FolinCiocalteu com carbonato de sódio (ISO, 2005). Todas as amostras foram preparadas em triplicata. Para

obtenção da curva de regressão linear, foi utilizado uma solução estoque de ácido gálico na concentração de 1 mg/mL. A solução estoque foi diluída de modo a obter concentrações de 0,01 até 0,2 mg de equivalente de ácido gálico/mL. A equação da curva de regressão linear do ácido gálico foi obtida, com R<sup>2</sup> igual a 0,998 e os resultados foram expressos em mg de EAG/g de amostra.

#### 4.4.2 Quantificação de flavonoides totais

A concentração dos flavonóides totais foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Santos et al., (1998), com modificações. Para o ensaio colorimétrico foi utilizado cloreto de alumínio como agente cromofórico. Em balões volumétricos de 5,0 mL, alíquotas de 1,0 mL de cada amostra foram agitadas com 500 µL da solução metanólica de cloreto de alumínio a 2% e o volume completado com solução metanólica de ácido acético a 1%. Após 30 minutos as leituras das absorbâncias foram realizadas a 425 nm. O mesmo procedimento foi realizado usando soluções conhecidas de padrão de quercetina para elaborar uma curva padrão. A quantidade de flavonoides totais foi expressa como equivalentes de quercetina (mg EQ/g de amostra)

#### 4.4.3 Ensaio de Captura de Radicais DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)

A capacidade antioxidante foi avaliada pelo ensaio de captura de radicais DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), que indica o percentual de proteção contra oxidação e percentual de atividade antioxidante (RUFINO et al., 2007). Os extratos metanólicos dos cogumelos tiveram o seu potencial antioxidante avaliado pelo método DPPH. O método baseia-se na transferência de elétrons, ocorrendo à redução do composto púrpura de DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) por ação de um antioxidante (AH) ou uma espécie radicalar, formando difenil-picrilhidrazina, de coloração amarela, com conseqüente desaparecimento da absorção, sendo esta monitorada pelo decréscimo da absorbância. Um controle negativo foi realizado pela adição de metanol (testes do extrato metanólico) e DPPH, e o controle positivo foi feito pela adição de solução de um padrão (BHT) e DPPH. Às cubetas de vidro, foram adicionados 3,9 mL de uma solução de DPPH de concentração de 300 µM, sendo realizada a leitura inicial. Foram adicionados, então, 0,1 mL dos extratos. Após a adição do extrato, procedeu-se a leitura em espectrofotômetro de absorção molecular (UV Mini 1240, Shimadzu Co.), com comprimento de onda igual a 515 nm, nos tempos iniciais e finais para a determinação da cinética de degradação do radical DPPH. Para a obtenção da atividade antioxidante (AA%), a seguinte equação (x) foi utilizada:

$$AA \% = 100 - \frac{Abs\ amostra - Abs\ branco * 100}{Abs\ controle} \quad (2)$$

Onde,

AA % - Porcentagem de atividade antioxidante;

Abs amostra - Absorbância da amostra;

Abs branco - Absorbância do branco;

Abs controle - Absorbância do controle.

#### **4.4.4 Determinação do Poder Redutor - Método FRAP**

A metodologia do poder redutor dos íons ferro foi realizada como descrito por Rufino et al. (2006). A solução do reagente FRAP foi obtida misturando-se 25,0 mL de tampão acetato a 0,3 M (pH 3,6), 2,5 mL da solução de 2,4,6-Tris(2-piridyl)-s-triazine (TPTZ, marca Sigma-Aldrich), na concentração de 10 mM em solução aquosa de HCl a 40 mM e 2,5 mL de solução aquosa de cloreto férrico a 20 mM, utilizando-se logo após seu preparo. Transferiu-se para tubos de ensaio, 90,0 µL dos extratos hidroalcoólicos e acrescentou-se 270,0 µL de água deionizada e 2,7 mL do reagente FRAP, homogeneizando-se em agitador de tubos. As soluções foram mantidas em banho-maria a 37 °C por 30 minutos, fazendo-se a leitura das absorbâncias ao final desse tempo, a 595 nm. Construiu-se a curva padrão com soluções de sulfato ferroso, nas concentrações de 500,0 a 2000,0 µM. As absorbâncias das amostras foram lidas e os resultados foram expressos em mg de Fe<sup>2+</sup> / g de amostra.

#### **4.4.5 Determinação Cromatográfica de Compostos Bioativos em cogumelos**

Investigou-se a presença de diferentes compostos, a saber, ácido gálico, ácido caféico, catequina, quercetina, rutina, ácido clorogênico, ácido cumárico e ácido ferúlico. Para identificação e quantificação desses compostos bioativos foram obtidos os extratos metanólicos do *eryngii* e *shimeji* (frescos e secos em diferentes temperaturas), conforme o item 4.4. Para a completa retirada do solvente, os extratos metanólicos foram evaporados a 40 °C. O resíduo resultante foi dissolvido em 2,0 mL de metanol grau de pureza cromatográfico e filtrado através de um filtro de seringa com poro de diâmetro de 0,22 µm.

Para realização das análises, utilizou-se um cromatógrafo líquido da marca Shimadzu (Kioto, Japão), equipado com um sistema quaternário de bombas, degaseificador, válvula de injeção com alça de amostragem de 20 µL, forno de coluna e detector de arranjo de diodos. Os compostos fenólicos foram separados em coluna analítica de fase reversa C18 (0,25 m x 4,6 mm d.i. x 5µm de tamanho de partícula). Os parâmetros de funcionamento do cromatógrafo foram estabelecidos conforme descrito por Azevedo et al. (2018). A condição cromatográfica para a injeção e separação dos compostos analisados foi de um fluxo de 1,0 mL/min, com temperatura do forno à 40 °C durante toda corrida. A fase móvel foi composta

por um gradiente de água acidificada (ácido acético 5%), denominado solvente A e metanol, denominado solvente B, onde variou-se de 100% A à proporção 50:50 (v/v) de 0 a 10 minutos; em 12 minutos chegando a 65:35 (v/v) solvente B, mantendo essa proporção até os 15 minutos; em 17 minutos retornando à proporção 50:50 (v/v); e finalizando, retornou-se à condição inicial de 100% solvente A, aos 20 minutos.

Os compostos fenólicos foram identificados através da comparação do tempo de retenção dos picos das amostras com o tempo de retenção dos picos dos padrões, todos adquiridos da *Sigma Chemical Company* (St. Louis, USA), e também pelo comprimento de onda característico das substâncias. Os cromatogramas foram processados a 280, 330 e 360 nm. A quantificação foi realizada pela construção de curvas de calibração dos padrões (Tabela 3).

#### 4.4.5.1 Curvas de calibração dos padrões

Para a construção das curvas de calibração, foi preparada uma solução padrão estoque em metanol, de concentração 1 mg/mL para cada padrão e soluções de diversas concentrações foram preparadas pela diluição da solução estoque. As curvas de ácido gálico, catequina, ácido caféico, rutina e quercetina foram feitas a partir de 5 diluições em concentrações que variaram entre 0,025 e 0,2 mg/mL. Para construção das curvas dos ácidos clorogênico, cumárico e ferúlico as soluções foram preparadas nas concentrações variando entre 0,005 e 0,05 mg/mL. A Tabela 3 apresenta as equações e os coeficientes de correlação para cada curva de calibração dos padrões.

**Tabela 3** - Equações para calibração das curvas padrões com coeficiente de correlação.

<b>Composto</b>	<b>Equação da reta</b>	<b>(R<sup>2</sup>)</b>
Ácido gálico	$y = 3E+07x + 39275$	0,9575
Catequina	$y = 6E+06x - 81695$	0,9636
Ácido caféico	$y = 7E+07x + 474563$	0,9941
Rutina	$y = 2E+07x + 97360$	0,9905
Quercetina	$y = 3E+07x + 140373$	0,9949
Ácido clorogênico	$y = 3E+07x - 36431$	0,9973
Ácido cumárico	$y = 3E+07x - 30227$	0,9989
Ácido ferúlico	$y = 5E+07x - 18979$	0,9996

#### 4.5 Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier FTIR

Os espectros de FTIR foram gerados utilizando o equipamento Infravermelho médio Cary 630 FTIR (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA), equipado com célula de reflectância total atenuada (ATR) e detector de sulfato de triglicina deuterado (DTGS) e o software Agilent MicroLab PC foi empregado para processar os resultados. Antes de cada coleta foi realizada uma leitura do espectro de fundo (*background*), em condições

padronizadas. Em seguida, as amostras de cogumelos foram colocadas sobre o compartimento do acessório onde incidem os raios na faixa do infravermelho (cristal de diamante), sendo obtidos os espectros no modo de absorbância.

As amostras foram avaliadas na região espectral com comprimento de onda de  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $500\text{ cm}^{-1}$ . Todos os espectros foram recolhidos com uma resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$  a temperatura ambiente.

#### **4.6 ANÁLISE DOS DADOS**

Para a cinética de secagem, os dados foram analisados utilizando modelos matemáticos de regressão não linear, através do programa Rstudio. Os resultados das análises dos cogumelos frescos foram submetidos ao teste F e para os cogumelos secos, a diferença estatística das médias foi observada pelo teste de Tukey (nível de 5% de significância), utilizando-se o software SAS, versão student. Para a construção dos gráficos de FTIR, foi utilizado o programa Sigma Plot 11.0 e os dados foram analisados por meio da estatística multivariada (Análise de Componente Principal).

## 5 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização dos cogumelos frescos

Os resultados da caracterização físico-química dos cogumelos frescos são apresentados na Tabela 4:

**Tabela 4** - Caracterização físico-química e centesimal dos cogumelos frescos.

Parâmetros	Eryngii	Shimeji
Aw (*)	0,999 <sup>a</sup> ± 0,00	0,999 <sup>a</sup> ± 0,00
Umidade (%)	88,28 <sup>b</sup> ± 0,05	89,44 <sup>a</sup> ± 0,12
Cinzas (%)	1,02 <sup>a</sup> ± 0,12	1,04 <sup>a</sup> ± 0,21
Lipídeos (%)	0,59 <sup>a</sup> ± 0,32	0,45 <sup>a</sup> ± 0,25
Proteína (%)	3,88 <sup>a</sup> ± 0,13	4,78 <sup>a</sup> ± 0,19

(\*) Parâmetro adimensional. Valores expressos em média ± desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste F, com um nível de significância de 5%.

Os cogumelos possuem alto teor de umidade e atividade de água elevada. A importância da Aw está na sua relação com a conservação dos alimentos. O valor encontrado para os cogumelos frescos foi próximo de 1,0, indicando que a maioria da água encontra-se livre, sendo esta passível de ser utilizada em reações químicas, enzimáticas e no desenvolvimento de microrganismos, além de indicar fácil remoção. A retirada da água livre a níveis seguros de armazenamento surge então como uma opção para reduzir a velocidade das reações que deterioram os alimentos (CORRÊA et al. 2011).

O teor de umidade foi o único parâmetro que apresentou diferença significativa, cujo valor foi maior para o cogumelo shimeji. Segundo KALAC (2009), o teor de umidade dos cogumelos é muito elevado (86 a 94%) em base úmida, o que pode afetar a textura e diminuir o prazo de validade dos cogumelos comestíveis in natura. De acordo com a espécie, a origem geográfica, o substrato de cultivo, as condições ambientais e a parte do corpo de frutificação analisada, a composição química dos cogumelos pode variar (SUDHEEP; SRIDHAR, 2014; SUN et al., 2017).

Os teores de cinzas e lipídeos foram baixos e não houve diferença significativa entre eryngii e shimeji. Os cogumelos possuem composição nutricional balanceada (RASHIDI; YANG, 2016), são pouco calóricos e apresentam baixos teores de lipídeos, variando de 2 a 10%, em matéria seca, conforme Kalac (2009). Os cogumelos em estudo apresentaram valores abaixo de 1%.

O valor de proteína não diferiu estatisticamente entre os cogumelos, sendo possível observar um teor de 3,88 a 4,78% para o eryngii e shimeji, respectivamente. Segundo Lemos (2009), o teor de proteína em cogumelos frescos atinge uma média de 4 a 6%. Raya et al.

(2014), explicam que os teores de proteína dos cogumelos podem variar devido a vários fatores, como a espécie de cogumelo, o tempo de colheita, a composição do meio de crescimento, bem como a técnica de manejo e as condições dos substratos.

Devido ao elevado conteúdo de umidade nos cogumelos frescos e a maneira com que a água se encontra nos cogumelos, bem como a composição química dos mesmos, são justificáveis as mudanças indesejadas e a alta perecibilidade. Por esse motivo, os cogumelos precisam ser armazenados a baixas temperaturas e consumidos dentro de um curto prazo após a colheita. No entanto, a tecnologia de secagem é uma opção para conservá-los por mais tempo, o que justifica um estudo mais aprofundado sobre o efeito da temperatura de secagem na qualidade dos cogumelos.

## 5.2 Atividade antioxidante dos cogumelos frescos

### 5.2.1 Teor de compostos fenólicos e flavonoides Totais

Os resultados dos teores de fenólicos e flavonoides totais nos cogumelos frescos estão apresentados na Tabela 5. Os valores foram expressos em mg EAG/g amostra e mg EQ/g amostra, para fenólicos e flavonoides, respectivamente.

**Tabela 5** - Teor de fenólicos e flavonoides totais para os cogumelos frescos.

Parâmetros	Eryngii	Shimeji
Fenólicos Totais	1,15 <sup>b</sup> ± 0,01	1,28 <sup>a</sup> ± 0,001
Flavonoides Totais	0,02 <sup>b</sup> ± 0,03	0,04 <sup>a</sup> ± 0,03

Teores em miligrama equivalente ácido gálico e quercetina por grama de amostra. Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si ( $p < 0,05$ , teste de Tukey).

O teor de fenólicos e flavonoides totais diferiram significativamente para os cogumelos, cujos valores foram maiores para o shimeji. Em estudo feito por Yilmaz et al., (2016), os teores de fenólicos e flavonoides totais para cogumelos frescos do mesmo gênero (*Pleurotus*) foram em média 1,05 mg EAG/g e 0,13 mg EQ/g amostra, respectivamente, estando o resultado de fenólicos totais próximo aos encontrados no presente estudo.

### 5.2.2 Atividade antioxidante pelos métodos do sequestro de radicais livres DPPH e redução do ferro - FRAP

A atividade antioxidante dos cogumelos foi avaliada pelos métodos de DPPH e FRAP. No entanto, os cogumelos frescos só apresentaram atividade antioxidante para o método DPPH cujo resultado foi expresso em porcentagem de inibição (%) (Tabela 6).

**Tabela 5** - Teor antioxidante pelo método FRAP e DPPH dos cogumelos frescos.

Parâmetros	Eryngii	Shimeji
FRAP	-	-
DPPH	12,35 <sup>b</sup> ± 0,11	14,35 <sup>a</sup> ± 0,09

Valores expressos em média ± desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey, com um nível de significância de 5%.

Os métodos de eliminação de radical são conhecidos para determinar a capacidade antioxidante de produtos alimentícios, devido aos procedimentos rápidos, simples e reprodutíveis (OLIVEIRA et al., 2016). Ao avaliar a atividade antioxidante do eryngii e shimeji frescos pelo método DPPH, foi possível observar que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ), onde a maior capacidade antioxidante foi encontrada para o shimeji. Raya et al., (2014), ao avaliarem o cogumelo shimeji pelo método DPPH, encontraram a capacidade de inibição de 15,76 %, estando próximo ao resultado encontrado neste estudo para o shimeji.

Observou-se que os cogumelos analisados sendo do mesmo gênero e submetidos às mesmas condições de cultivo, diferiram quanto à atividade antioxidante. Segundo Kim et al., (2009), essa variação pode estar associada à diferença entre as espécies, coloração do corpo de frutificação e maturação do corpo frutífero dos cogumelos. A atividade antioxidante também pode estar relacionada tanto ao tipo de substância química presente, quanto à sua concentração na amostra.

Para avaliar a capacidade antioxidante total de uma substância é importante que se utilize pelo menos um ensaio de cada mecanismo, sendo que no ensaio do radical DPPH estão envolvidos dois mecanismos e no ensaio de redução do ferro (FRAP) somente está envolvida a transferência de um átomo de hidrogênio. Basicamente, dois mecanismos de reação baseiam-se na determinação da capacidade antioxidante: a transferência de um átomo de hidrogênio e/ou a transferência de um elétron. Independente do mecanismo, o objetivo é determinar o efeito protetor do material contra os radicais livres (APAK et al., 2016).

### 5.2.3 Determinação Cromatográfica de Compostos Bioativos em cogumelos frescos

Devido aos teores de fenólicos totais terem sido mais elevados do que os teores de flavonoides totais, foi realizada a separação de substâncias químicas presentes nos extratos metanólicos dos cogumelos através da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Foi possível observar pouca variedade de compostos bioativos (Tabela 7). A identificação foi possível por comparação do tempo de retenção dos picos das amostras com o tempo de retenção dos picos dos padrões. A quantificação dos compostos selecionados foi feita com base nas curvas de calibração dos padrões disponíveis.

