

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO HENRIQUE SILVA DE OLIVEIRA

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE CULTIVO E DA SECAGEM DO SHIITAKE
(*Lentinula edodes*) NO PERFIL DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS E
DESENVOLVIMENTO DE COOKIES SEM GLÚTEN

CURITIBA

2021

EDUARDO HENRIQUE SILVA DE OLIVEIRA

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE CULTIVO E DA SECAGEM DO SHIITAKE (*Lentinula edodes*) NO PERFIL DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS E DESENVOLVIMENTO DE COOKIES SEM GLÚTEN

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

Orientador: Prof. Dr. Alvaro Luiz Mathias

CURITIBA

2021

O48i Oliveira, Eduardo Henrique Silva de
Influência do sistema de cultivo e da secagem do
shiitake (*Lentinula edodes*) no perfil de metabólitos
secundários e desenvolvimento de cookies sem glúten
[Recurso eletrônico] / Eduardo Henrique Silva de Oliveira.
– Curitiba, 2021.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná,
Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE ALIMENTOS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **EDUARDO HENRIQUE SILVA DE OLIVEIRA** intitulada: **INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE CULTIVO E DA SECAGEM DO SHIITAKE (*Lentinula edodes*) NO PERFIL DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS E DESENVOLVIMENTO DE COOKIES SEM**

GLÚTEN, sob orientação do Prof. Dr. ALVARO LUIZ MATHIAS, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

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

CURITIBA, 17 de Agosto de 2021.

Assinatura Eletrônica

06/09/2021 15:12:52.0

ALVARO LUIZ MATHIAS

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

14/09/2021 17:36:59.0

ARION ZANDONÁ FILHO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - PPGEQ)

Assinatura Eletrônica

06/09/2021 12:30:13.0

MARCOS ROGÉRIO MAFRA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Francisco Heráclito dos Santos, 100 - Centro Politécnico - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3232 - E-mail: posalim@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 109285

Para **autenticar** este documento/assinatura, acesse <https://prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 109285

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pois sem ele não teria chegado até aqui. Me ajudou a sempre continuar firme e a não perder o foco do meu objetivo.

Aos meus pais, Eduardo e Maryelza, e minha irmã Ranyele, que sempre me apoiaram na busca pelo conhecimento e deram suporte para que eu tivesse condições de seguir firme.

À toda equipe da EMBRAPA-Florestas, por toda ajuda no desenvolvimento do projeto, mas foi onde criei muitos laços de amizade, e em especial a Doutora Cristiane Helm, Dayanne e Matheus, pois foram as pessoas que mais me ajudaram a chegar até aqui. Vocês terão sempre um lugar em meu coração.

Ao meu orientador Prof^o Dr. Alvaro Mathias, por toda orientação e confiança a mim depositada. Carrego comigo muitos ensinamentos que levarei para vida.

Aos meus amigos do Tocantins, Letícia, Isabela, Sanmylla, Willian e Rodolfo, que sempre que precisei estavam ali para me escutar e mostrar que eu era capaz de continuar nesta batalha.

Aos meus amigos do laboratório Danielle e Rafaella, que me acompanharam diariamente e sempre que podiam me ajudavam solucionando problemas de pesquisa.

Aos meus amigos do grupo “Mercúrio” composto dos amigos do PPGEAL. Sem vocês a minha adaptação e desenvolvimento não teria sido tão boa como foi.

Aos meus grandes amigos do LATOS, Letícia, Karina e Fernando, que quando iniciei foi quem mais me ajudou, não só na pesquisa, mas também com a vida longe da família.

Às minhas amigas Aline, Nathalia e Renata, que me adotaram com suas famílias e sempre foram um apoio fora da universidade. Fizeram meus dias melhores, ajudando a ter um escape de momentos de ansiedade e nervosismo.

À CAPES pelo suporte financeiro com a bolsa e todo programa do PPGEAL.

Agradeço também aos demais que não consegui citar nomes, mas que sabem de toda sua importância em minha trajetória pessoal e profissional.

RESUMO

Lentinula edodes, ou popularmente shiitake, é um cogumelo da classe dos basidiomicetos, sendo o segundo cogumelo mais consumido no mundo. O shiitake pode ser cultivado em material lignocelulósico, como toras e blocos axênicos; uma mistura de carboidratos, compostos nitrogenados e minerais. Seu corpo frutificado é um alimento com presença de compostos protetores da saúde humana, como agentes antioxidantes e fibras nutricionais, mas que se degradam rapidamente de modo que a perda deste alimento pode ser evitada pela secagem. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência do sistema de cultivo e o processo de secagem do shiitake na composição nutricional, mineral e perfil de metabólitos secundários. Aditivamente, biscoitos doces “tipo cookies” foram desenvolvidos a partir da farinha dos cogumelos. A matriz de cultivo de fungo, toras de carvalho e blocos axênicos, foram caracterizadas quanto sua composição de lignina solúvel, insolúvel, perfil de açúcares por cromatografia iônica, teor de minerais e análise elementar antes de inoculação e após três ciclos de cultivo, ou seja, exauridos. Também, a composição elementar, centesimal, mineral, termoestabilidade (TG/DSC), compostos fenólicos totais, atividade antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP), glucanas, grupos funcionais (FTIR-ATR), perfil de metabólitos secundários (CG-MS) dos corpos frutificados no último ciclo foram avaliados. Ainda, a farinha de shiitake seco foi caracterizada para composição centesimal e características tecnológicas (índice de absorção de água e óleo, e solubilidade em água), e usada como substituta de farinha de arroz na formulação de cookies de chocolate, o qual também teve sua composição centesimal e cor instrumental avaliada. Os compostos orgânicos e minerais dos trancos foram mais biodisponíveis e concentrados pela emissão do CO₂ durante biodegradação cultivo. O shiitake cultivado em toras apresentou maior teor de proteínas, fibras alimentares solúveis (β -glucanas) e cinzas (minerais), enquanto que o cultivo em blocos axênicos apresentou maior teor de minerais (K, Mg, Cu, Fe e Zn) essenciais a saúde humana. A secagem do shiitake a 45°C evitou a termodegradação de componentes orgânicos após a perda total de umidade e pode ser prevista pelo modelo de Midilli. A farinha de shiitake substituiu adequadamente a farinha de arroz para a produção de cookies chocolates, um

alimento vegano e sem glúten, sendo que disponibilizou maiores teores de proteínas, fibras alimentares e minerais essenciais para a alimentação humana.

Palavras-chave: Cultivo de cogumelo comestível; Secagem de cogumelo, alimento funcional; compostos bioativos; β -glucanas.

ABSTRACT

Lentinula edodes, or popularly shiitake, is a mushroom of the basidiomycete class, being the second most consumed mushroom in the world. Shiitake can be grown in lignocellulosic material, such as log and axenic blocks, a mixture of carbohydrates, nitrogen compounds and minerals. Its fruited body is a food with the presence of protective compounds of human health, such as antioxidant agents and nutritional fibers, but which degrade rapidly so that the loss of this food can be avoided by drying. In this context, the aim of this study was to evaluate the influence of the cultivation system and the drying process of shiitake on the nutritional, mineral and secondary metabolite profile. Additionally, sweet cookies "cookie type" were developed from the flour of mushrooms. The growth matrix of fungus, oak toras and axenic blocks were characterized as their composition of soluble, insoluble lignin, sugar profile by ionic chromatography, mineral content and elemental analysis before inoculation and after three cycles of cultivation, that is, exhausted. Also, the elemental composition, centesimal, mineral, thermostability (TG/DSC), total phenolic compounds, antioxidant activity (ABTS, DPPH and FRAP), glucans, functional groups (FTIR-ATR), secondary metabolite profile (CG-MS) of fruitbodies in the last cycle were evaluated. Furthermore, dry shiitake flour was characterized for centesimal composition and technological characteristics (water and oil absorption index, and water solubility), and used as a substitute for rice flour in the formulation of chocolate cookies, which also had its centesimal composition and instrumental color evaluated. The organic and mineral compounds of the strides were more bioavailable and concentrated by CO₂ emission during biodegradation cultivation. The shiitake cultivated in toras showed higher protein content, soluble dietary fibers (β -glucans) and ash (minerals), while the cultivation in axinblocks presented higher content of minerals (K, Mg, Cu, Fe and Zn) essential to human health. Drying of shiitake at 45°C avoided thermodegradation of organic components after total moisture loss and can be predicted by the Midilli model. Shiitake flour adequately replaced rice flour for the production of chocolate cookies, a vegan and gluten-free food, and provided higher levels of protein, dietary fibers and minerals essential for human food.

Keywords: Edible mushroom cultivation; Mushroom drying, functional food; bioactive compounds; β -glucans.