**Tabela 6** - Conteúdo de compostos bioativos identificados nos cogumelos frescos.

<b>Compostos (<math>\mu\text{g/g}</math> de amostra)</b>	<b>Eryngii</b>	<b>Shimeji</b>
Ácido gálico	$0,31^a \pm 0,06$	$0,16^a \pm 0,05$
Ácido caféico	< L.Q	< L.Q
Catequina	$0,80^b \pm 0,13$	$3,30^a \pm 0,06$
Quercitina	< L.Q	< L.Q
Rutina	< L.Q	< L.Q
Ácido clorogênico	$0,43^a \pm 0,02$	$0,10^b \pm 0,09$
Ácido cumárico	< L.Q	$0,04 \pm 0,04$
Ácido ferúlico	< L.Q	$0,02 \pm 0,19$
<b>Total</b>	<b>1,54</b>	<b>3,62</b>

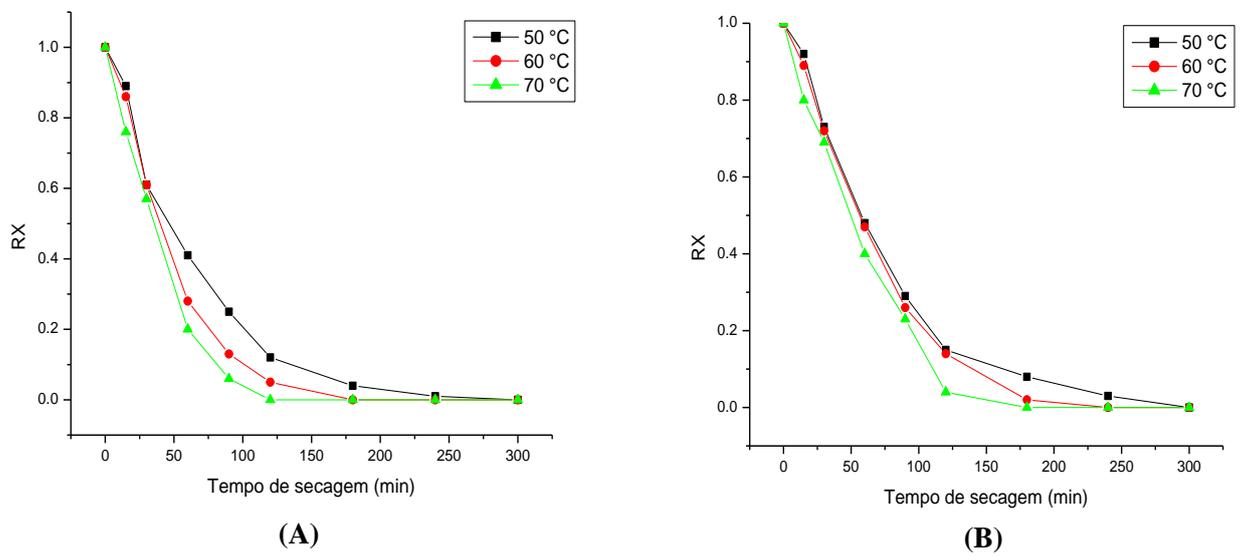
< L.Q – Abaixo do limite de quantificação. Valores expressos em média  $\pm$  desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste F, com um nível de significância de 5%.

Os cogumelos frescos mostraram pequenas concentrações dos compostos identificados, o que pode estar relacionado a um elevado teor de água em sua composição, que devido às ligações de hidrogênio entre os compostos bioativos e a água presente na amostra, essa atividade pode diminuir. Os principais compostos identificados foram catequina, ácido gálico e ácido clorogênico.

Estatisticamente, não houve diferença significativa entre os cogumelos em relação ao ácido gálico, no entanto, o teor de catequina no shimeji foi maior e o ácido clorogênico foi encontrado em maior quantidade no cogumelo eryngii. Também foram identificadas menores quantidades de ácidos cumárico e ferúlico no shimeji, estando abaixo do limite de detecção para o eryngii. A secagem dos cogumelos se faz necessária, uma vez que os compostos bioativos são concentrados devido a retirada de água, garantindo o aumento da vida de prateleira e qualidade microbiológica dos cogumelos.

### 5.3 Cinética de secagem dos cogumelos

Apresentam-se na Figura 5, os pontos experimentais da secagem dos cogumelos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, expressos através da razão de água em função do tempo de secagem. Pode-se observar correlação entre a temperatura e a velocidade de secagem, onde o aumento da temperatura ocasionou diminuição do tempo de secagem dos cogumelos em estudo.



**Figura 5** - Curvas de secagem do eryngii (A) e shimeji (B) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Os resultados experimentais indicaram que o tempo total de secagem necessário para atingir a umidade final dependeu da temperatura aplicada ao processo e o critério para definir o tempo final foi quando não houve mais variação no teor de umidade. Sendo assim, em todas as condições de temperatura estudadas, o comportamento foi semelhante e contínuo até atingir a umidade adimensional de aproximadamente 0,3.

A umidade de equilíbrio do eryngii foi atingida aos 120 minutos para a secagem a 70 °C, 180 minutos para 60 °C e 300 minutos para 50 °C. Já para o shimeji, embora as curvas tenham seguido a mesma tendência, foi verificado que na temperatura de 70 °C, a umidade de equilíbrio foi atingida aos 180 minutos. Este fato está associado ao maior conteúdo de água já verificado no cogumelo shimeji. Os resultados obtidos estiveram de acordo com os estudos característicos da secagem de cogumelos *Pleurotus*, realizados por Tulek (2011).

Mesmo tendo cerca de 90% de umidade, os cogumelos do gênero *Pleurotus* não apresentaram um período à taxa constante. Estudos apontaram que a secagem de *Pleurotus* em diferentes temperaturas, ocorreu em período de taxa decrescente, uma vez que não existiu o período de taxa constante (TULEK, 2011; GIRI e PRASAD, 2007).

As curvas indicam o efeito causado pelo aumento da temperatura do ar sobre a cinética de secagem, favorecendo o processo de transferência de energia na forma de calor para as amostras e, conseqüentemente, promovendo uma maior taxa de remoção da água dos cogumelos. Esse aumento da energia quando há o acréscimo de temperatura, influencia as interações da água com componentes aquosos e não aquosos do alimento. É um efeito físico, ou seja, a disponibilidade de energia cinética provoca agitação molecular e favorece a dissociação das interações.

Martínez-Soto et al., (2001) observaram um período a taxa constante muito pequeno (5 minutos) na secagem de cogumelos da espécie *P. ostreatus*. Isso mostra que a difusão é o

fator que rege o movimento da umidade nos cogumelos. O mecanismo pelo qual ocorre a difusão da água nos produtos agrícolas é muito complexo devido à diversidade da composição química e estrutura física dos produtos.

### Ajuste dos dados experimentais

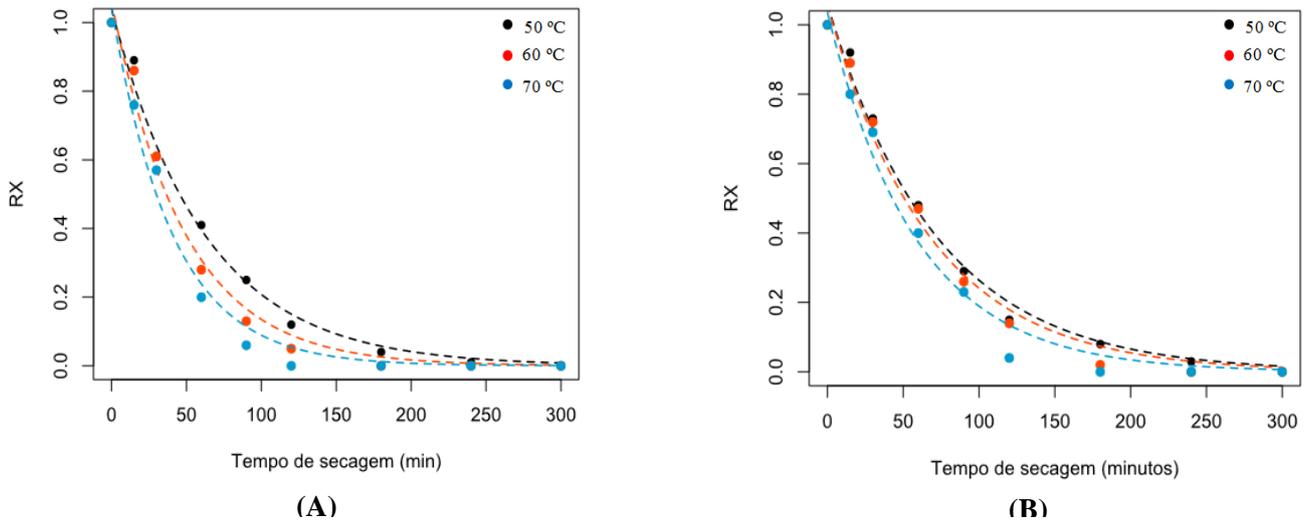
Uma modelagem eficiente das curvas de secagem é altamente relevante em um processo de secagem. A partir da obtenção experimental das curvas de secagem, os dados de umidade adimensional foram ajustados e submetidos à regressão não linear dos modelos matemáticos mencionados na página 6, item 2.2.1. Os valores obtidos para os parâmetros de qualidade (coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado reduzido ( $X^2$ ), erro quadrático médio (RMSE) e soma de quadrado do erro (SSE)), são exibidos na Tabela 7 de modo a avaliar sua adequação.

**Tabela 7** - Ajuste dos modelos matemáticos nas temperaturas de secagem.

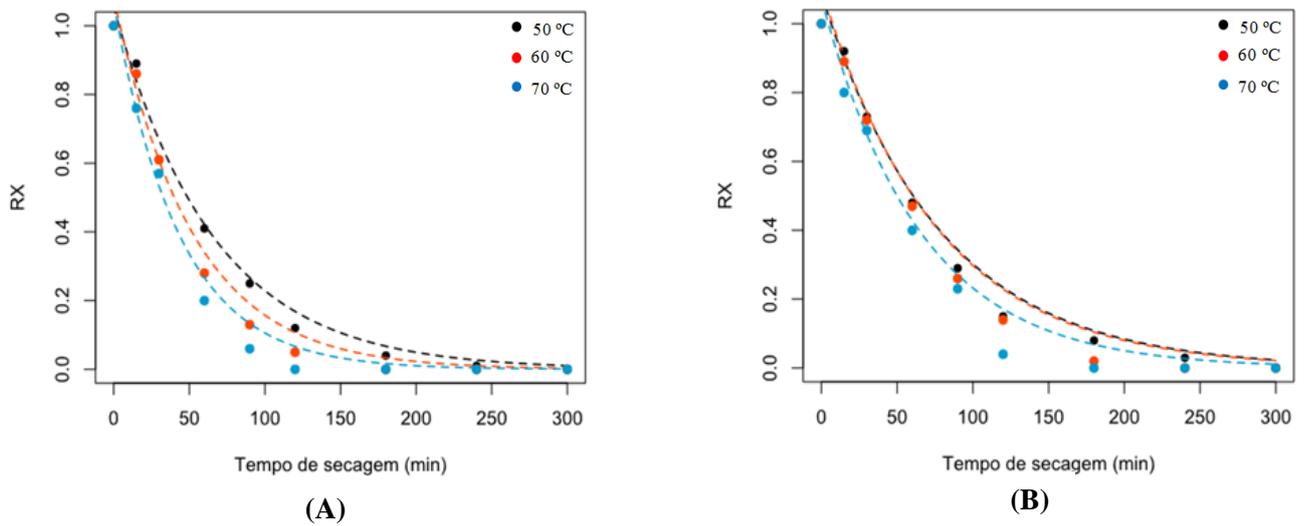
Modelos	T (°C)	Eryngii				Shimeji			
		SSE	RMSE	$X^2$	$R^2$	SSE	RMSE	$X^2$	$R^2$
<b>Henderson e Pabis</b>	50	0,0011	0,0328	0,0014	0,9961	0,0012	0,0349	0,0016	0,9955
	60	0,0018	0,0429	0,0024	0,9941	0,0014	0,0376	0,0018	0,9953
	70	0,0016	0,0404	0,0021	0,984	0,0020	0,0448	0,0026	0,9834
<b>Lewis/Newton</b>	50	0,0213	0,0566	0,0017	0,9663	0,0218	0,0629	0,0024	0,9659
	60	0,0325	0,0596	0,0032	0,9645	0,0421	0,5444	0,0025	0,9661
	70	0,0219	0,0637	0,0025	0,9744	0,0222	0,0572	0,0029	0,9739
<b>Logarítmico</b>	50	0,0015	0,0386	0,0019	0,9863	0,0022	0,0468	0,0028	0,9859
	60	0,0024	0,0488	0,0031	0,9845	0,0040	0,0330	0,0051	0,9864
	70	0,0021	0,0457	0,0027	0,9844	0,0035	0,0495	0,0046	0,9843
<b>Page</b>	50	0,0047	0,2685	0,0060	0,9639	0,0636	0,2521	0,0817	0,9789
	60	0,0862	0,1685	0,006	0,9757	0,1040	0,3226	0,1338	0,9697
	70	0,1321	0,3635	0,1698	0,9629	0,0846	0,2908	0,1087	0,9772
<b>Midilli</b>	50	0,0051	0,0029	0,0024	0,9992	0,0071	0,2703	0,0939	0,9942
	60	0,0063	0,0038	0,0010	0,9995	0,0059	0,3097	0,1233	0,9997
	70	0,0087	0,0015	0,0091	0,9942	0,0090	0,2811	0,1016	0,9912

Observou-se que todos os modelos tiveram bons ajustes aos dados experimentais de secagem, com o menor  $R^2$  igual a 96,29%. Em todos os casos, para todas as temperaturas, os modelos de Henderson e Pabis, Logarítmico e Midilli apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 98% e para os parâmetros SSE,  $X^2$ , RMSE, esses modelos apresentaram valores mais baixos quando comparados aos modelos de Lewis/Newton e Page.

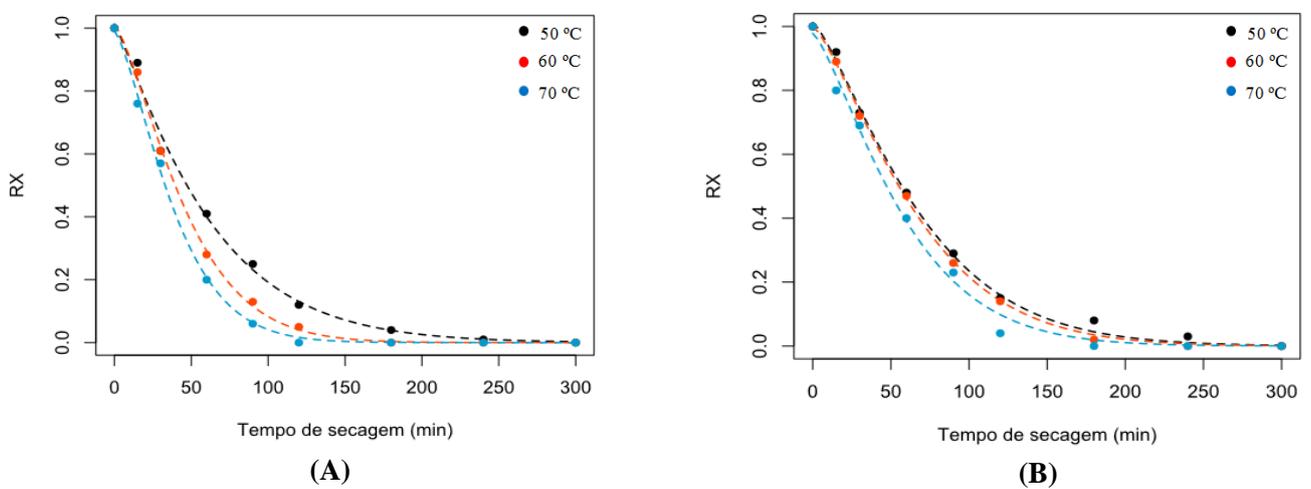
Com base nos parâmetros de qualidade do ajuste, o modelo de Midilli forneceu para todas as temperaturas os maiores valores de  $R^2$  e atingiu os menores valores para o erro quadrático médio (RMSE). As figuras abaixo mostram as curvas de secagem com base nos modelos de Henderson e Pabis, Logarítmico e Midilli.



**Figura 6** - Modelagem da cinética de secagem do eryngii (A) e shimeji (B) a 50, 60 e 70 °C, utilizando o modelo de Henderson e Pabis.



**Figura 7** - Modelagem da cinética de secagem do eryngii (A) e shimeji (B) a 50, 60 e 70 °C, utilizando o modelo Logarítmico.

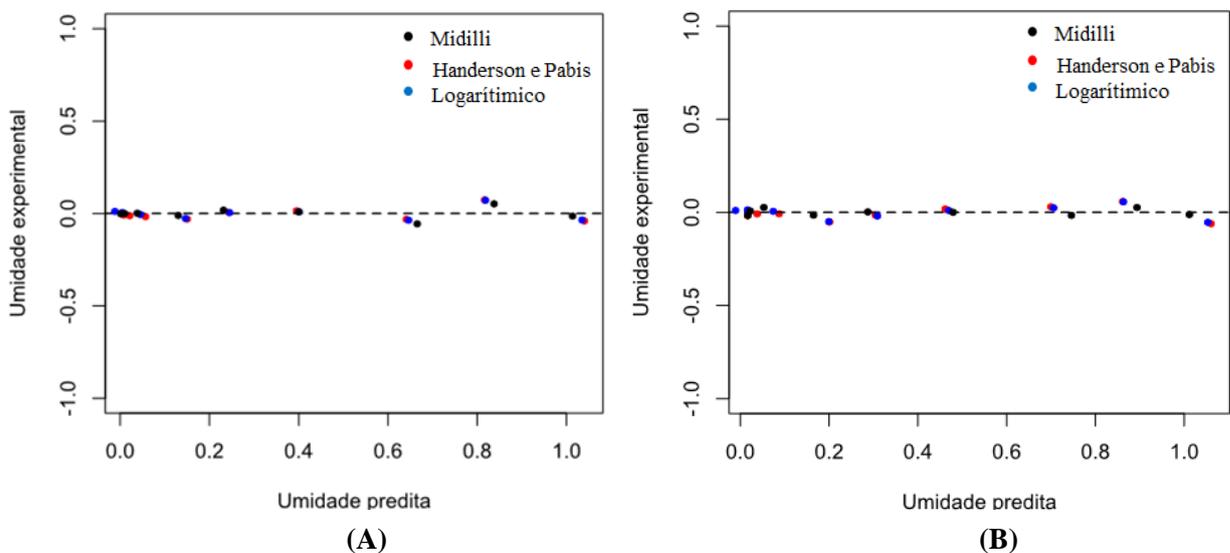


**Figura 8**- Modelagem da cinética de secagem do eryngii (A) e shimeji (B) a 50, 60 e 70 °C, utilizando o modelo de Midilli.