LISTA DE SIGLAS

CB	Cultivo em blocos axênicos
CB-I	Cultivo em blocos axênicos sem inóculo
CB-E	Cultivo em blocos axênicos exaurido
CT	Cultivo em toras de carvalho
CT-I	Cultivo em toras de carvalho sem inóculo
CT-E	Cultivo em toras de carvalho exaurida
TGA	Termogravimetria
DSC	Calorimetria de varredura diferencial
FTIR-ATR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier com reflectância atenuada
IC	Cromatografia iônica
CG-MS	Cromatografia gasosa com espectro de massa
IAA	Índice de absorção de água
SA	Solubilidade em água
CAO	Capacidade de absorção de óleo

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CULTIVO EM TORAS	22
FIGURA 2 - CULTIVO EM BLOCOS AXÊNICOS	22
FIGURA 3 - PRODUÇÃO DE COGUMELOS NO BRASIL.....	24
FIGURA 4 - MICÉLIOS DO LENTINULA EDODES	25
FIGURA 5 - LIGAÇÃO B(1→3) E B(1→6).....	27
FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DO ESTUDO	30
FIGURA 7 - A) COGUMELO CULTIVADO EM TORAS E B) COGUMELO CULTIVADO EM BLOCOS AXÊNICOS	31
FIGURA 8 - BANDEJA DE SECAGEM	34
FIGURA 10 - PERFIL DE AÇÚCARES DO HIDROLISADO DOS SISTEMAS DE CULTIVO DE SHIITAKE.....	45
FIGURA 11 - CURVAS DE DSC PARA OS COGUMELOS CULTIVADOS EM: (A) SUBSTRATO E (B) TORAS.	53
FIGURA 12 - CURVAS DE TGA E DTG PARA OS COGUMELOS CULTIVADOS EM: (A) SUBSTRATO E (B) TORAS.	55
FIGURA 13 - EVOLUÇÃO DA SECAGEM DE SHIITAKE-CB E SHIITAKE-CT56	
FIGURA 14 - AJUSTE DO MODELO DE MIDILLI PARA O SHIITAKE-CB E SHIITAKE-CT	57
FIGURA 15 - ESPECTROS DE FTIR DOS COGUMELOS <i>IN NATURA</i> E SECOS.....	62
FIGURA 16 - ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA, SOLUBILIDADE EM ÁGUA E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÓLEO.....	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DE CULTIVO	23
TABELA 2 - ALGUNS EXEMPLOS DE B-GLUCANAS COM POTENCIAL USO ALIMENTAR.....	27
TABELA 3 - MODELOS MATEMÁTICOS DE CINÉTICA DE SECAGEM	35
TABELA 4 - FORMULAÇÃO DOS COOKIES ELABORADOS A PARTIR DE DAS FARINHAS DE COGUMELO	41
TABELA 5 - TEOR DE EXTRATIVOS, LIGNINA SOLÚVEL E INSOLÚVEL DOS SISTEMAS DE CULTIVO.....	43
TABELA 6 - COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DOS SUBSTRATOS DE CULTIVO CT E CB	45
TABELA 7 - COMPOSIÇÃO MINERAL DOS SUBSTRATOS DE CULTIVO....	47
TABELA 8 - COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DOS SHIITAKES CULTIVADOS EM TORAS E BLOCOS AXÊNICOS	48
TABELA 9 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DOS SHIITAKE EM BASE SECA CULTIVADO EM BLOCOS AXÊNICOS E AS TORAS.....	50
TABELA 10 - MACRO E MICRO MINERAIS DOS COGUMELOS.....	51
TABELA 11 - PARÂMETROS DE DSC PARA OS COGUMELOS CULTIVADOS EM SUBSTRATO E TORAS	53
TABELA 12 - RESULTADOS DOS TESTES DE TGA E DTG PARA OS COGUMELOS CULTIVADOS EM SUBSTRATO E TORAS.	55
TABELA 13 - AJUSTES E CORRELAÇÕES DA MODELAGEM MATEMÁTICA	57
TABELA 14 - COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COGUMELOS <i>IN NATURA</i>	58
TABELA 15 - COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE APÓS SECAGEM	59
TABELA 16 - TEOR DE GLUCANAS NO SHIITAKE SECO EM DIFERENTES TEMPERATURAS.....	60
TABELA 17 - CLASSES DOS METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DO SHIITAKE CULTIVADO EM TORAS	63
TABELA 18 - CLASSES DOS METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DO SHIITAKE	

CULTIVADO EM BLOCOS AXÊNICOS	64
TABELA 19 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA FARINHA FUNCIONAL DE SHIITAKE	66
TABELA 20 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DOS COOKIES COM OU SEM ADIÇÃO DE FARINHA DE SHIITAKE-CT	68
TABELA 21 - COR DOS COOKIES	69

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
1.1.	OBJETIVO GERAL	19
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2.	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1.	CULTIVO DE COGUMELOS	21
2.2.	CONSUMO DE COGUMELOS.....	23
2.3.	<i>Lentinula edodes</i>	24
2.3.1.	COMPOSTOS BIOATIVOS	25
2.4.	DESENVOLVIMENTO DE ALIMENTOS FUNCIONAIS.....	28
2.5.	DOENÇA CELÍACA.....	29
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS PRODUTIVOS ANTES E DEPOIS DO CULTIVO DE SHIITAKE.....	30
3.1.1.	Extrativos totais, teor de lignina solúvel, insolúvel e perfil de açúcares no sistema de cultivo.....	31
3.1.2.	Análise elementar dos sistemas de cultivo.....	32
3.2.	CARACTERIZAÇÃO DE SHIITAKE <i>in natura</i>	32
3.2.1.	COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO SHIITAKE <i>in natura</i> , DA FARINHA E DOS COOKIES	32
3.2.2.	Análise de minerais do shiitake <i>in natura</i>	33
3.3.	SECAGEM DO SHIITAKE EM FORNO CONVECTIVO.....	33
3.3.1.	Termoestabilidade de shiitake seco.....	33
3.3.2.	Cinética de secagem e modelagem matemática.....	33
3.4.	CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE SHIITAKE <i>IN NATURA</i> E SECO A DIFERENTES TEMPERATURAS	36
3.4.1.	Compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante em extratos de shiitake <i>in natura</i> e seco	36
3.4.1.1.	Obtenção dos extratos de shiitake	36
3.4.1.2.	Compostos fenólicos totais nos extratos de shiitake.....	36
3.4.1.3.	Atividade antioxidante estimada pelo método DPPH nos extratos de shiitake.....	36

3.4.1.4.	Atividade antioxidante estimada pelo método ABTS nos extratos de shiitake.....	37
3.4.1.5.	Atividade antioxidante estimada pelo método FRAP nos extratos de shiitake.....	37
3.4.2.	Glucanas totais, α -glucanas e β -glucanas no shiitake <i>in natura</i> e seco a diferentes temperaturas.....	38
3.4.3.	Alteração molecular do shiitake <i>in natura</i> e seco a diferentes temperaturas.....	38
3.4.4.	Perfil de metabólitos secundários do shiitake <i>in natura</i> e seco a diferentes temperaturas.....	39
3.5.	DESENVOLVIMENTO DA FARINHA FUNCIONAL, FORMULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE COOKIES SEM GLÚTEN.....	40
3.5.1.	Produção da farinha de shiitake seco na melhor temperatura.....	40
3.5.2.	Caracterização tecnológica da farinha de cogumelo	40
3.5.2.1.	Absorção de água – CAA.....	40
3.5.2.2.	Solubilidade em água – AS.....	40
3.5.2.3.	Capacidade de absorção de óleo - CAO.....	41
3.6.	COOKIES DE CHOCOLATE COM SHIITAKE.....	41
3.6.1.	Formulação dos cookies de chocolate	41
3.6.2.	Análise de cor instrumental dos cookies de chocolate	42
3.7.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	42
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1.	EXTRATIVOS TOTAIS E LIGNINA SOLÚVEL E INSOLÚVEL DOS SUBSTRATOS DE CULTIVO ANTES E DEPOIS DA PRODUÇÃO DE SHIITAKE	42
4.2.	PERFIL DE AÇÚCARES DO HIDROLIZADO ÁCIDO DOS SUBSTRATOS DE CULTIVO ANTES E DEPOIS DA PRODUÇÃO DE SHIITAKE	44
4.2.1.	ANÁLISE ELEMENTAR E MINERAL DOS SUBSTRATOS SEM INÓCULO E APÓS EXAUSTÃO	45
4.3.	CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR E NUTRICIONAL DO SHIITAKE	48
4.3.1.	CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR DO SHIITAKE	48
4.3.2.	CARACTERIZAÇÃO CENTESIMAL DO SHIITAKE	49
4.3.3.	COMPOSIÇÃO MINERAL.....	50

4.4.	TERMOESTABILIDADE DO SHIITAKE SECO	51
4.5.	CINÉTICA E MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE SHIITAKE EM ESTUFA CONVECTIVA DE FATIAS DE SHIITAKE	55
4.6.	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM EXTRATO DE SHIITAKE CULTIVADO EM TORA OU BLOCO AXÊNICO	57
4.7.	QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE GLUCANAS	59
4.8.	PREPONDERÂNCIA DE LIGAÇÕES MOLECULARES DO SHIITAKE <i>IN NATURA</i> E SECO	61
4.9.	PERFIL DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DO SHIITAKE <i>IN NATURA</i> E SECO A DIFERENTES TEMPERATURAS.....	62
4.10.	DESENVOLVIMENTO DA FARINHA FUNCIONAL DE SHIITAKE SECO A 45°C	65
4.11.	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA – IAA, SA, CAO.....	66
4.11.1.	Índice de absorção de água	66
4.11.2.	Solubilidade da farinha em água	66
4.11.3.	Capacidade de absorção de óleos.....	67
4.12.	CARACTERIZAÇÃO CENTESIMAL DOS COOKIES COM OU SEM ADIÇÃO DE FARINHA DE SHIITAKE-CT	67
4.13.	COR DOS COOKIES COM OU SEM ADIÇÃO DE FARINHA DE SHIITAKE-CT.....	69
5.	CONCLUSÕES	70
6.	REFERÊNCIAS	71

1. INTRODUÇÃO

Cogumelos comestíveis são utilizados para fins alimentícios e medicinais há séculos, devido a grande quantidade de nutrientes e compostos bioativos. No entanto, o aumento de seu consumo não se deve apenas ao seu valor nutricional, mas também ao seu sabor único e específico e benefícios a saúde humana (SUN et al., 2020; LENZI, et al., 2018), uma vez que seu sabor é um fator decisivo na escolha de alimentos (SONG, LIU, 2018).