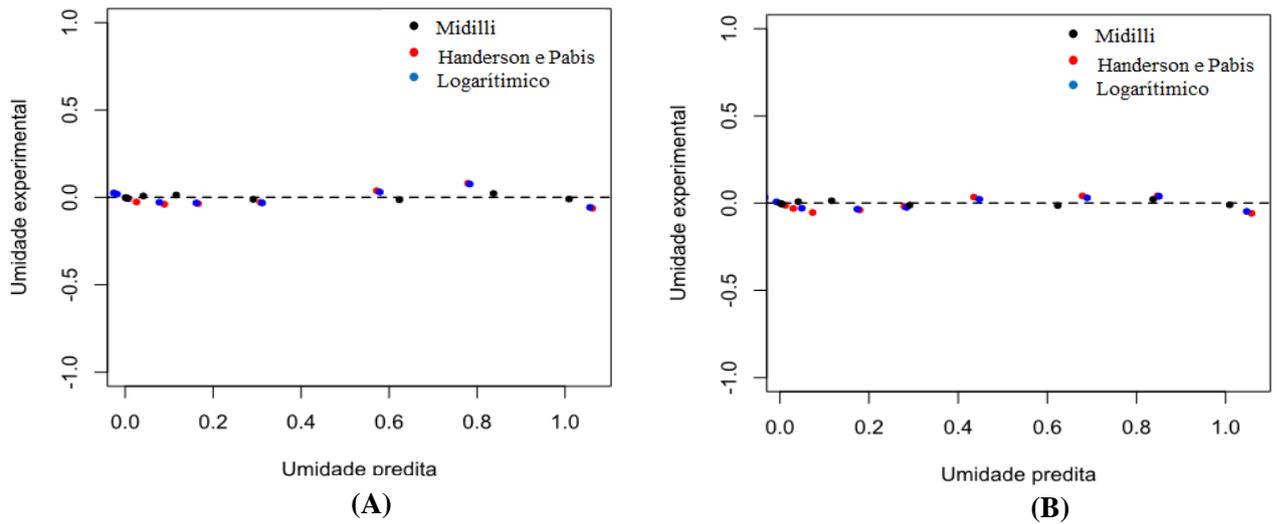
A análise dos gráficos acima permitiu verificar que o modelo de Handerson & Pabis se ajustou bem ao processo de secagem a 50 e 60 °C, tanto para o *eryngii* quanto para o *shimeji*, sendo este, o segundo modelo a fornecer os maiores valores de  $R^2$ . No entanto, o modelo de Midilli foi o melhor para prever o processo de secagem dos cogumelos em todas as temperaturas avaliadas, pois forneceu pontos mais próximos da curva (Figura 8).

O modelo de Midilli explicou melhor o processo de secagem do *shimeji* à temperatura de 60 °C, sendo também uma opção ideal para a secagem do *eryngii*. No estudo realizado por Tulek (2011), sobre cinética de secagem do cogumelo *shimeji*, verificou-se que as características foram ajustadas pelo modelo de Midilli.

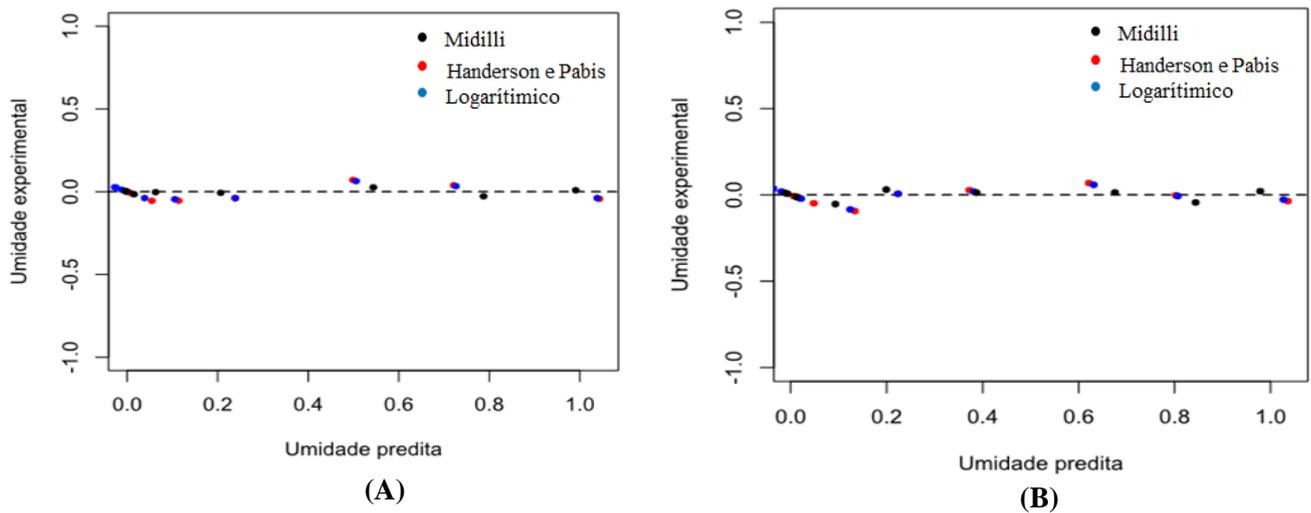
Este modelo também foi o melhor ajustado em trabalhos realizados por Ghaderi et al., (2012), ao estudarem a secagem de alguns cogumelos comestíveis. A fim de avaliar os modelos matemáticos com mais precisão, uma análise de resíduos foi realizada no intuito de verificar a distribuição dos dados para as diferentes temperaturas aplicadas ao processo. As Figuras 9, 10 e 11, mostram a correlação dos dados preditos com os dados experimentais.



**Figura 9** - Análise de resíduos dos modelos estudados na secagem do *eryngii* (A) e *shimeji* (B) a 50 °C.



**Figura 10** - Análise de resíduos dos modelos estudados na secagem do eryngii (A) e shimeji (B) a 60 °C.



**Figura 11** - Análise de resíduos dos modelos estudados na secagem do eryngii (A) e shimeji (B) a 70 °C.

Observou-se que os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais de secagem, porém foi possível visualizar uma sutil diferença para o modelo de Midilli. O modelo apresentou a melhor distribuição dos resíduos para a faixa de temperatura estudada, pois os dados experimentais encontraram-se próximos à reta que passa pela origem, que teoricamente representa a igualdade entre os valores. Foi possível confirmar o resultado obtido através da análise dos parâmetros de qualidade, onde foi avaliado o maior  $R^2$  e menor RSME para o modelo de Midilli. Tornando-o capaz de prever nas condições estudadas, o tempo necessário de secagem para que os cogumelos atinjam a umidade desejada.

A utilização destes modelos na indústria de alimentos é de extrema utilidade, pois permite compreender e controlar de forma mais rigorosa a secagem de alimentos, minimizando custos e otimizando os processos de secagem.

#### 5.4 Caracterização dos cogumelos desidratados

A Tabela 8 apresenta os resultados da caracterização físico-química e centesimal dos cogumelos secos no último tempo de secagem (300 minutos), nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Com a cinética de secagem foi possível observar que durante o processo de desidratação em estufa, houve uma redução da atividade de água e teor de umidade, como discutido anteriormente. Em contrapartida, os demais parâmetros obtiveram valores superiores aos encontrados nos cogumelos frescos.

**Tabela 8** - Caracterização físico-química e centesimal dos cogumelos em diferentes temperaturas de secagem.

Parâmetros	Temperaturas (°C)					
	Eryngii			Shimeji		
	50	60	70	50	60	70
Aw (*)	0,31 <sup>c</sup> ±0,2	0,45 <sup>a</sup> ±0,15	0,39 <sup>b</sup> ±0,19	0,34 <sup>c</sup> ±0,21	0,47 <sup>a</sup> ±0,23	0,44 <sup>b</sup> ±0,10
Umidade %	12,51 <sup>a</sup> ±0,	12,28 <sup>ab</sup> ±0,3	12,24 <sup>b</sup> ±0,1	10,55 <sup>a</sup> ±0,1	10,25 <sup>b</sup> ±0,2	10,19 <sup>b</sup> ±0,3
Cinzas %	7,03 <sup>c</sup> ±0,0	7,46 <sup>b</sup> ±0,10	7,49 <sup>a</sup> ±0,09	7,19 <sup>ab</sup> ±0,12	7,32 <sup>a</sup> ±0,18	6,92 <sup>b</sup> ±0,31
Lipídeos %	1,35 <sup>a</sup> ±0,0	1,33 <sup>a</sup> ±0,09	1,35 <sup>a</sup> ±0,10	1,18 <sup>a</sup> ±0,10	1,20 <sup>a</sup> ±0,26	1,18 <sup>a</sup> ±0,17
Proteína %	24,74 <sup>a</sup> ±0,	22,05 <sup>b</sup> ±0,2	20,92 <sup>c</sup> ±0,1	29,26 <sup>a</sup> ±0,2	27,61 <sup>b</sup> ±0,3	24,99 <sup>c</sup> ±0,2

(\*) Parâmetro adimensional. Valores expressos em média ± desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey com um nível de significância de 5%.

A temperatura influenciou significamente ( $p < 0,05$ ) na atividade de água dos cogumelos, pois foi possível verificar que o menor valor encontrado tanto para o eryngii quanto para o shimeji, foi na temperatura de 50 °C. Normalmente a relação é inversa, isto é, quanto maior a temperatura, menor a atividade de água de equilíbrio. Isso acontece porque quando há o aumento da temperatura, aumenta-se também o estado energético das moléculas, fazendo com que as interações da água com a matriz sólida se rompam em maior número.

O resultado encontrado pode estar associado à abertura da matriz polimérica em temperaturas mais elevadas. Os poros e capilares se dilatam e ocorre maior dissociação dos solutos, o que a princípio causaria maior retenção de água ao produto. Ocorre que durante as condições de temperatura de armazenamento a matriz pode voltar a se fechar e ocorre a redução da solubilidade de alguns compostos em proporções maiores que as de baixa temperatura.

Apesar da diferença estatística para esse parâmetro, os resultados encontrados após a secagem dos cogumelos, para todas as temperaturas, encontram-se dentro da faixa estabelecida para alimentos estáveis do ponto de vista microbiológico, uma vez que

apresentaram aw inferior a 0,6 (CHISTÉ et al., 2007). O teor de umidade foi significamente afetado pela temperatura para os cogumelos em estudo. Foi possível verificar que as temperaturas de 60 e 70 °C afetaram igualmente o teor de água do *eryngii* e *shimeji*, indicando que ambas podem ser indicadas para a secagem dos mesmos.

A temperatura de secagem também afetou o teor de cinzas. Para o *eryngii*, 70 °C foi a temperatura que possibilitou um maior teor de cinzas e para o *shimeji*, foi a temperatura de 60 °C. Os resultados encontrados para esse parâmetro estão de acordo com dados encontrados na literatura, que indicam teores entre 5,27 e 10,5% para cogumelos comestíveis (YANG et al. 2001). Na composição dos alimentos, o conteúdo mineral é representado por esse parâmetro.

Os elementos fósforo, sódio e magnésio podem constituir cerca de 50 a 70% do teor total em cinzas dos cogumelos, enquanto o potássio, isoladamente, pode constituir 45% das cinzas totais (WANI et al., 2010). Em estudos realizados por Freire et al., (2018), foi possível observar que dos minerais avaliados nos cogumelos *eryngii* e *shimeji*, o potássio, fósforo e magnésio apresentaram respectivamente maiores concentrações.

Os teores de lipídeos foram abaixo de 2% para os cogumelos. Foi possível verificar que o efeito da temperatura de secagem não foi significativo ( $p > 0,05$ ) para o teor de lipídeos tanto para o *eryngii* quanto para o *shimeji*, o que permite afirmar que para as temperaturas avaliadas, esse parâmetro não foi afetado. Em estudos realizados por Nogueira (2018), o valor encontrado para a farinha de *eryngii*, foi próximo de 1%.

O teor de proteína diferiu significamente para as temperaturas aplicadas ao processo de secagem dos cogumelos avaliados, os teores diminuíram com o aumento da temperatura. O *eryngii* e *shimeji* apresentaram elevados teores de proteína, 24,74% e 29,26% respectivamente, quando secos a 50 °C. Segundo Bobbio & Bobbio (2001), a utilização de altas temperaturas promovem desnaturação proteica, pois durante o tratamento térmico as proteínas sofrem mudanças nas suas propriedades, sendo destruídas principalmente as propriedades fisiológicas. No entanto, esse fato não justifica a redução no teor de proteínas, podendo assim ser explicado por outras possíveis reações, como Maillard, que ocorre durante o processamento térmico e/ou armazenamento prolongado de alimentos contendo proteínas e açúcares redutores, ocasionando em uma reação da carbonila do açúcar com os grupos amins livres (NUNES; BATISTA 2001).

No resultado encontrado por Lira (2017), o teor de proteína para a farinha de *eryngii* foi 20,15%, cujo processo de secagem foi realizado a 60 °C. Em estudos realizados por Bach (2017), com as mesmas espécies de cogumelos, verificou-se que a quantidade de proteínas presente no *eryngii* foi de 16,47% e para o *shimeji* 36,96%. Valores semelhantes foram

relatados por Cohen et al. (2014), Ulziijargal e Mau (2011). A Tabela 10 apresenta os resultados de cor das amostras de cogumelos secos.

**Tabela 9** - Propriedades de cor para os cogumelos *eryngii* e *shimeji* secos em diferentes temperaturas.

Parâmetros	Temperaturas (°C)					
	Eryngii			Shimeji		
	50	60	70	50	60	70
L*	69,30 <sup>a</sup> ±0,1	65,46 <sup>a</sup> ±0,0	60,95 <sup>b</sup> ±0,4	66,34 <sup>a</sup> ±0,5	63,14 <sup>a</sup> ±0,6	60,78 <sup>b</sup> ±0,3
a*	2,01 <sup>a</sup> ±0,00	1,46 <sup>a</sup> ±0,22	1,73 <sup>a</sup> ±0,60	1,41 <sup>a</sup> ±0,05	2,43 <sup>a</sup> ±0,21	2,01 <sup>a</sup> ±0,03
b*	18,18 <sup>a</sup> ±0,07	18,82 <sup>a</sup> ±0,04	18,93 <sup>a</sup> ±1,28	17,81 <sup>a</sup> ±0,27	16,60 <sup>a</sup> ±0,66	19,91 <sup>a</sup> ±0,7

Valores expressos em média ± desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey com um nível de significância de 5%.

Os parâmetros gerais de cor das amostras de cogumelos foram influenciados pela temperatura de secagem apenas para o valor de L\*. Neste sistema, L (\*) indica a luminosidade variando de 0 (preto) a 100 (branco). Segundo Kotwaliwale et al., (2007), as mudanças de cor durante a secagem são principalmente na forma de escurecimento causado por reações enzimáticas ou não enzimáticas entre carboidratos e aminoácidos a temperatura elevada.

Os resultados dos parâmetros de Luminosidade (\*) e coordenadas de cromaticidade a (\*) e b (\*) mostraram que existe diferença significativa para o parâmetro L\* (p<0,05). Os parâmetros a (\*) e b (\*) indicam as direções que a cor pode assumir (+a\* = vermelho e -a\* = verde; +b\* = amarelo e -b\* = azul). Os cogumelos apresentaram valores que indicam maior tendência ao vermelho e ao amarelo. Tanto para o *eryngii* quanto para o *shimeji*, as temperaturas de 50 e 60 °C forneceram maiores valores de L\*, não diferindo estatisticamente, levando à conclusão de que os cogumelos desidratados nessas temperaturas apresentam coloração amarelo claro, cor característica desse produto. O aumento da temperatura de secagem para 70 °C ocasionou a diminuição dos valores L\*. Esses resultados podem indicar que de fato a decomposição das proteínas pode estar associada à reação de Maillard.

Para Izli e Isik (2014), os melhores parâmetros de cor foram obtidos para amostras secas a 50 °C. Soto et al., (2001) e Nour et al., (2011) relataram que os valores de cor das amostras de cogumelos secos influenciaram na aceitação do produto final, sendo mais preferidos pelos consumidores os produtos com altos valores de L\*. Em estudos realizados por Kurozawa et al., (2012), foram testadas três temperaturas de secagem para cogumelos (40, 60 e 80 °C), e observaram que o aumento da temperatura diminuiu os valores de L\*, estando de acordo com os resultados apresentados neste estudo. A influência da alta temperatura nos pigmentos de

cogumelos, também foi observada por Kotwaliwale et al., (2007), onde o escurecimento das amostras de cogumelos secos aumentou quando foram expostos a altas temperaturas.

## 5.5 Análise da atividade antioxidante dos cogumelos desidratados

### 5.5.1 Teor de Compostos Fenólicos e flavonoides totais

Os valores dos compostos fenólicos e flavonoides totais dos extratos de cogumelos estão expressos em mg EAG/g amostra e mg EQ/g amostra, respectivamente. A Tabela 11 mostra a influência da temperatura nesses parâmetros.

**Tabela 10** - Teor de fenólicos e flavonoides totais para os cogumelos desidratados.

Parâmetros	Temperaturas (°C)					
	Eryngii			shimeji		
	50	60	70	50	60	70
Fenólicos Totais	3,88 <sup>a</sup> ±0,08	3,25 <sup>c</sup> ±0,12	3,80 <sup>b</sup> ±0,16	6,03 <sup>b</sup> ±0,19	5,78 <sup>c</sup> ±0,10	6,69 <sup>a</sup> ±0,13
Flavonoides Totais	0,55 <sup>a</sup> ±0,10	0,13 <sup>c</sup> ±0,21	0,28 <sup>b</sup> ±0,12	0,28 <sup>c</sup> ±0,25	0,58 <sup>b</sup> ±0,21	0,95 <sup>a</sup> ±0,23

Teores em miligrama equivalente ácido gálico e quercetina por grama de amostra. Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si ( $p < 0,05$ , teste de Tukey).

O maior teor de fenólicos e flavonoides totais para o cogumelo eryngii foi obtido quando seco na temperatura de 50 °C, já para o shimeji, o maior teor foi encontrado a 70 °C. Essa diferença pode ser um indicativo de que os tipos de fenólicos sejam diferentes nas variedades estudadas e/ou diferem quanto à forma de estarem interligados com macromoléculas. Ye et al. (2014) relatam que macromoléculas como os compostos fenólicos, podem ser degradados caso seja utilizado tratamentos prolongados em condições de alta temperatura. A identificação dos compostos para cada cogumelo se faz importante, a fim de verificar com mais precisão a influencia da temperatura nos compostos bioativos dos mesmos, pois a análise de compostos fenólicos totais também pode quantificar outros compostos, como açúcares, podendo gerar alterações nos resultados.

Wong (2013), ao avaliar algumas espécies de cogumelos desidratados a 60 °C e mais precisamente o eryngii, encontrou um teor de fenólicos totais de 3,57 mg EAG/g de amostra, e 0,48 mg EQ/g de amostra para flavonoides totais. Estando de acordo com os valores encontrados no presente estudo. Bach (2017), estudando as mesmas espécies de cogumelos, encontrou valores superiores para fenólicos, sendo 5,57 mg EAG/g para o eryngii e 9,48 mg EAG/g para o shimeji. Já os teores de flavonoides, foram inferiores aos encontrados neste estudo, sendo 0,37 mg EQ/g para o eryngii e 0,34 mg EQ/g para o shimeji.

Keleş et al., (2011), ao avaliarem os compostos fenólicos de 24 cogumelos, encontraram valores que variaram de 0,42 a 12,78 mg GAE/g de amostra. Para a variedade Shimeji, o

trabalho feito por Pauli (2010) encontrou uma concentração de fenólicos inferior as do presente estudo ( $4,46 \text{ mg/g} \pm 0,14$ ). Foi observado que embora os cogumelos analisados fossem do mesmo gênero, apresentaram importantes diferenças nos resultados de fenólicos, flavonoides totais e atividade antioxidante. Segundo Kim et al., (2009), alguns fatores como a subespécie/variedade, coloração do corpo de frutificação e maturação dos cogumelos, podem explicar essa variação.

### 5.5.2 Atividade antioxidante pelos métodos do sequestro de radicais livres DPPH e redução do ferro - FRAP

A atividade antioxidante dos cogumelos foi avaliada pelos métodos de DPPH, cujo resultado foi expresso em porcentagem de inibição (%), e FRAP com resultados em  $\text{mg Fe}^{2+} / \text{g}$  amostra. Ao avaliar a atividade antioxidante das espécies de cogumelos frescos e após a secagem, verificou-se que os cogumelos desidratados forneceram melhores resultados. Os cogumelos secos, além de apresentarem poder redutor de íons ferro, demonstraram um efeito bloqueador de radicais livres de DPPH maiores que os frescos. A Tabela 12 apresenta os resultados da atividade antioxidante dos cogumelos em diferentes temperaturas de secagem.

**Tabela 11** - Teor antioxidante pelos métodos FRAP e DPPH dos cogumelos desidratados.

Parâmetros	Temperaturas (°C)					
	Eryngii			Shimeji		
	50	60	70	50	60	70
FRAP	$0,16^b \pm 0,15$	$0,15^c \pm 0,18$	$0,19^a \pm 0,24$	$0,25^c \pm 0,10$	$0,34^a \pm 0,19$	$0,30^b \pm 0,21$
DPPH	$34,79^a \pm 0,1$	$28,57^a \pm 0,2$	$26,26^a \pm 0,15$	$45,11^c \pm 0,22$	$53,10^a \pm 0,31$	$47,08^b \pm 0,10$

Valores expressos em média  $\pm$  desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey com um nível de significância de 5%.

O método FRAP é muito utilizado para avaliar o potencial redutor da amostra testada, isto é, quanto mais  $\text{Fe}^{2+}$  no final na reação, maior será a atividade antioxidante. No método de DPPH, a porcentagem de inibição indica qual é a capacidade das amostras em sequestrar o radical livre DPPH, sendo que aqueles que produzem um maior percentual de inibição são os mais eficientes.

A avaliação da atividade antioxidante pelo método FRAP permitiu observar que na temperatura de 70 °C o eryngii apresentou a maior atividade, já o shimeji quando seco a 60 °C. A porcentagem de inibição produzida pelos extratos hidroalcolicos do cogumelo eryngii seco em diferentes temperaturas foi equivalente, pois não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ), ou seja, as temperaturas testadas não influenciaram o teor de antioxidantes no

eryngii. Para o shimeji, os resultados diferiram significamente ( $p < 0,05$ ), sendo encontrada a maior porcentagem de inibição para a temperatura de 60 °C. Com base na avaliação dos resultados, vale ressaltar que a temperatura de secagem a 60 °C pode ser recomendada uma vez que apresenta os compostos com maior capacidade antioxidante para os cogumelos em estudo.

A composição quantitativa e qualitativa dos compostos que exibem propriedade antioxidante nos cogumelos, pode diferir. Nem sempre a influência da composição é considerada na determinação das propriedades antioxidantes. Água, ácidos naturais e íons metálicos são bons exemplos de componentes que podem afetar os ensaios antioxidantes (DAWIDOWICZ et al., 2011). A diversidade de compostos nos tipos de cogumelos podem apresentar mecanismos antioxidantes diversificados. Dessa forma a atividade antioxidante não pode ser somente justificada pelos teores de fenólicos totais nesse alimento.

Vale ressaltar que os resultados do teor de fenólicos totais em equivalente de ácido gálico, são estimativos, uma vez que os diferentes compostos podem contribuir de forma diferente na reação química. Além disso, outros compostos não fenólicos como o ácido ascórbico e açúcares redutores podem interferir nesta análise levando a uma superestimação do teor de compostos fenólicos totais (GEORGE et al., 2005; PRIOR et al., 2005). Isso pode justificar o maior percentual antioxidante nas amostras a 60 °C, diferindo dos resultados encontrados para fenólicos totais. Alguns compostos de baixo peso molecular podem ter sido degradados quando aplicada a temperatura de 70 °C.

A identificação e o isolamento dos compostos bioativos dependem da manipulação da matéria-prima e do tipo de extração. Os cogumelos são comumente consumidos desidratados e, muitas vezes, são expostos a temperaturas elevadas (SILVA, 2011). Assim, a identificação dos compostos no eryngii e shimeji se faz necessário para melhor entendimento sobre o efeito da temperatura e os mecanismos antioxidantes dos mesmos, pois embora sejam do mesmo gênero, divergem quanto à composição.

### **5.5.3 Determinação Cromatográfica dos compostos bioativos nos cogumelos desidratados**

As condições cromatográficas mostraram-se adequadas para separação dos diferentes compostos fenólicos nos extratos dos cogumelos em estudo, são eles: ácido gálico, catequina, rutina, ácido clorogênico, ácido cumárico e ácido ferúlico. Os resultados para a quantificação

de cada composto nos extratos avaliados em diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) podem ser observados nas Tabelas 12 e 13.

**Tabela 12** - Conteúdo de compostos bioativos identificados no cogumelo *eryngii* seco em diferentes temperaturas de secagem.

Compostos ( $\mu\text{g/g}$ de amostra)	Eryngii		
	50	60	70
Ácido Gálico	0,45 <sup>b</sup> $\pm$ 0,031	0,65 <sup>a</sup> $\pm$ 0,025	0,50 <sup>b</sup> $\pm$ 0,042
Ácido Caféico	< L.Q	< L.Q	< L.Q
Catequina	6,72 <sup>b</sup> $\pm$ 0,015	9,58 <sup>a</sup> $\pm$ 0,028	0,90 <sup>c</sup> $\pm$ 0,018
Quercitina	< L.Q	< L.Q	< L.Q
Rutina	0,02 <sup>c</sup> $\pm$ 0,025	0,08 <sup>a</sup> $\pm$ 0,045	0,04 <sup>b</sup> $\pm$ 0,027
Ácido Clorogênico	0,14 <sup>b</sup> $\pm$ 0,031	0,42 <sup>a</sup> $\pm$ 0,035	0,32 <sup>b</sup> $\pm$ 0,023
Ácido Cumárico	0,04 <sup>a</sup> $\pm$ 0,105	0,06 <sup>a</sup> $\pm$ 0,043	0,02 <sup>a</sup> $\pm$ 0,061
Ácido Ferúlico	0,02 <sup>b</sup> $\pm$ 0,039	0,04 <sup>a</sup> $\pm$ 0,024	0,02 <sup>b</sup> $\pm$ 0,029
Total	7,39	10,73	1,94

< L.Q – Abaixo do limite de quantificação. Valores expressos em média  $\pm$  desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey, com um nível de significância de 5%.

**Tabela 13** - Conteúdo de compostos bioativos identificados no cogumelo *shimeji* seco em diferentes temperaturas de secagem.

Compostos ( $\mu\text{g/g}$ de amostra)	Shimeji		
	50	60	70
Ácido Gálico	0,58 <sup>b</sup> $\pm$ 0,028	1,70 <sup>a</sup> $\pm$ 0,052	0,39 <sup>b</sup> $\pm$ 0,021
Ácido Caféico	< L.Q	< L.Q	< L.Q
Catequina	7,65 <sup>b</sup> $\pm$ 0,145	9,53 <sup>a</sup> $\pm$ 0,032	0,72 <sup>c</sup> $\pm$ 0,028
Quercitina	< L.Q	< L.Q	< L.Q
Rutina	< L.Q	< L.Q	< L.Q
Ácido Clorogênico	0,23 <sup>b</sup> $\pm$ 0,120	0,48 <sup>a</sup> $\pm$ 0,064	0,10 <sup>c</sup> $\pm$ 0,045
Ácido Cumárico	0,04 <sup>a</sup> $\pm$ 0,003	0,04 <sup>a</sup> $\pm$ 0,025	< L.Q
Ácido Ferúlico	0,06 <sup>b</sup> $\pm$ 0,021	0,19 <sup>a</sup> $\pm$ 0,052	< L.Q
Total	8,56	11,94	1,21

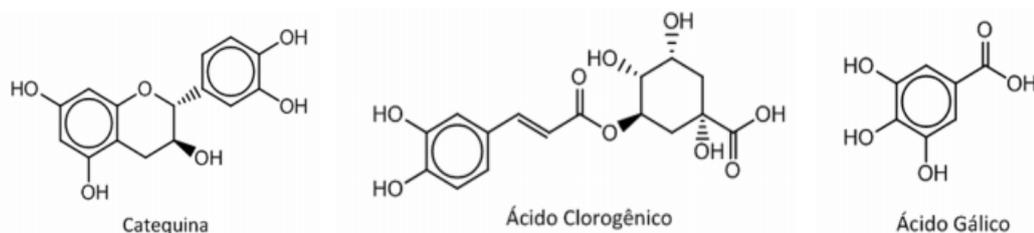
< L.Q – Abaixo do limite de quantificação. Valores expressos em média  $\pm$  desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey, com um nível de significância de 5%.

Os cogumelos submetidos à temperatura de secagem a 60 °C apresentaram as maiores quantidades dos compostos avaliados, diferindo estatisticamente ( $p < 0,05$ ) das demais temperaturas, com um teor total de 10,73 ( $\mu\text{g/g}$  de amostra) para o *eryngii* e 11,94 ( $\mu\text{g/g}$  de amostra) para o *shimeji*. A secagem a 70 °C favoreceu a degradação de alguns compostos, com teor total de 1,94 e 1,21  $\mu\text{g/g}$  de amostra para o *eryngii* e *shimeji*, respectivamente. Nesta temperatura, foi possível observar que o *shimeji* forneceu menores quantidades dos compostos, estando alguns abaixo do limite de quantificação (< L.Q). De fato, estes

compostos são instáveis sob aquecimento, mas em temperaturas mais amenas pode ocorrer um aumento na concentração de compostos fenólicos (Yen & Hung, 2000), o que poderia explicar o aumento observado em cogumelos secos a 60 °C quando comparados à temperatura de 70 °C.

Os compostos fenólicos estão presentes nos vegetais na forma livre ou glicosilados (ligados a açúcares), esterificados (ligados a ésteres), hidroxilados (ligados a hidroxilas) ou podem estar ligados a amidas. Essas formas conferem suas características distintas (HASSIMOTO et al., 2005). Segundo Dutra (2010), dependendo do tipo de açúcar ligado, muitos parâmetros podem influenciar na eficiência da extração do composto e consequentemente a sua identificação e determinação. O tempo e a temperatura podem influenciar a degradação ou hidrólise do glicosídeo ligado ao composto fenólico, influenciando a sua quantificação. Possivelmente a temperatura mais baixa (50 °C) pode não ter favorecido a hidrólise completa do glicosídeo, resultando em valores mais baixos dos compostos quando comparados aos resultados a 60 °C.

Assim como nos cogumelos frescos, os principais compostos encontrados nos cogumelos secos foram catequina, ácido gálico e ácido clorogênico, cujas estruturas estão demonstradas na Figura 12.



**Figura 12** – Estruturas dos compostos bioativos encontrados nos cogumelos.

Fonte: AGOSTINI et al, 2017.

A catequina foi o composto encontrado em maior concentração nos cogumelos, sendo a temperatura de 60 °C capaz de manter a maior quantidade tanto para o *eryngii* (9,58 µg/g de amostra) quanto para o *shimeji* (9,53 µg/g de amostra). A catequina é um nutriente da família dos compostos fenólicos e tem uma forte ação antioxidante, inibindo os danos causados ao DNA pelos radicais livres. A atividade antioxidante da catequina deve-se ao mecanismo de transferência de elétrons desta para os radicais livres, estabilizando assim essas substâncias (SÁ et al., 2010).

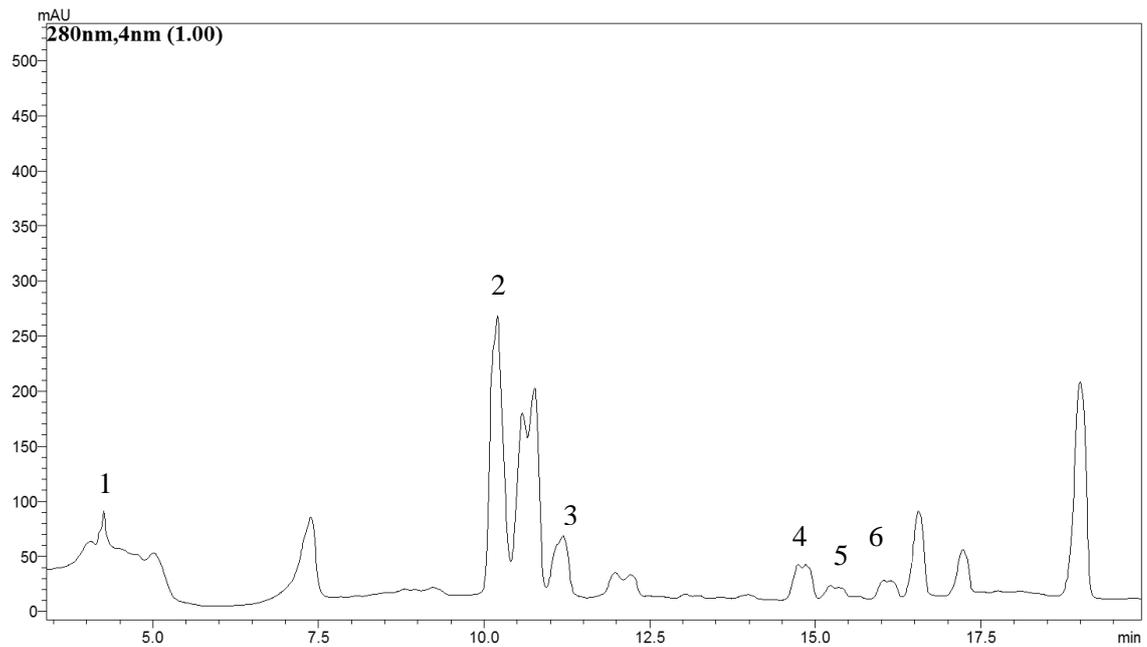
Os cogumelos apresentaram maior concentração de ácido gálico na temperatura de 60 °C, cujos valores foram de 1,70 e 0,65 µg/g de amostra para o *shimeji* e *eryngii*, respectivamente.

O ácido gálico é uma molécula planar, constituída por um anel aromático, três grupos hidroxilas fenólicos e um grupo ácido carboxílico. Os grupos hidroxila estão ligados ao anel aromático numa posição orto um em relação ao outro proporcionando esta atividade antioxidante (VELIKA; KRON, 2012; BADHANI et al., 2015).