Os cogumelos são altamente perecíveis, possuem um teor de umidade com cerca de 90%, sendo um meio propício para ocorrência de reações que aceleram sua degradação (REIS et al., 2012). Com isso, ferramentas para aumentar a vida útil, de forma que mantenha todas suas propriedades nutricionais são empregadas, como por exemplo, a secagem e modelagem de sua cinética (CELESTINO, 2010). Uma vez que a modelagem é uma das ferramentas tecnológicas de secagem mais importantes para processos industriais e projeção de equipamentos. Sendo possível, realizar a escolha das melhores condições de processo (FERNANDES; GASPARETO; OLIVEIRA, 2006).

Dentre os cogumelos comestíveis comerciais, o *Lentinula edodes*, também chamado comercialmente de shiitake, está entre os mais consumidos no mundo (CHANGE, WASSER, 2017). É um cogumelo altamente perecível e sua deterioração ocorre 7 dias após a colheita. Seu tempo de armazenamento é curto e indesejável devido à sua alta taxa de respiração e estrutura epidérmica frágil, o que resulta em capacidade insuficiente para suportar a perda de água e contaminação microbiana (JIANG et al., 2013). Portanto, é necessário encontrar condições adequadas para minimizar a perda de substâncias nutritivas associadas ao controle de qualidade e, por sua vez, estender efetivamente a vida de armazenamento pós-colheita do cogumelo shiitake (QI et al., 2014). Uma destas possibilidades é a secagem do cogumelo de modo a reduzir à umidade e, conseqüente, a atividade de água (MIMURA; JORGE; MATHIAS, 2014).

O shiitake apresenta elevado teor de proteínas e fibras alimentares, bem como minerais (BACH et al., 2018) que podem contribuir com a ingestão

diária recomendada para macro e micronutrientes. Além disso, contém compostos antioxidantes que podem proteger a saúde humana (BACH et al., 2019). O sistema de cultivo pode ser com uso de toras de carvalho, o método clássico, ou com uso de blocos axênicos, uma mistura orgânica e mineral que fornece condições para frutificação do shiitake (BACH et al., 2018). O shiitake produzido por este último sistema ainda não foi relatado e este estudo comparativo contribui com essa informação. A vida de prateleira do corpo de frutificação faz com que seja necessário um processo para aumentar sua preservação, sendo que a secagem é uma boa opção (MIMURA; JORGE; MATHIAS, 2014). A transformação deste cogumelo em produtos alimentares de alto valor agregado também contribui para aumentar a renda de produtores e evitar a geração de resíduos. Produtos de panificação, como por exemplo, biscoitos doces “tipo cookies” podem ser elaborados com a farinha de shiitake sem a perda das propriedades nutricionais.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do sistema de cultivo e processo de secagem do cogumelo *Lentinula edodes* na composição nutricional, mineral e perfil de metabólitos secundários e ainda, desenvolver formulações de cookies sem glúten e veganos a partir da farinha dos cogumelos.

1.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do sistema de cultivo e processo de secagem do

cogumelo *Lentinula edodes* na composição nutricional, mineral e perfil de metabólitos secundários aplicáveis para o desenvolvimento de cookies sem glúten e veganos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os teores de lignina solúvel, insolúvel e perfil de açúcares, bem como os principais elementos da base orgânica de sistemas de cultivo antes e após a colheita dos shiitake nas toras e em substrato;
- Caracterizar a composição nutricional do shiitake *in natura* nos dois sistemas de cultivo;
- Avaliar a termoestabilidade, cinética e o efeito da secagem nas temperaturas de 45, 55 e 65°C na composição química do shiitake;
- Desenvolver uma farinha funcional de shiitake com alto teor proteico e fibras alimentares;
- Determinar a composição elementar, mineral, centesimal, resistência térmica, teor de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante ABTS, DPPH e FRAP, teor de glucanas, grupos funcionais por FTIR-ATR e perfil de metabólitos secundários por cromatografia gasosa (CG-MS) no cogumelo *in natura* e na farinha produzida. Produzir um cookie, alimento funcional, sem glúten e vegano, com uso de farinha de shiitake, nas concentrações de 25, 50, 75 e 100% e caracterizar a composição nutricional.