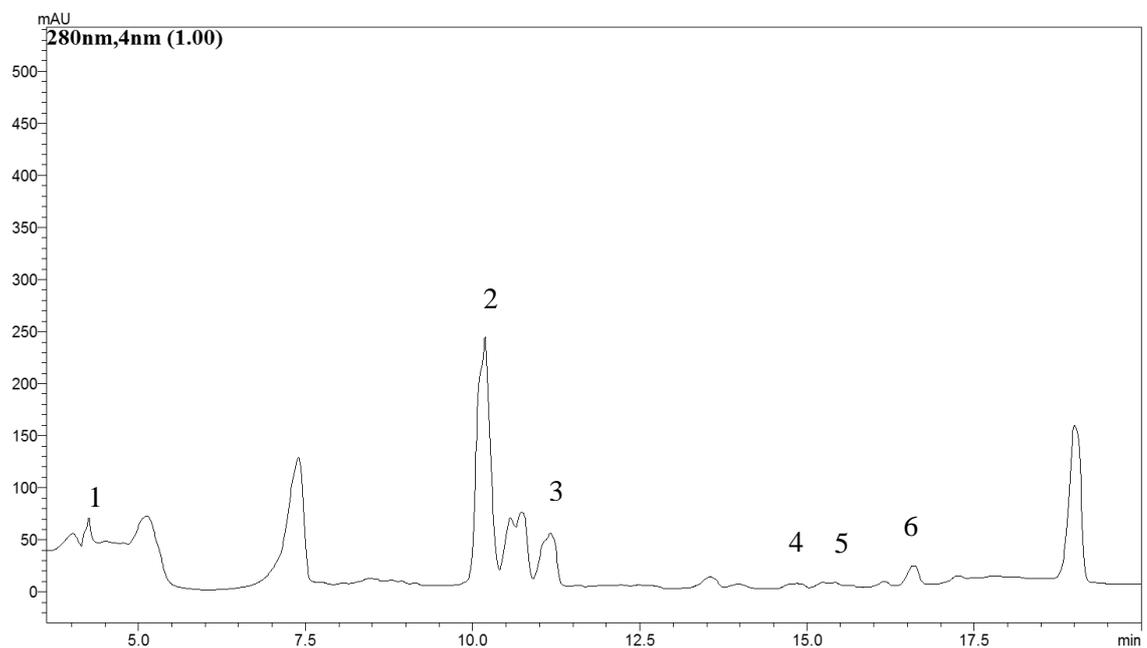
Em relação à quantidade, o ácido clorogênico ocupou a terceira posição entre os compostos identificados nos cogumelos e assim como a catequina, foi possível observar diferença estatística ( $p < 0,05$ ) em relação às temperaturas de secagem avaliadas. A temperatura de 60 °C manteve a maior concentração do composto tanto no *eryngii* (0,42 µg/g de amostra), quanto no *shimeji* (0,48 µg/g de amostra). O ácido clorogênico é uma substância que pertence a família de ésteres polifenólicos encontrados em plantas medicinais e amplamente distribuído em diversos alimentos. Atua em muitos sistemas biológicos, evidenciados por atividades antitumoral, analgésica, anti-microbica, antifúngica, antiviral, antioxidante, anti-inflamatória e atua no controle da obesidade (FARSKY, 2013).

O conteúdo de ácido cumárico no *eryngii* não diferiu estatisticamente ( $p > 0,05$ ) para as temperaturas analisadas, já no *shimeji*, este composto não foi quantificado a 70 °C. As diferentes espécies e gêneros podem apresentar pequenas variações no grau de extração, devido a diferenças em suas matrizes (SOUZA-SARTORI et al, 2013). O teor de compostos bioativos em um cogumelo pode variar também em relação às diferentes estruturas que podem ser analisadas. A rutina só foi encontrada no *eryngii* e diferiu estatisticamente entre as temperaturas de secagem avaliadas, estando em maior concentração na temperatura de 60 °C. Essa mesma temperatura foi ideal para obtenção do ácido ferúlico, pois tanto o *eryngii* quanto o *shimeji* atingiram uma maior concentração.

O espectro gerado pela análise cromatográfica (Figuras 13 e 14) permitiu observar a identificação dos compostos bioativos nos cogumelos secos a 60 °C.



**Figura 13** - Cromatograma característico do shimeji seco a 60 °C. Separação dos diferentes compostos bioativos: 1) Ácido gálico, 2) Catequina, 3) Ácido Clorogênico, 4) Cumárico, 5) Ferúlico, 6) Rutina.



**Figura 14** - Cromatograma característico do eryngii seco a 60 °C.. Separação dos diferentes compostos bioativos: 1) Ácido gálico, 2) Catequina, 3) Ácido Clorogênico, 4) Cumárico, 5) Ferúlico, 6) Rutina

Diferentes condições de extração podem influenciar não somente na quantidade de compostos fenólicos extraídos da matriz, mas também na atividade antioxidante resultante. Publicações recentes confirmaram tal influência para cogumelos do gênero *Pleurotus*

(PUMTES et al, 2016). González-Palma et al., (2016), afirmaram ainda que outros fatores também podem influenciar o conteúdo fenólico, como quantidades maiores produzidos pelo corpo de frutificação, seguido da estipe e hifas. Hoelz et al., (2010) ao analisarem quinze compostos fenólicos, em relação à sua característica estrutural e às suas atividades antioxidantes, concluíram que os melhores antioxidantes são os compostos que contêm grupos doadores de elétrons diretamente ligados a um anel aromático, como exemplos, catequina, ácido gálico e ácido clorogênico.

Sabe-se que compostos fenólicos podem tornar-se instáveis quando aquecidos, e considerando-se a frequência com a qual cogumelos são secos em estufa, as temperaturas aplicadas ao processo de secagem precisam ser cuidadosamente definidas. Os resultados apresentados pelos cogumelos secos em diferentes temperaturas, tanto para atividade antioxidante (DPPH) quanto para conteúdo de compostos bioativos podem estar relacionadas ao maior desprendimento dos compostos da matriz alimentícia quando esta é aquecida a 60 °C

## 5.6 FTIR

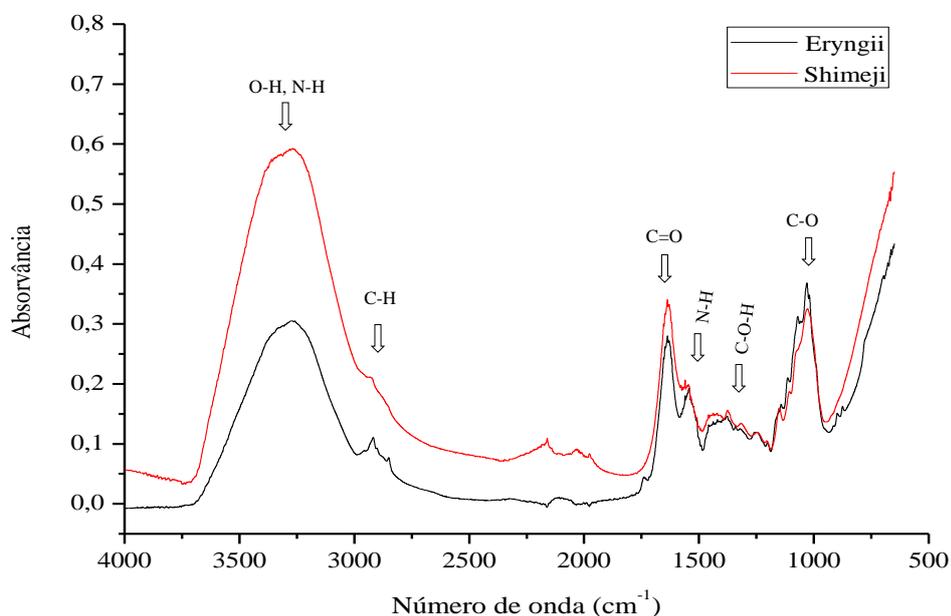
A análise dos cogumelos através do FTIR permitiu identificar grupos funcionais por meio de seus espectros de absorção na região do infravermelho. Os espectros para os cogumelos compartilham um padrão similar, significando que podem possuir composições parecidas. A Tabela 14 apresenta a codificação realizada para cada faixa de número de onda (variáveis) dos principais picos formados e seus respectivos grupos funcionais.

**Tabela 14** – Atribuições da absorção dos compostos orgânicos identificados nos cogumelos.

Numeração	Bandas ( $\text{cm}^{-1}$ )	Atribuições
1	3269,6	Estiramento da ligação O-H
2	2917,4	Estiramento assimétrico C-H alifático
3	2850,1	Estiramento simétrico C-H alifático
4	1636,9	Estiramento da ligação C=O associado a amidas
5	1541,7	Deformação N-H de aminas primárias ou secundárias
6	1375,8	Deformação (C-O-H) associada aos grupos fenólicos
7	1070,0	Deformação C-O de álcoois e fenóis.

Fonte: Autor (2019)

Inicialmente os cogumelos foram avaliados em seu estado fresco e as bandas de absorção dos espectros de FTIR puderam ser tentativamente atribuídas a vibrações moleculares específicas de ligações ou grupos químicos funcionais (Figura 15).



**Figura 15** - Espectros obtidos através do FTIR para os cogumelos frescos.

Com os espectros dos cogumelos, foi possível perceber na região de  $3600-3200\text{ cm}^{-1}$  bandas largas com diferentes intensidades de absorção. Esta região pode ser associada ao alongamento do grupo (O-H) hidroxila, originado pela presença de água (banda larga e intensa), mas também pode estar associada ao grupo (N-H) amidas, que são caracterizadas pela sua vibração de deformação axial nos átomos de hidrogênio ligados ao nitrogênio (KHAUSTOVA et al., 2010). Apesar das regiões N-H e O-H se sobreporem, a absorção N-H normalmente tem uma ou duas bandas de absorção fina de menor intensidade, enquanto O-H, quando está na região N-H, proporciona um pico de absorção largo (PAIVA, 2010).

O gráfico acima permitiu visualizar nesta região que o maior nível de absorbância foi para o cogumelo shimeji, atingindo aproximadamente 0,6, já o eryngii atingiu absorbância próxima a 0,3. Durante a avaliação da composição centesimal dos cogumelos frescos, observou-se que o shimeji apresentou maior teor de água (89,44%) quando comparado ao eryngii (88,28%), sendo o único parâmetro que diferiu estatisticamente ( $p < 0,05$ ), o que justifica a diferença na intensidade dos picos relacionados à água. Apesar do teor de água não apresentar elevado percentual de diferença, observou-se que o FTIR foi uma técnica capaz de fornecer uma clara visualização da mesma. A semelhança dos espectros gerados na parte do gráfico conhecida como deformação angular, pode ser justificada pela similaridade da composição dos cogumelos, havendo diferença apenas nas intensidades absorção.

As absorções nas regiões de  $2917 - 2850\text{ cm}^{-1}$  correspondem aos estiramentos simétricos e assimétricos da ligação C-H dos alcanos e são comuns em várias classes de compostos alifáticos, como ésteres graxos e álcoois de cadeia longa (HERRERO et al., 2011). No espectro dos cogumelos, a região de  $2917\text{ cm}^{-1}$  indica um possível estiramento da ligação C-H.

A região cuja faixa corresponde a  $1700 - 1630\text{ cm}^{-1}$  está relacionada com a vibração de estiramento da ligação dupla C=O (grupo carbonila), que pode ser associado a C=O de amidas (PAIVA, 2010). O espectro gerado para o cogumelo shimeji atingiu absorção um pouco mais intensa quando comparado ao eryngii, podendo ser associado ao maior teor de proteína encontrado no shimeji. A banda ( $1650-1550\text{ cm}^{-1}$ ) pode estar relacionada à presença das ligações N-H, salientando que a região analisada é característica de deformação angular da ligação N-H de amidas primárias ou secundárias e os seus sinais se sobrepõem na análise de amostras sólidas (MITCHELL, et al., 2014). Na análise convencional de determinação do teor de proteína do shimeji fresco, apesar de ter atingido maior média, não foi verificada diferença estatística ( $p > 0,05$ ), no entanto o FTIR pode ser uma técnica capaz de detectar pequenas

diferenças entre as amostras, pois o espectro do shimeji fresco atingiu absorvância um pouco maior nessa região quando comparado ao eryngii.

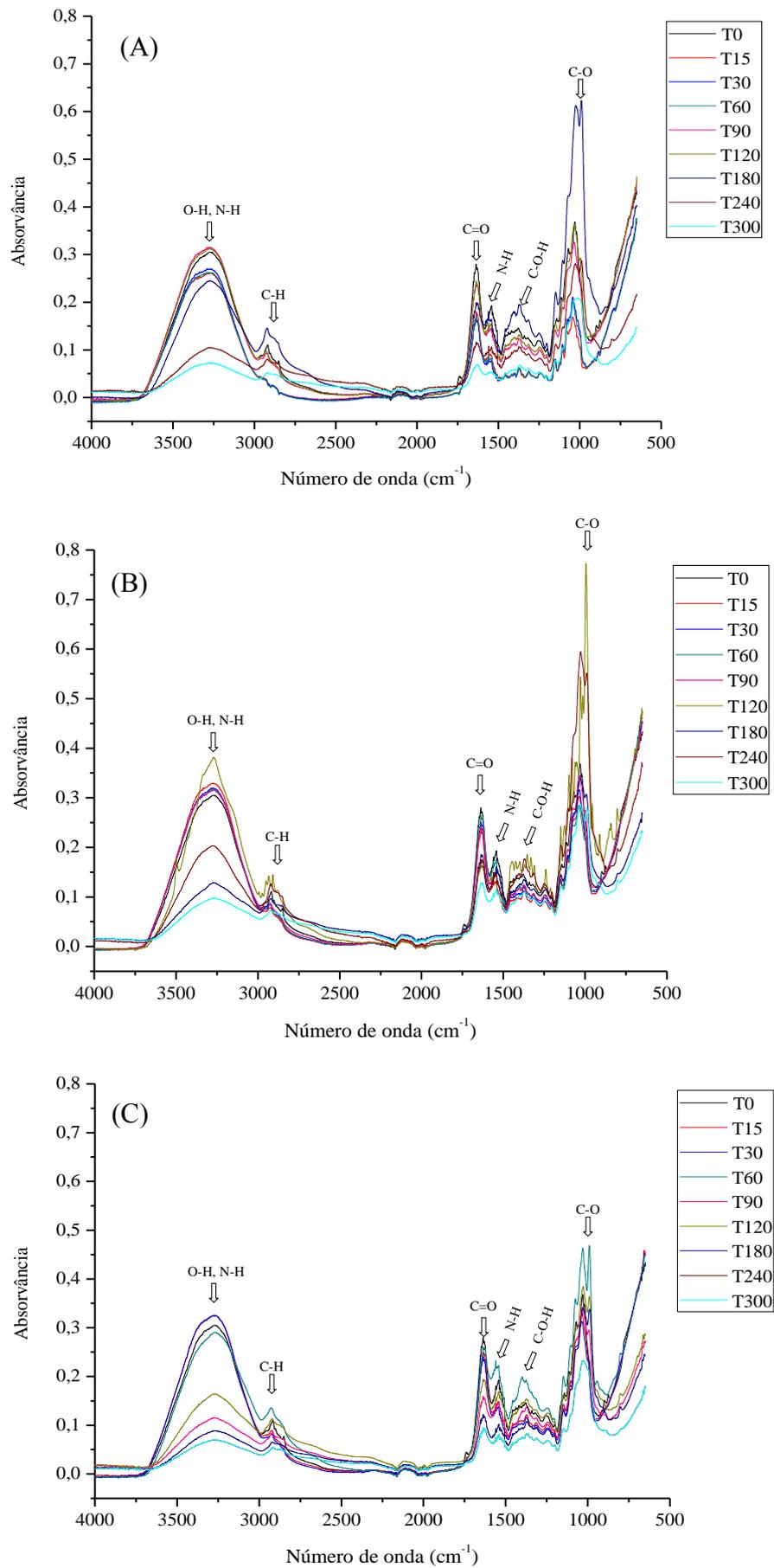
Ao observar os gráficos, nota-se então a possível vibração do grupo fenólico (C-O-H) na região de 1440-1220  $\text{cm}^{-1}$ . A presença dos fenóis nas amostras é caracterizada por apresentar banda larga e fraca nesta região (PARK, 2014; PAIVA, 2010). O espectro do shimeji fresco mostra maior absorvância nessa região, indicando a possibilidade de conter um maior conteúdo de compostos fenólicos quando comparado ao eryngii. Os resultados da análise convencional de quantificação de fenólicos totais estiveram de acordo com os dados espectrais, pois permitiu verificar um teor de 1,28 e 1,15 mg EAG/g de amostra para o shimeji e eryngii, respectivamente.

Os resultados obtidos através do FTIR também puderam ser correlacionados com a quantificação dos compostos bioativos através da cromatografia líquida (CLAE), onde o shimeji apresentou um total de 3,62 ( $\mu\text{g/g}$  de amostra) e o eryngii 1,54 ( $\mu\text{g/g}$  de amostra).

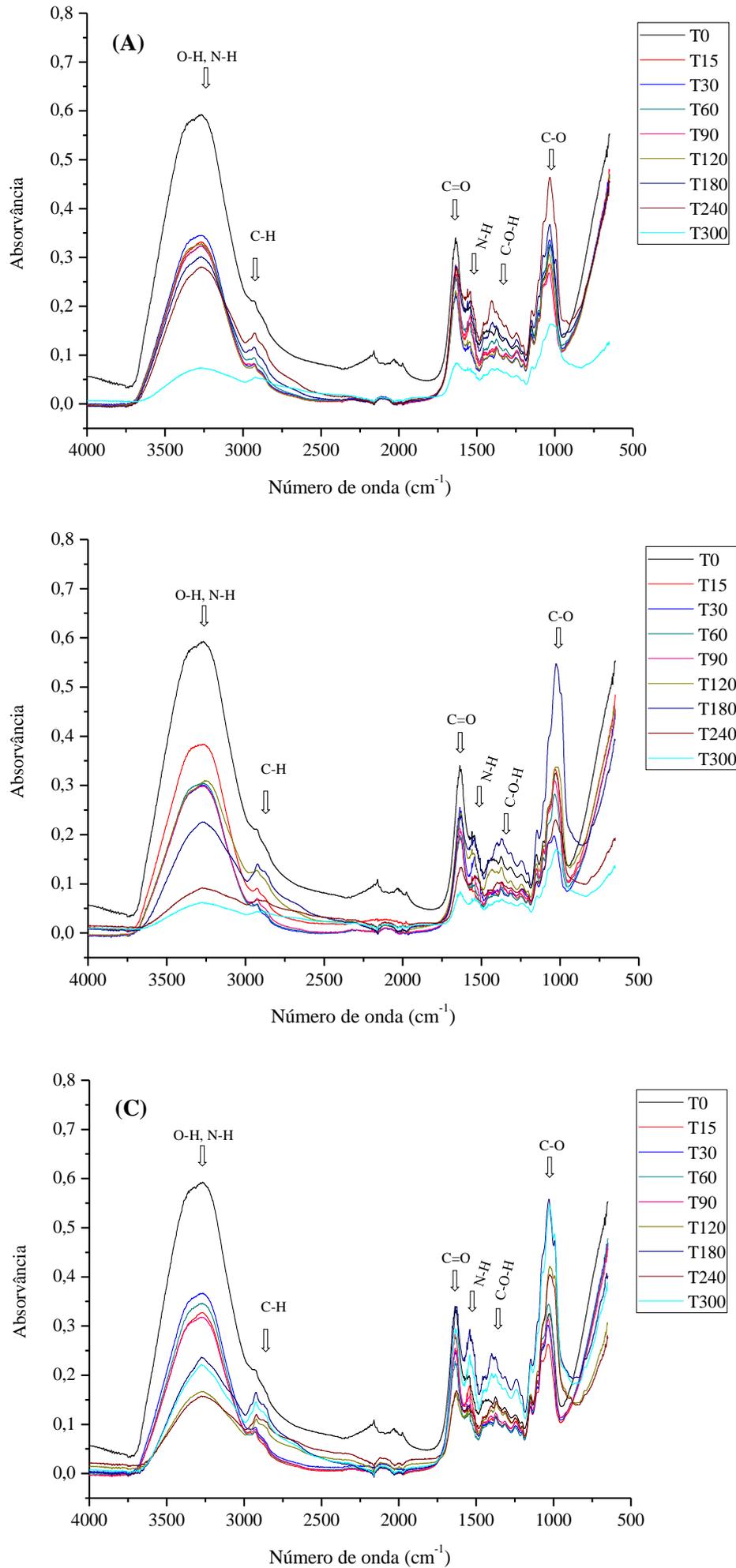
Observam-se vibrações de estiramento C-O, na faixa entre 1200 e 1050  $\text{cm}^{-1}$ , que são associadas a C-O de álcoois e fenóis. As vibrações espectrais que ocorrem na região de 900 a 1500  $\text{cm}^{-1}$  (C-O), são geralmente relacionadas a ácidos orgânicos e compostos fenólicos e a posição da banda pode ser usada para definir uma estrutura primária, secundária ou terciária de um álcool ou para determinar se um composto fenólico está presente (BICAS, 2017).

Como já discutido neste estudo, o cogumelo possui uma grande quantidade de água e quando submetidos ao processo de secagem, os compostos ficam mais concentrados, como exemplo, os teores de proteínas e antioxidantes. Por isso os cogumelos submetidos à secagem em diferentes tempos e temperaturas, foram analisados no FTIR a fim de avaliar o processo de secagem através dos espectros, visando correlacioná-los com as informações obtidas na cinética de secagem, bem como observar a influência da temperatura nos compostos.

Os cogumelos desidratados foram analisados no FTIR nos respectivos tempos de secagem: T0= cogumelo fresco, T1= 15 minutos de secagem, T2= 30 minutos, seguindo essa ordem até o último tempo de secagem, T8 = 300 minutos. Através das Figuras 16 e 17 foi possível observar que à medida que se retirava água da amostra, os níveis de absorção aumentavam ou diminuíam em algumas bandas.



**Figura 16** - Espectros do FTIR para secagem do eryngii a 50 °C (A), 60 °C (B) e 70 °C (C), em diferentes tempos de secagem.



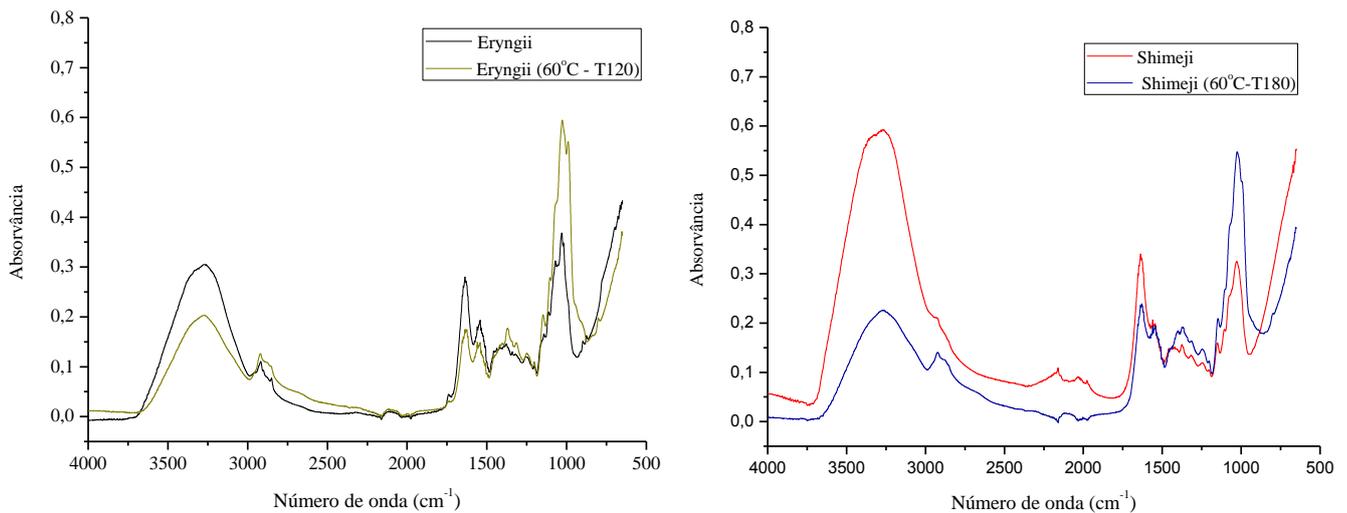
**Figura 17** - Espectros do FTIR para a secagem do shimeji a 50 °C (A), 60 °C (B) e 70 °C (C), em diferentes tempos de secagem.

Tanto para o *eryngii* quanto para o *shimeji*, foi possível observar similaridade entre os gráficos, onde o tempo de secagem foi responsável pelo deslocamento dos espectros devido aos diferentes conteúdos de água na amostra. A análise permitiu avaliar que à medida que ocorre a desidratação da amostra, houve uma diminuição na intensidade dos picos relacionados à água (região de 3600-3200  $\text{cm}^{-1}$ ).

Na região de 1200 - 1050  $\text{cm}^{-1}$ , associada a vibrações de estiramento C-O de álcoois e fenóis, foi possível observar que os cogumelos secos em temperaturas mais elevadas apresentaram absorvâncias intensas em menores tempos de secagem. Na temperatura de 50 °C o pico intenso foi observado em 180 e 240 minutos de secagem para o *eryngii* e *shimeji*, respectivamente. Ao observar as amostras secas à 60 °C notou-se que os tempos necessários para o surgimento deste pico foram 120 e 180 minutos. Ao avaliar os espectros das amostras secas a 70 °C verificou-se que para o *eryngii*, o tempo necessário foi de 60 minutos de secagem, já o *shimeji* permaneceu aos 180 minutos, apresentando também um pico intenso e sobreposto nessa região aos 300 minutos. Ocorre que quando expostos a temperaturas mais elevadas, a água é retirada em maior velocidade, concentrando assim os compostos que antes estavam ligados às moléculas de água, gerando maior absorvância em menor tempo.

Durante o estudo da cinética de secagem, foi possível analisar que a temperatura de 60 °C forneceu um teor de umidade constante para o *eryngii* aos 180 minutos, no entanto os espectros gerados mostraram que em 120 minutos de secagem foi possível observar absorvâncias superiores em algumas bandas. Os mesmos tempos de secagem forneceram picos mais intensos nas regiões referentes à proteína e grupos fenólicos. Em amostras com maiores quantidades de água é possível que os movimentos vibracionais e rotacionais das ligações moleculares sejam menores devido às moléculas de O-H estar obstruindo-as, gerando picos com menor intensidade de absorção.

Com os gráficos do FTIR pôde-se perceber que na temperatura de 60 °C, os tempos de secagem de 120 minutos e 180 minutos para o *eryngii* e *shimeji*, respectivamente (Figura 18), proporcionaram picos intensos na região dos grupos fenólicos. Cabe ressaltar que a temperatura de 60 °C proporcionou o maior teor de antioxidantes e compostos fenólicos para os cogumelos nas condições experimentais analisadas.



**Figura 18** - Espectros do FTIR para o shimeji e eryngii frescos e secos a 60 °C nos seus respectivos tempos de secagem.

Foi possível perceber que os cogumelos do gênero *Pleurotus*, embora fossem de espécies diferentes, possuíam faixas de absorção sem grandes variações. Kurt (2018), ao estudar a adição de pó de cogumelo em carnes através dos espectros do FTIR, observou que a intensidade do pico a 1640  $\text{cm}^{-1}$  relacionado à presença das ligações N-H, aumentou de acordo com a adição do pó de cogumelo.

#### **Análise Multivariada dos dados**

Para verificar a influência dos tempos de secagem na separação dos grupos foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA), essa técnica teve como objetivo facilitar a interpretação de dados, pois com ela é possível observar as variáveis que se correlacionam e agrupam as amostras (ALMEIDA, 2015). Esse agrupamento é devido a alguma característica similar, sendo a componente principal o arranjo que melhor retrata a distribuição dos dados, e a componente secundária, perpendicular à componente principal (ZIMMERMANN et al., 2008).

Os dados de absorvância de todas as amostras foram coletados, padronizados ( $\mu=0$ ,  $S=1$ ) e submetidos à (ACP), a fim de investigar a diferença entre as amostras quanto ao tempo de secagem aplicado ao processo. A ACP teve como propósito avaliar qual o conjunto de variáveis (bandas relacionadas aos grupos funcionais) capaz de diferenciar e separar as amostras durante a secagem.

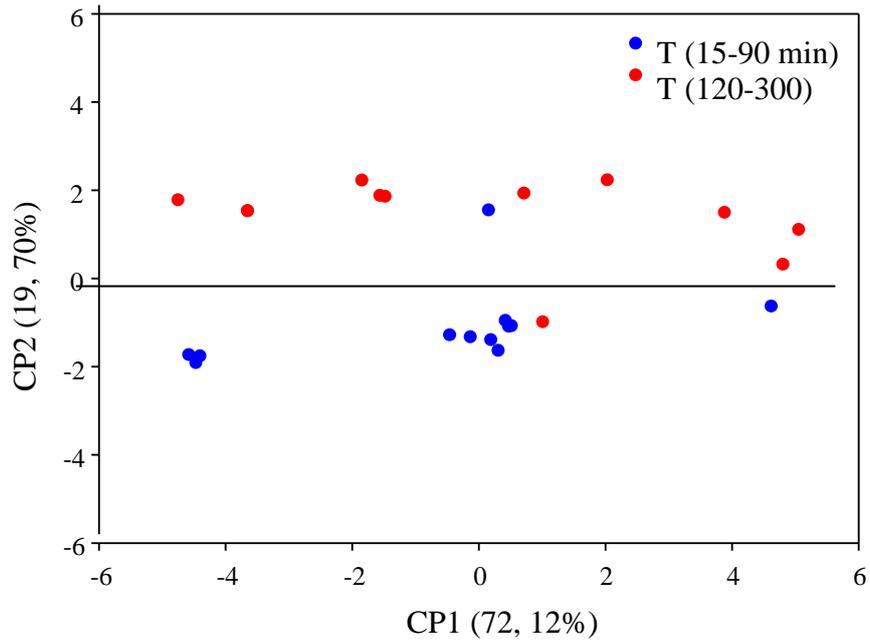
Conforme apresentado na Figura 19, para o cogumelo eryngii as duas primeiras componentes principais PC1 e PC2 representam respectivamente 72,12% e 19,70% da variabilidade dos dados, somando 91,82% da explicação dos dados das amostras secas em diferentes tempos de secagem. Para o cogumelo shimeji (Figura 20), CP1 foi capaz de

explicar 68,99% e CP2 20,65%, representando juntos 89,64% da variabilidade dos dados. A partir dos resultados, foi possível verificar que a componente principal (CP1) em ambos os casos, obteve maior correlação com as variáveis.

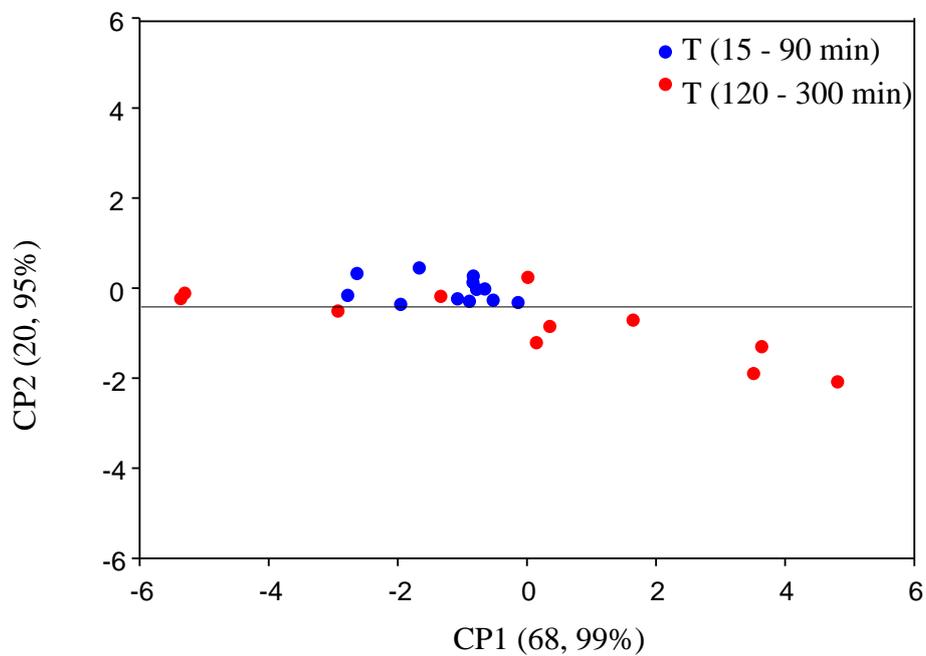
Os valores médios dos números de ondas ou bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) foram obtidos e apresentados na Tabela 15, item 5.6 com suas respectivas atribuições, a fim de facilitar a discussão dos componentes responsáveis pela separação das amostras. Para o cogumelo *eryngii*, o primeiro componente principal apresentou correlação com a maioria das variáveis (bandas de absorção) numeradas como 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

O estiramento da ligação O-H, que representa a banda de água não foi correlacionada com CP1, estando os demais compostos altamente correlacionados. As variáveis 1 e 4 foram as únicas que se correlacionaram com CP2. Para *shimeji*, CP1 apresentou correlação com as mesmas variáveis que o *eryngii* e a componente principal CP2, apenas com a variável 1. A CP1 apresentou correlação com praticamente todas as variáveis, por esse motivo, a separação possivelmente aconteceu com base na segunda componente principal (CP2) que é mais específica e a única que apresenta correlação com as bandas de água.

As amostras representadas pela cor azul nos gráficos (Figuras 19 e 20) são as amostras secas nos tempos de 15 a 90 minutos e as de cor vermelha são as amostras secas de 120 a 300 minutos. Analisando o gráfico de dispersão do *eryngii*, foi possível observar claramente que a partir de 120 minutos de secagem, as amostras desidratadas se agrupam na parte superior do gráfico. Para o *shimeji*, também foi possível visualizar os agrupamentos de acordo com os tempos de secagem, mas com uma dispersão um pouco menor, o que provavelmente pode ter ocorrido em função da composição semelhante entre as amostras, fato que dificultou a completa separação das mesmas.



**Figura 6-** Gráfico de dispersão do cogumelo *eryngii* seco em diferentes tempos em relação aos componentes principais CP1 e CP2.



**Figura 20 -** Gráfico de dispersão do cogumelo *shimeji* seco em diferentes tempos em relação aos componentes principais CP1 e CP2.

O gráfico de dispersão para a secagem do shimeji permitiu observar que algumas amostras representadas pela cor vermelha se agruparam com as amostras menos secas (15 a 90 min de secagem), cor azul. Esse fato já era esperado visto que o teor de umidade do shimeji só atingiu o equilíbrio em 180 minutos de secagem à 70 °C, como observado nos resultados da cinética de secagem.