2. REVISÃO DA LITERATURA

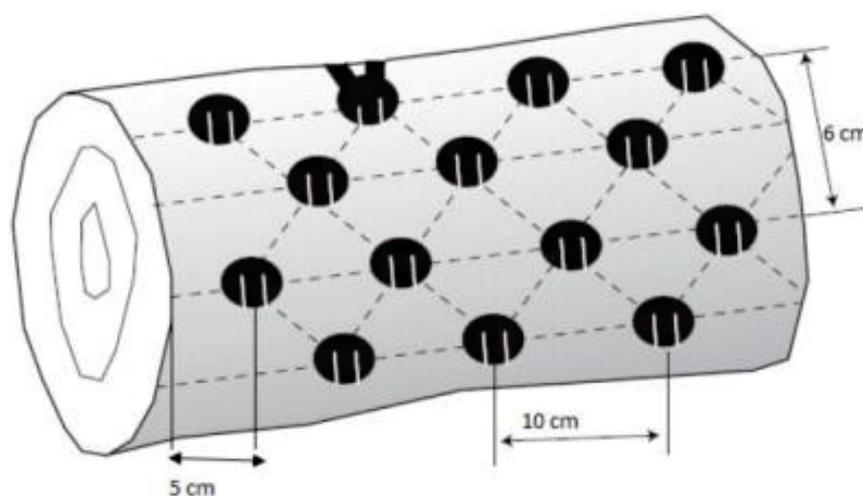
2.1. CULTIVO DE COGUMELoS

Os cogumelos comestíveis cultivados, são os corpos de frutificação dos basidiomicetos com um estilo de vida sapróbico, obtêm nutrientes a partir de materiais orgânicos em decomposição (GRIMM; WOSTEN, 2018). A maneira mais antiga de cultivo de cogumelos é a cultura de toras ao ar livre, que tem sido usada na China para cultivar shiitake há pelo menos um milênio (GRIMM; WOSTEN, 2018). Os basidiomicetos podem ser divididos em decompositores primários, secundários e terciários (GLAZUNOVA et al., 2018). O *Lentinula edodes*, um exemplo de decompositor primário, pode ser cultivado em uma variedade de material lignocelulósico (GLAZUNOVA et al., 2018; BELLETTINI, 2017), como palhas, cascas de sementes de algodão, espigas de milho, cascas de amendoim, resíduos de algodão da indústria têxtil, polpa de café, resíduos de papel (DE AZEVEDO et al., 2014). Isto valoriza esses resíduos com agregação de alto valor econômico.

Neste contexto, a produção de cogumelos comestíveis e medicinais utilizando resíduos agroindustriais de natureza lignocelulósica vem crescendo em todo o mundo, inclusive no Brasil de modo que é uma alternativa para o reaproveitamento dos resíduos agroindustriais das propriedades rurais, aumentando renda e geração de emprego, resultando no desenvolvimento da região (BELLETTINI, 2017).

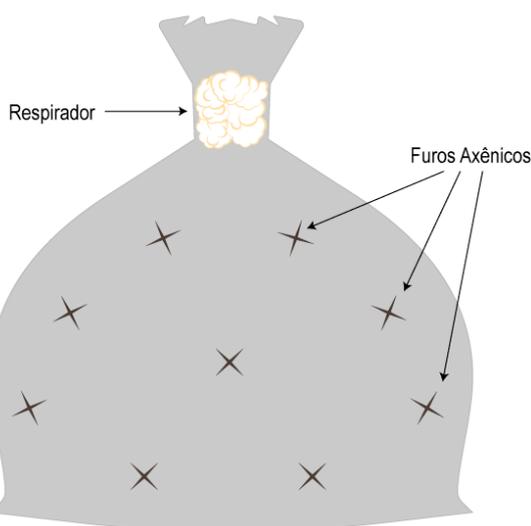
Para o preparo dos sistemas de cultivo, Silva et al. (2010), descrevem que os troncos devem ser perfurados no sentido longitudinal da sua superfície (Figura 1) e Souza (2004), relata que essas toras devem possuir um diâmetro de 8 a 12 centímetros e 1 metro de comprimento. Para os blocos axênicos (Figura 2), Urban et al. (2017), relata que é feito a mistura de material orgânico lignocelulósico, esterilizado, colocado em sacos de polipropileno e então feito o inóculo e cortes axênicos, para frutificação.