A análise multivariada permitiu analisar que a partir de 120 minutos, as amostras do cogumelo *eryngii* conseguiram se agrupar mais facilmente quanto ao teor de água, já para o shimeji esse tempo não foi suficiente, pois as amostras ainda apresentavam um teor de água mais elevado. Através da PCA foi possível visualizar a formação de agrupamentos de acordo com o tempo de secagem, verificando a aplicabilidade da técnica FTIR para visualização das bandas de água.

Foi possível perceber similaridade entre os gráficos dos cogumelos avaliados no FTIR. As diferenças nas intensidades de absorções encontradas em algumas bandas estão relacionadas às diferenças na composição dos cogumelos. Observou-se que ao aumentar a temperatura de secagem, os picos continuaram presentes, no entanto, um estudo mais aprofundado se faz necessário para avaliar as características químicas e funcionais dos cogumelos em relação ao tempo de exposição à secagem, pois os espectros mostraram que ao final da secagem, alguns picos apareceram com menor intensidade.

## 6 CONCLUSÃO

A cinética de secagem dos cogumelos permitiu verificar que três modelos matemáticos foram ajustados ao processo, no entanto o modelo de Midilli além de apresentar bons parâmetros de qualidade, forneceu melhores ajustes. Para a temperatura de 60 °C os tempos de secagem do *eryngii* e *shimeji* foram 180 e 240 minutos, respectivamente.

A composição química dos cogumelos frescos só diferiu quanto ao teor de água, com maior valor encontrado para o *shimeji*, que também apresentou maior teor de fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante. Nos cogumelos secos, o teor de água não diferiu entre 60 e 70 °C e a atividade de água foi menor que 0,6 em todas as temperaturas avaliadas. Os melhores resultados para o teor proteínas totais e para o parâmetro cor, foram a 50 e 60 °C.

A temperatura de secagem mais aplicável tanto para o *eryngii* quanto o *shimeji* foi a 60 °C, pois a atividade antioxidante e a quantificação dos compostos bioativos através da CLAE foram superiores, sendo capaz de reter a maior quantidade de catequina, ácido gálico e ácido clorogênico, respectivamente.

O FTIR permitiu avaliar o comportamento da secagem e alguns grupos funcionais presentes nos cogumelos, apresentando na região dos compostos fenólicos picos intensos a 60 °C. A ACP permitiu avaliar a aplicabilidade desta técnica, pois foi possível agrupar as amostras de acordo com os tempos de secagem, no entanto, mais estudos são necessários para avaliar o FTIR no monitoramento da secagem de alimentos.

## 7 REFERÊNCIAS

- ADAY, M.S. Application of electrolyzed water for improving postharvest quality of mushroom. **Food Science and Technology**, v. 68, p. 44-51, 2016.
- AGOSTINI, F.; MICHELON, F.M.; GOMES, V.A.A. Otimização de um método por CLAE-UV para análise de compostos fenólicos em *Myrcia oblongata* DC., *Passiflora caerulea* L. e *Equisetum giganteum* L. **Scientia Chromatographica**. v .9, p.180-193, 2017.
- APAK, R. OZYÜREK, M. GÜÇLÜ, K. ÇAPANOĞLU, E. Antioxidant Activity/Capacity Measurement. 1. Classification, Physicochemical Principles, Mechanisms, and Electron Transfer (ET)-Based Assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol.64(5), p.997-1027, 2016.
- AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin-layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**. v. 59, p. 99-104, 2006.
- AKRAM, K.; AHN, J. J.; YOON, S.R.; KIM, G. R.; KWON, J.H. Quality attributes of *Pleurotus eryngii* after irradiation gamma. **Biology and Post-Harvest Technology**, v. 66, p 42-47, April, 2012.
- ALVES, G. E. (2013). **Cinética de secagem e qualidade do café para diferentes temperaturas e fluxos de ar**. (Dissertação de mestrado), Universidade Federal de Lavras, 2013.
- ANCP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE COGUMELOS. **O Setor de Cogumelos**. 2018. Disponível em: <https://www.anpccogumelos.org/cogumelos>. Acesso em 07 Ago. 2018.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of Analysis**. 16. ed. Arlington: Washington, v. 1, 1995.
- AVHAD, M. R.; MARCHETTI, J. M. Mathematical modelling of the drying kinetics of Hass avocado seeds. **Industrial Crops and Products**. v. 91, n. 8, p. 76-87, 2016.
- BACH, F. (2017) **Avaliação do potencial nutricional, antioxidante e antibacteriano de cogumelos comestíveis**. 135 f., Tese de doutorado (Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos). Departamento de Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2017.
- BATISTA, A. S. (2018). **Identificação da qualidade e origem de amêndoas de cacau produzidas no estado da Bahia usando quimiometria**. 75p. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2018.
- BERNAS, E.; JAWORSKA, G.; LISIEWSKA, Z. Edible mushrooms as a source of valuable nutritive constituents. **ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**. v.5, n.1, p. 5-20, 2006.
- BHATTACHARYA, M.; SRIVASTAV, P. P.; MISHRA, H. N. J. Optimization of process variables for supercritical fluid extraction of ergothioneine and polyphenols from *Pleurotus ostreatus* and correlation to free-radical scavenging activity. **Food Sci Technol**, p. 51-59, 2014.

- BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. Química do processamento de alimentos. 3.ed. São Paulo: Varela, 2001. 151p
- BICAS, T. C. et al. Uso da Espectroscopia de Infravermelho Médio com Transformada de Fourier (IV-TF) aliada à quimiometria para classificação de vinhos e suco de uva. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 2, p. 89-97, 2017.
- BOBEK, P., & GALBAVY, S. Effect of pleuran (b-glucan from *Pleurotus ostreatus*) on the antioxidant status of the organism and on dimethylhydrazine-induced precancerous lesions in rat colon. **British Journal of Biomedical Sciences**, v. 58, p. 164–168, 2001.
- BORÉM, F. M. et al. Effect of intermittent drying and storage on parchment coffee quality efeito da secagem intermitente e do armazenamento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 609-616, 2014.
- BORÉM, F. M.; ANDRADE, E. T.; ISQUIERDO, E. P. Coffee drying. **Handbook of coffee post-harvest technology**. p. 97-118, 2014.
- BORGES, S. V. et al. Drying kinetics of bananas by natural convection: influence of temperature, shape, blanching and cultivar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 368-376, 2011.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Aprova o "**Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis**". **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 setembro de 2005.
- CAROCHO, M.; FERREIRA, I. C. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. **Food Chem. Toxicol.**, v. 51, p. 15-25, 2013.
- CARRASCO-GONZÁLEZ, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A. Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting bodies: Potencial use as food ingredient. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.58, p. 69-81, 2017.
- CHANG, S. T.; MILES, P. G. **Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact**. v. 6, p. 389–392, 2004.
- CHEN, A. W. A practical guide to the cultivation of *agaricus blazei*: a mushroom of culinary and biomedical importance. **The Mushroom Growers' Newsletter**, v. 4, n. 9, p.16, 2001.
- CHEN, J. J., YONG, Y. Y., XIA, X., WANG, Z. L., LIANG, Y. X., ZHANG, S. Z. The excreted polysaccharide of *Pleurotus eryngii* inhibits the foam-cell formation via down-regulation of CD36. **Carbohydrate Polymers**, v.112, p. 16–23, 2014.
- CHEN, S-Y. et al. Contents of lovastatin, g-aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47 p. 274-278, 2012.
- 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, p.162-166, 2013.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O.; MATHIAS, E. A.; RAMOA JÚNIOR, A. G. A. Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 265-269, 2007.

COHEN, N.; COHEN, J.; ASATIANI, M. D.; VARSHNEY, V. K.; YU, H.-T.; YANG, Y.-C.; LI, Y. H.; MAU, J. L.; WASSER, S. P. 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**, v. 16, n. 3, p. 273–91, 2014.

COLAK, N.; HEPBASLI, A. Uma revisão da secagem por bomba de calor: Parte 1 - Sistemas, modelos e estudos. **Energy Convers Manage**. v. 50, p. 2180 – 2186, 2009.

CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O; CAMPOS, S. C. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 575-581, 2011.

CORRÊA, R. C. G.; BRUGNARI, T.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M.; FERREIRA, I. Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (*Oyster mushroom*) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. **Trends in Food Science & Technology**, v. 50, p. 103-117, April, 2016.

DANTAS, L. A.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Programa computacional dinâmico para simulação de secagem de grãos e sementes de milho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 3, p. 311–320, 2011.

DAWIDOWICZ, A.L.; WIANOWSKA, D.; OLSZOWY, M. On practical problems in estimation of antioxidant activity of compounds by DPPH method (Problems in estimation of antioxidant activity). **Food Chemistry**, v. 131, n. 3, p. 1037–1043, 2011.

DEHKORDI, B. M. Otimização do processo de secagem osmo convectiva de cogumelos comestíveis usando metodologia de superfície de resposta (RSM). **World Acad. Sci. Eng. Technol**, v. 4, n. 1, p. 106 – 110, 2010.

DING, Y.; ZHU, Z.; ZHAO, J.; NIE, Y.; ZHANG, Y.; SHENG, J. 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**, p. 1-8, 2016.

DINIZ, F. Brasil e China assinam acordo para aumento da produção e consumo de cogumelos. **Banco de notícias – Embrapa recursos genéticos e biotecnologia**. Brasília, 2006.

DOMINGO, E.; TIRELLI, A. A.; NUNES, C. A.; GUERREIRO, M. C.; PINTO, S. M. Melamine detection in milk using vibrational spectroscopy and chemometrics analysis: a review. **Food Research International**, v. 60, n. 131-139, 2014.

DOYMAZ, I. Hot-air drying of purslane (*Portulaca oleracea* L.). **Heat. Mass Transf**. v. 49, p. 835-841, 2013.

DOYMAZ, I. Influence of blanching and slice thickness on drying characteristics of leek slices. **Chem Eng Process**. v. 47, p. 41-47, 2008.

DUTRA, Fabiana L. Goularte ; HOFFMANN-RIBANI, Rosemary e RIBANI, Marcelo . Determinação de compostos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência isocrática durante o estacionamento da erva-mate . **Quim. Nova**, vol.33, n.1, pp.119-123, 2010.

FAOSTAT. (2016). **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Retrieved from <http://faostat.fao.org/site>, 2016.

FALADE, K. O.; SOLADEMI, O. J. Modelagem de secagem ao ar de fatias de batata-doce frescas e branqueadas. **Int J Food Sci Technol**. v. 45, p. 278 – 288, 2010.

FARSKY, S. H. P. Efeitos do ácido clorogênico sobre as propriedades de adesão do endotélio. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

FERNANDES, A.; ANTONIO, A. L.; BARREIRA, J. C.; BOTELHO, M. L.; OLIVEIRA, M. B. P.; MARTINS, A. *et al.* Effects of gamma irradiation on the chemical composition and antioxidant activity of *Lactarius deliciosus* L. wild edible mushroom. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 10, p. 2895-2903, 2013.

FERNANDES, F. A. N.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of Osmotic Dehydration of Bananas followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 188-193, 2006.

FERREIRA, D. S. (2013). **Aplicação de espectroscopia no infravermelho e análise multivariada para previsão de parâmetros de qualidade em soja e quinoa**. (Tese de Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2013.

FIORINI, E. DE J. **Fourier Transform Infrared Spectroscopy**. UNICAMP, 2000.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. S. N.; & MASSON, M. L. Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer simulation. **Journal of Food Engineering**, v. 158, p. 48-57. 2015.

FURLANI R.P., GODOY H.T. Valor Nutricional de cogumelos comestíveis: uma revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 64, n. 2, p. 149- 154, 2005.

GAO, M.; FENG, L.; JIANG, T. Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. **Food Chemistry**, v. 149, p. 107-113, 2014.

GONZÁLEZ-PALMA, I.; ESCALONA-BUENDIA, H. B.; PONCE-ALQUICIRA, E.; TÉLLEZ-TÉLLEZ, M.; GUPTA, V. K.; DÍAZ-GODÍNEZ, G.; SORIANO-SANTOS, J. Evaluation of the antioxidant activity of aqueous and methanol extracts of *Pleurotus ostreatus* in different growth stages. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, 2016.

GEORGE, S., BRAT, P., ALTER, P., & AMIOT, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 1370–1373, 2005.

GHADERI, A.; ABBASI, S.; MOTEVALI, A.; MINAEI, S. Comparison of mathematical models and artificial neural networks for prediction of drying kinetics of mushroom in

microwave–vacuum drier. **Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly**, v. 18, p. 283–293, 2012.

GHANBARIAN, D.; BARAANI, D. M.; TORKI-HARCHEGANI, M. Características de transferência de massa de fatias de cogumelo bisporus (*Agaricus bisporus*) durante a secagem por convecção a ar quente. **Heat Mass Transf.**, v. 52: 1081-1088, 2016.

GIRI, S. K.; PRASAD, S. Características da cinética de secagem e reidratação de cogumelos microondas-vácuo e convivos secos ao ar livre. **J Food Eng** v. 78, p. 512–521, 2007.

GOGAVEKAR, S. S.; ROKADE, S. A.; RANVEER, R. C.; GHOSH, J. S.; KALYANI, D. C.; SAHOO, A. K. Important nutritional constituents, flavour components, antioxidant and antibacterial properties of *Pleurotus sajor-caju*. **Journal of Food Science and Technology**. v. 51, n. 8, p.1483-1491, 2014.

HAMINIUK, C. W. I.; PLATA-OVIEDO, M. S. V.; GUEDES, A. R.; et al. Chemical, antioxidant and antibacterial study of Brazilian fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 7, p. 1529–1537, 2011.

HASSIMOTTO, N. M. A.; GENOVESE, I. S.; LAJOLO, F. M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 53, p. 2928-2935, 2005.

HEARST, R.; et al. An examination of antibacterial and antifungal properties of constituents of Shiitake (*Lentinula edodes*) and Oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms. **Complementary Therapies in Clinical Practice**. v. 15, n. 1, p. 5-7, 2009.

HERRERO, A.M.; CARMONA, P.; PINTADO, T.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F.; RUÍZ-CAPILLAS, C. Emulsões óleo-em-água de oliva estabilizadas com caseinato: elucidação das interações proteína-lipídio por espectroscopia de infravermelho. **Food Hydrocolloids**. V. 25, n. 1, p. 12 - 18 , 2011.

HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. **Princípios da análise instrumental**. 6ª ed. Porto alegre, Bookman Companhia Editora LTDA, 2009. 1056 p.

HUNTERLAB. **User's manual with universal software versions 3.5**. Reston: HunterLab, 1998.

IM, C.H., KIM, M.K., KIM, K.H., KIM, S.Y., LEE, S.T., HEO, J.Y., KWON, J.H., KIM, D.S., RYU, J.S. Breeding of king oyster mushroom, *Pleurotus eryngii* with a high yield and earliness of harvest trait and its sensory test. **Kor. J. Mycol**. v. 41, p. 91–96, 2013.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 4. ed. São Paulo, p. 70 – 71, 2004.

ISO. International Standard Organization. **Determination of substances characteristic of green and black tea**. ISO 14502-1:2005 (E). Geneva: ISO Copyright, 2005.

IZLI, N.; ISIK, E. Effect of different drying methods on drying characteristics, colour and microstructure properties of mushroom. **Journal of Food and Nutrition Research**, v 53, n. 2, p. 105–116, 2014.

JAWORSKA, G.; POGOŃ, K.; BERNAS, E.; SKRZYPCZAK, A. Effect of different drying methods and 24-month storage on water activity, rehydration capacity, and antioxidants in *Boletus edulis* mushrooms. **Drying Technology**, v. 32, n. 3, p. 291-300, 2014.

JEONG, Y. T.; JEONG, S. C.; Gu, Y. A. ; ISLAM, R.; Song, C.H.; Antitumor and immunomodulating activities of endo-biopolymers obtained from a submerged culture of *Pleurotus eryngii*. **Food Science and Biotechnology**, v. 19, p. 399–404, 2010.

KALAC, P. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. **Food Chemistry**, v.113, p. 9-16, 2009.

KALETA A., GÓRNICKI, K. Algumas observações sobre a avaliação de modelos de secagem de partículas de beterraba vermelha. **Energy Convers Manage**. v. 51, p. 2967 - 2978, 2010.

KATHATUN, K.; MAHTAB, H.; KHANAM, P. A.; SAYEED, M. A.; KHAN, K. A.; Cogumelos reduziu a glucose no sangue e colesterol em indivíduos diabéticos **Mymensingh Med J**. v.16, p. 94 – 99, 2007.

KELEŞ, A.; KOCA, L.; GENÇCELEP, H. Antioxidant properties of wild edible mushrooms. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 2, n. 6, p. 1–6, 2011.

KHAN, M. A.; TANIA, M. Nutritional and medicinal importance of *Pleurotus* mushrooms: an overview. **Food Rev Int**. v. 28, p. 313–329, 2012.

KHAUSTOVA, S. et al. Noninvasive biochemical monitoring of physiological stress by Fourier transform infrared saliva spectroscopy. **Analyst**, v. 135, n. 12, p. 3183-92, Dec 2010.

KIM, J. H.; KIM, S. J.; PARK, H. R.; CHOI, J. I.; JU, Y. C.; NAM, K. C.; KIM, S. J.; LEE, S. C. The different antioxidant and anticancer activities depending on the color of oyster mushrooms. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 3, n. 12, p. 1016–1020, 2009a.

KITZBERGER, C. S. B.; SMÂNIA JR, A.; PEDROSA, R. C.; FERREIRA, S. R. S. Antioxidant and antimicrobial activities of shiitake (*Lentinula edodes*) extracts obtained by organic solvents and supercritical fluids. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 2, p. 631-638, mai. 2007.