FIGURA 1 - CULTIVO EM TORAS



Fonte: Silva et al. (2010)

FIGURA 2 - CULTIVO EM BLOCOS AXÊNICOS



Fonte: Autor (2021)

Comparando as técnicas de produção de shiitake, toras e substratos, existem vantagens e desvantagens entre ambas (Tabela 1), portanto, fica a critério do produtor escolher a técnica que melhor se adeque aos recursos existentes em sua propriedade e ao investimento que pretende fazer. No entanto, não foi verificado relato sobre o efeito na produção de metabólitos secundários, bem como em um produto alimentar, o que é o cerne deste estudo.

TABELA 1 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DE CULTIVO

Sistema de Produção	Vantagens	Desvantagens	Referência
Toras	Mais simples; Menor Custo.	Produção Sazonal; Menor Rendimento (400g/ tora).	Pascholati; Marassatto; Stangarlin (2014); Dias (2013)
Blocos Axênicos	Maior Produção; Redução dos danos ambientais; Maior rendimento (800g/1kg de substrato)	Alto valor de Investimento	

Fonte: Autor (2021)

2.2. CONSUMO DE COGUMELOS

Os cogumelos são fungos com valor nutricional significativo, contando atualmente com cerca de 2.000 espécies comestíveis distribuídas em todo o mundo (RATHORE et al., 2019). O perfil de aminoácidos é melhor quando comparada à de vegetais como batata e cenoura. Além disso, os cogumelos apresentam baixos teores calóricos (27-30kcal/100g) com uma baixa quantidade de gordura (1,3-8% de cogumelos secos) e também com carboidratos digestíveis (BACH et al., 2018; NG; ROSMAN, 2019).

Dentre espécies mais cultivadas, tem-se o *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* e *Pleurotus* spp. O valor atual de mercado global de cogumelos frescos atingiu 38 bilhões de dólares americanos em 2018. A China é o maior produtor de cogumelos na região asiática, contribuindo com aproximadamente 35% para o mercado global de cogumelos (MAHARI et al., 2020). Os países da Ásia contribuem com até 76% da produção de cogumelos, seguidos pela Europa (17,2%) e Estados Unidos (5,9%) (SANDE et al., 2019). No Brasil (Figura 3), de acordo com o IBGE (2017), a produção de cogumelos chegou a 12.730 toneladas, com um valor de produção de 135.898 reais, tendo o estado de São Paulo como maior produtor e o Paraná como 3º maior produtor. De acordo com a Agência Paulista de Tecnologia de Agronegócios - APTA, (2016), a produção de cogumelos no estado de São Paulo, varia de 80 quilos a 60 toneladas, gerando uma receita de R\$21.240.017,00 e mais de 5.000 empregos.

FIGURA 3 - PRODUÇÃO DE COGUMELOS NO BRASIL



Fonte: Autor (2021) com base nos dados do IBGE (2017)

2.3. *Lentinula edodes*

O cogumelo *Lentinula edodes*, shiitake como é conhecido comercialmente, é o segundo cogumelo comestível mais comumente cultivado no mundo (HUANG et al., 2019). Pertence ao grupo de fungos de podridão branca (Figura 4) com a capacidade de decompor eficientemente material lignocelulósico (SCHIMPF; SCHULZ, 2016). Assim, produz um conjunto de enzimas hidrolíticas e oxidativas, como celulases, hemicelulases, lacases e lignases com capacidade lignocelulolítica. Logo, apto a utilizar lignina, celulose e hemicelulose como fonte de carbono e podendo ser cultivado em uma grande variedade de resíduos agrícolas (BUGG et al., 2011; PASCHOLATI; MARASSATTO; STANGARLIN, 2014).

FIGURA 4 - MICÉLIOS DO LENTINULA EDODES



FONTE: AUTOR (2021).

É um cogumelo que vem se tornando cada vez mais atraente, pois, além de seu alto valor alimentar intrínseco, apresenta grandes quantidades de moléculas que dão a percepção de sabor umami, ou seja, prazeroso ao paladar (TIAN et al., 2016; MORALES et al., 2020). Ainda, pode diminuir os níveis de colesterol no sangue (KABIR; YAMAGUSHI; KIMURA, 1987; DERMIKI et al., 2013). Durante a década de 1960, foi quando aumentou sua visibilidade mundial, pois foi relatada sua eficácia como agente antitumoral, se tornando então o mais consumido na China e o segundo no mundo até os dias de hoje (CHIHARA et al., 1969; WANG et al., 2020; CHEN et al., 2017). Essas características, o torna um ingrediente nobre para produção de alimentos especiais com propriedades bioativas, pois segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, o alimento ou ingrediente que alegar propriedades funcionais, além de funções nutricionais básicas, quando se tratar de nutriente, deverá produzir efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para o consumidor sem supervisão médica (BRASIL, 1999).