KOTWALIWALE, N.; BAKANE, P.; VERMA, A. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1207–1211, 2007.

KUMAR, A.; SINGH, M.; SINGH, G. Effect of different pretreatments on the quality of mushrooms during solar drying. **Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 1, p. 165-170, 2013.

KUROZAWA, L. E.; HUBINGER, M. D.; PARK, K. J. Glass transition phenomenon on shrinkage of papaya during convective drying. **J. Food Eng.**, v. 108, n. 1, p. 43-50, 2012.

- KURT, A.; GENÇCELEP, H. Enrichment of meat emulsion with mushroom (*Agaricus bisporus*) powder: Impact on rheological and structural characteristics. **Journal of Food Engineering**. v. 237, p. 128-136, 2018.
- LEÃO, L. L.; OLIVEIRA, F. S.; SOUZA, R. S.; FARIAS, P. K. S.; FONSECA, F. S. A.; MARTINS, E. R.; SOUZA, R. M. Uso de antioxidantes naturais em carnes e seus subprodutos. **Cad. Ciênc. Agra.**, v. 9, n. 1, p. 94-100, 2017.
- LEE, S. J.; UMANO, K.; SHIBAMOTO, T.; LEE, K. G. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. **Food chem.** 2005; v. 91 n. 1, p. 131-37, 2005.
- LEMOS, F. M. R. (2009) **Elaboração e caracterização de produto análogo a Hambúrguer de cogumelo *Agaricus brasiliensis***. 147 f. Dissertação (Curso de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009.
- LIN, J. T. et al. Chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory properties for ethanolic extracts from *Pleurotus eryngii* fruiting bodies harvested at different time. **LWT. Food Science and Technology**, v. 55, p. 374-382, 2014.
- LIRA, A. P. (2017). **Aplicação de farinhas de cogumelos na produção de pão e avaliação das propriedades tecnológicas e sensoriais**. 72p. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2017.
- LU, X., & RASCO, B. A. Determination of antioxidant content and antioxidant activity in foods using infrared spectroscopy and chemometrics: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 52(10), p. 853–875, 2012.
- MAQSOOD, S.; BENJAKUL, F.; SHAHIDI, F. O papel emergente dos compostos fenólicos como aditivos alimentares naturais em peixes e produtos pesqueiros. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v. 53, p. 162 – 179, 2013.
- MARTÍNEZ-SOTO, G.; OCANÃ-CAMACHO, R.; PAREDES-LÓPEZ. Effect of pretreatment and drying on the quality of oyster mushroom (*Pleurotus osteratus*). **Drying Technology**, v. 19, p. 661-672, 2001.
- MATHLOUTHI, M. Conteúdo de água, atividade de água, estrutura da água e estabilidade dos alimentos. **Controle de Alimentos**. v. 12, p. 409–417, 2001.
- MEZIANE, S. Cinética de secagem do bagaço de azeitona em secador de leito fluidizado. **Energy Convers Manage**. v.52, p. 1644 – 1649, 2011.
- MITCHELL, A. L. et al. Vibrational spectroscopy of biofluids for disease screening or diagnosis: translation from the laboratory to a clinical setting. **J Biophotonics**, v. 7, n. 3-4, p. 153-65, Apr 2014.
- NOUR, V.; TRANDAFIR, I.; IONICA, M. E. Effects of pre-treatments and drying temperatures on the quality of dried button mushrooms. **South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment**, v. 2, n. 1, p. 15–24, 2011.
- NOGUEIRA, L. S.(2018). **Processamento, caracterização e avaliação da atividade antioxidante de hambúrgueres formulados com farinha de cogumelo *eryngii* (*Pleurotus eryngii*)**. 84p. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2018.

NOZAKI, H.; ITONORI, S.; SUGITA, M.; NAKAMURA, K.; OHBA, K.; SUZUKI, A.; KUSHI, Y. Mushroom acidic glycosphingolipid induction of cytokine secretion from murine T cells and proliferation of NK1.1 alpha/beta TCR-double positive cells in vitro. **Biochem Biophys Res Comm.** v. 373, p. 435–9, 2008.

NUNES CS, BATISTA AO. Implicações da reação de Maillard nos alimentos e nos sistemas biológicos. **Rev Port Ciênc Vet.** v. 96, p. 53-90, 2001.

OLIVEIRA, D. A.; ANGONESE, M.; GOMES, C.; FERREIRA, S. R. S. Valorization of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) by-products: Sustainable recovery and biological activities. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 111, p. 55–62, 2016.

LOTU, I. O.; OBADINA, A. O.; SOBOKOLA, O. P.; ADEGUNWA, M.; ADEBOWALE, A. A.; KAJIHAUSA, E.; KEITH, T. Effect of chemical preservatives on shelf life of mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivated on cassava peels. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 6, p. 1477-1483, 2015.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos**. Tradução de Fátima Murad. Porto Alegre: Artimed, v. 2, 2005.

PALACIOS, I.; LOZANO, M.; MORO, C.; D'ARRIGO, M.; ROSTAGNO, M. A.; MARTÍNEZ, J. A.; GARCÍA-LAFUENTE, A.; GUILLAMÓN, E.; VILLARES, A. Antioxidant properties of phenolic compounds occurring in edible mushrooms. **Food Chemistry**, v. 128, p. 647-678, 2011.

PARK, J. P.; JUNG, W. K.; NAM, K. S.; SHAHIDI, F.; KIM, S. K. Purificação e caracterização de peptídeos antioxidantes do hidrolisado proteico de gema de ovo sem lecitina. **J. American Oil Chemists 'Society**, v. 78, p. 651 – 656, 2001.

PARK, J. W.; PARRY, J. S. Structural Study of Citrate Layers on Gold Nanoparticles: Role of Intermolecular Interactions in Stabilizing Nanoparticles. **Journal of American Chemistry Society**, v.136, n. 5, p. 1907–1921, 2014.

PASQUALONE, A.; BIANCO, A. M.; PARADISO, V. M.; SUMMO, C.; GAMBACORTA, G.; CAPONIO, F.; BLANCO, A. Production and characterization of functional biscuits obtained from purple wheat. **Food Chemistry**, v. 180, p. 64-70, 2015.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. **Introdução à espectroscopia**. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 716 p.

PEDROTTI, A. Z. G. Nutrição para a promoção da saúde: um tema químico social auxiliando na compreensão do conceito de transformação química, 2011.

PEI, F.; YANG, W.; SHI, Y.; SUN, Y.; MARIGA, A. M.; ZHAO, L.; HU, U. Comparison of freeze-drying with three different combinations of drying methods and their influence on colour, texture, microstructure and nutrient retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*) slices. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 3, p. 702-710, 2014.

PELTEKOVA, V. D.; WINTLE, R. F.; RUBIN, L. A.; AMOS, C. I.; HUANG, Q.; GU, X.; NEWMAN, B.; OENE, M.V.; CESCÓN, D.; GREENBERG, G.; GRIFFITHS, A. M.; GEORGE-HYSLOP, P. H. S.; SIMINOVITCH, K. A. Functional variants of OCTN cation transporter genes are associated with Crohn disease. **Nat Genet.** v .36, p. 471– 75, 2004.

- POLITOWICZ, J.; LECH, K.; RODRÍGUEZ, L. S.; FIGIEL, A.; SZUMNY, A.; GRUBOR, M.; BARRACHIA, A. Composição volátil e perfil sensorial do cogumelo ostra afetado pelo método de secagem **Seco. Technol**, 2017.
- PRIOR, R. L., WU, X., SCHAICH, K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 4290-4302, 2005.
- PUMTES, P.; ROJSUNTORNKITTI, K.; KONGBANGKERD, T.; JITTREPOTCH, N. Effects of different extracting conditions on antioxidant activities of *Pleurotus flabellatus*. **International Food Research Journal**, 2016, v. 23, p. 173-179, 2016.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2018.
- Radzki, W., Ziąja-Sołtys, M., Nowak, J., Rzymowska, J., Topolska, J., Sławińska, A. and Kuczumow, A. Effect of processing on the content and biological activity of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* mushroom. **LWT - Food Sci. Technol.** 66, 27–33, 2016.
- RATHORE, H.; PRASAD, S.; SHARMA, S. Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review. **PharmaNutrition**, v. 5, p. 35–46, 2017.
- RAYA, M. A. A.; SHALABY, M. T.; HAFEZ, S. A.; ALSHIMAA, M. H. Chemical composition and nutritional potential of some mushroom varieties cultivated in Egypt. **Journal of Food and Dairy Science**, v. 5, n. 6, p. 421–434, 2014
- REIS, F. S.; BARROS, L.; MARTINS, A.; FERREIRA, I. C. F. R. Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: An inter-species comparative study. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 2, p. 191–197, 2012.
- REIS, G. C. L. **Aminas bioativas e atividade antioxidante em cogumelos**. 2014. 104 fls. Dissertação (Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- REN, L. et al. Antibacterial and antioxidant activities of aqueous extracts of eight edible mushrooms. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**. v. 3, n. 2, p. 41-51, abr. 2014.
- REN, L.; PERERA, C.; HEMAR, Y.; Antitumor activity of mushroom polysaccharides: a review. **Food & Function**. v. 11, p. 1118-1130, 2012.
- ROCHE, A., E. ROSS, N. WALSH, K. O'DONNELL, A. WILLIAMS, M. KLAPP, N. FULLARD AND S. EDELSTEIN. "Representative literature on the phytonutrients category: Phenolic acids." **Crit Rev Food Sci Nutr**, v. 57, n. 6, p. 1089-1096, 2017.
- RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP)**. Comunicado Técnico On line Embrapa 125. Fortaleza, CE. Dezembro, 2006.
- RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Comunicado Técnico On line Embrapa 127. Fortaleza, CE. Julho, 2007.

- RYUA J. S.; KIMA M. K.; IMA C. H.; PYUNG-GYUN SHIN P. G. Development of cultivation media for extending the shelf-life and improving yield of king oyster mushrooms (*Pleurotus eryngii*). **Scientia Horticulturae**, p. 121–126, 2015.
- SÁ, R. S.; TURELLA, T. K.; BETTEGA, J. M. P. R. Os efeitos dos polifenóis: catequinas e flavonoides da *Camellia sinensis* no envelhecimento cutâneo e no metabolismo dos lipídeos. Universidade do Vale do Itajaí, Balneário Camboriú, 2010.
- SALEHI, F.; KASHANINEJAD, M.; AKBARI, E.; SOBHANI, S. M.; ASADI, F. Potencial de fabricação de pão de ló usando a cenoura seca ao ar quente de infravermelho. **J Texture Stud.** v. 47, p. 34–39, 2016.
- SALES-CAMPOS, C.; ARAUJO, L. M.; MINHONI, M. T. A.; ANDRADE, M. C. N. Physiochemical analysis and centesimal composition of *Pleurotus ostreatus* mushroom grown in residues from the Amazon. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, p. 456-461, 2011.
- SANTOS, L. G. **Resposta técnica: Ministério da Ciência e Tecnologia**, Rio Grande do Sul, SENAI/RS – Departamento Regional, 2005.
- SANTOS, M.D. & BLATT, C.T.T. (1998). Teor de flavonóides e fenólicos totais em folhas de *Pyrostegia venusta* Miers. de mata e cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, 21, 135–140.
- SCHNEIDER, G. KRESSEL, A. MEYER, U. KRINGS, RG BERGER, A. HAHN. Lipid reduzindo efeitos do cogumelo ostra (*Pleurotus ostreatus*) em humanos **J. Funct. Alimentos**, v. 3, p. 17 – 24, 2011.
- SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Antioxidant activity measurement. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 757-781, 2015.
- SILVA, A. C.; JORGE, N. **Cogumelos: compostos bioativos e propriedades antioxidantes**, Universidade Estadual Paulista, 2011.
- SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S; SANTANA, A. S; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semin., Ciênc. Agrár.**, v. 31, n. 3, p. 669-82, 2010.
- SMIDERLE, F. R., OLSEN, L. M., CARBONERO, E. R., BAGGIO, C. H., FREITAS, C. S., MARCON, R., et al. Anti-inflammatory and analgesic properties in a rodent model of a (1 - 3),(1 - 6)-linked  $\beta$ -glucan isolated from *Pleurotus pulmonarius*. **European Journal of Pharmacology**, p. 86–91, 2008.
- SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes Phenolic acids as antioxidants. **Rev. Nutr.**, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.
- SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT. Food Science e Technology**, v. 62, p. 564-568. 2015.
- SOTO, M. G.; CAMACHO, R. O.; LÓPEZ, O. P. Effect of pretreatment and drying on the quality of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). **Drying Technology**, v. 19, p. 661–672, 2001.

SOUZA-SARTORI, J. A.; SCALISE, C.; BAPTISTA, A. S.; LIMA, R. B.; AGUIAR, C. L. Parâmetros de influência na extração de compostos fenólicos de partes aéreas da cana-de-açúcar com atividade antioxidante total. **Bioscience Journal**, 2013, v. 29, p. 297-307, 2013.

SOUSA et. al.; Fenóis Totais e Atividade Antioxidante de Cinco Plantas Mediciniais. **Química Nova**, Vol. 30, No. 2, 351-355, 2007

SUDHEEP, N. M.; SRIDHAR, K. R. Nutritional composition of two wild mushrooms consumed by the tribals of the Western Ghats of India. **Mycology**, v. 5, n. 2, p. 64–72, 2014.

SUN, L.; LIU, Q.; BAO, C.; FAN, J. Comparison of free total amino acid compositions and their functional classifications in 13 wild edible mushrooms. **Molecules**, v. 22, p. 1–10, 2017.

SYNYTSYA A.; MÍCKOVÁ K.; SYNYTSYA A.; JABLONSKÝ I.; SPEVÁČEK J.; ERBA V.; KOVÁŘÍKOVÁ E., COPÍKOVÁ J. Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity. **Carbohydrate Polymers**. v. 76, n. 4, p. 548–556, 2009.

TAUFIQ, A. M.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N. L.; OTHMAN, S.H.; SERIKBAYEVA, A; AZIZ, M.G. In: Vitro Dissolution of Compressed Tamarind and Pineapple Powder Tablets. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**. v. 2. p. 53 – 59, 2014.

TAOFIQ, O., HELENO, S. A., CALHELHA, R. C., ALVES, M. J., BARROS, L., BARREIRO, M. F., et al. Development of mushroom-based cosmeceutical formulations with anti-inflammatory, anti-tyrosinase, antioxidant, and antibacterial properties. **Molecules**, v. 21, n.10, p. 1372, 2016.

TULEK, Y. Cinética de secagem do cogumelo-ostra (*Pleurotus ostreatus*) em secador de convecção a ar quente. **J Agr Sci Tech.**, v. 13, p. 655–664, 2011.

ULZIJARGAL, E.; MAU, J. L. Nutrient compositions of culinary-medicinal mushroom fruiting bodies and mycelia. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 13, n. 4, p. 343–349, 2011.

VALVERDE, M. E.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, T.; PAREDES-LÓPEZ, O. Cogumelos comestíveis: melhorar a saúde humana e promover a qualidade de vida. **Revista Internacional de Microbiologia**, p. 1 – 14, 2015.

WANI, B. A.; BODHA, R. H.; WANI, A. H. Nutritional and medicinal importance of mushrooms. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 4, n. 24, p. 2598-2604, 2010.

WONG, F.-C.; CHAI, T.-T.; TAN, S.-L.; YONG, A.-L. Evaluation of bioactivities and phenolic content of selected edible mushrooms in Malaysia. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 12, n. 6, p. 1011–1016, 2013.

XANTHOPOULOS, G.; LAMBRINOS, G.; MANOLOPOULOU, H. Evaluation of thin-layer models for Mushroom (*Agaricus bisporus*) drying. **Drying Technology**, v. 25, p. 1471–1481, 2007.

YANG, J. H.; LIN, H. C.; MAU, J. L. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms. **Food Chemistry**., v. 72, n. 4, p. 465-471, 2001.

YAO, S. LI, T. LIU, H. LI, J. WANG, Y. Traceability of Boletaceae mushrooms using data fusion of UV–visible and FTIR combined with chemometrics methods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, April 2018, Vol.98(6), pp.2215-2222, 2017.

YE, H.; SHEN, S.; XU, J.; LIN, S.; YUAN, Y.; JONES, G. S. Interação sinérgica de cinamildeído em combinação com carvacrol contra bactérias bacterianas de origem alimentar. **Controle de Alimentos**, v. 34, p. 619 – 623, 2013.

YE, Y.; TANG, X. S.; CHEN, F.; TANG, L. Optimization of phenolics extracted from *Idesia polycarpa* defatted fruit residue and its antioxidant and depigmenting activity in vitro and in vivo. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2014, p. 1–12, 2014.

YILMAZ, A.; YILDIZ, S.; TABBOUCHE, S.; KILIÇ, A. O.; CAN, Z. Total phenolic content, antioxidant and antimicrobial properties of *Pleurotus ostreatus* grown on lime (*Tilia Tomentosa*) leaves. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 44, n. 2, p. 119–124, 2016.

ZHANG, A. et al. Antioxidant activity of polysaccharide extracted from *Pleurotus eryngii* using response surface methodology. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 65, p. 28–32, 2014.

ZHANG, Y.; GENG, W.; SHEN, Y.; WANG, Y.; DAI, Y. C. Edible Mushroom Cultivation for Food Security and Rural Development in China: Bio-Innovation, Technological Dissemination and Marketing. **Sustainability**. v. 6, p. 2961-2973, 2014.

ZOU, Z.; XI, W.; HU, Y.; NIE, C.; ZHOU, Z. Antioxidant activity of Citrus fruits. **Food Chemistry**, v. 196, p. 885-896, 2016.