2.3.1. COMPOSTOS BIOATIVOS

Os compostos fenólicos são antioxidantes naturais encontrados em vegetais e cogumelos e podem agir diretamente na neutralização da ação dos radicais livres ou participar indiretamente de sistemas enzimáticos com essa função (LEAL, 2012). O potencial antioxidante de um composto é

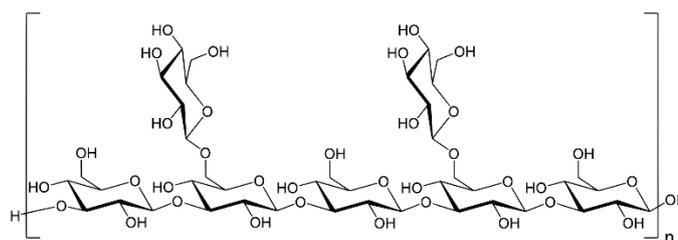
determinado pela reatividade dele como um doador de elétrons ou hidrogênio, capacidade de deslocar ou estabilizar um elétron desemparelhado, reatividade com outro antioxidante e reatividade com oxigênio molecular (MAISUTHISAKUL et al., 2007).

Os cogumelos são considerados, em todo o mundo, como alimentos valiosos, saudáveis, uma vez que apresentam baixos teores calóricos de lipídeos, e altos teores de proteínas, vitaminas e minerais (REIS et al., 2012; PEREIRA et al., 2012). Quanto às atividades bioativas, propriedades medicinais têm sido relatadas por ação antitumorais e imunomoduladores (FERREIRA et al., 2010), inibição da agregação plaquetária (HOKAMA & HOKAMA, 1981), redução das concentrações de colesterol no sangue (JEONG et al., 2010), prevenção ou atenuação de doenças cardíacas e redução dos níveis de glicose no sangue (JEONG et al., 2010) e antimicrobiana (HIRASAWA et al., 1999). Estas propriedades são atribuídas aos compostos bioativos antioxidantes, como os compostos fenólicos (FERREIRA et al., 2009; BARROS et al., 2009; REIS et al., 2012).

O shiitake inclui moléculas que induzem efeitos benéficos para a saúde humana, pois além dos compostos fenólicos, também apresenta a ergotioneína (atividade antioxidante), o ergosterol, a β -glucana e a eritadenina (propriedades hipocolesterolêmicas), os peptídeos anti-hipertensivos, a lenthionina (com capacidade antitrombótica), entre outros (MORALES et al., 2018).

Além de toda atividade antioxidante, podem atuar como prebióticos, uma vez que apresenta fibras dietéticas em sua composição, representadas por polissacarídeos não digeríveis como a quitina, as β e α -glucanas, as xilanas, as mananas e as galactanas (AIDA et al., 2009) como já observado em outros estudos (PELAES VITAL et al., 2015). As β -glucanas são exemplos de fibra alimentar solúvel composta por monômeros da D-glicose interligadas por ligações β -glicosídicas tipo β (1 \rightarrow 3) e β (1 \rightarrow 6) (Figura 5).

FIGURA 5 - LIGAÇÃO B(1→3) E B(1→6)



Fonte: Autor (2021)

As β -glucanas estão presentes em cereais, cogumelos, leveduras, algumas bactérias e algas. Apresentam diferentes tipos de ligação em função de sua fonte biológica (Tabela 2), bem como tipo de ramificação e massa molecular média (DU; BIAN; XU, 2014). A estrutura (Figura 5) também é afetada pelo método de isolamento, variando principalmente na distribuição e comprimento das cadeias laterais. Essas características permitem a formação de estruturas terciárias complexas, as quais são estabilizadas por ligações de hidrogênio entre cadeias (MANTOVANI et al., 2008).

TABELA 2 - ALGUNS EXEMPLOS DE B-GLUCANAS COM POTENCIAL USO ALIMENTAR

Fonte	Ligação	Efeito biológico	Referência
Cogumelos	$\beta(1\rightarrow3)$ e $\beta(1\rightarrow6)$	Anti-diabetes; efeito anti-inflamatório	Chen e Seviour (2007); Du et al. (2015)
Cereais	$\beta(1\rightarrow3)$ e $\beta(1\rightarrow4)$	Propriedades imunomoduladoras; Redução de Colesterol	Rieder e Samuelson (2012); Brennan e Cleary (2005)
Leveduras	$\beta(1\rightarrow3)$ e $\beta(1\rightarrow6)$	Propriedades imunomoduladoras; Anticarcinogênica	Magnami e Castro-Gómez (2008)
Algas	$\beta(1\rightarrow3)$	Antitumoral	Watanabe et al. (2013)
Bactérias	$\beta(1\rightarrow3)$	Prebiótico	Shi et al. (2018)

Fonte: Autor (2021)

Neste contexto, o consumo de cogumelos torna-se benéfico, uma vez que possui alto teor destes tipos de fibras alimentares, que melhora a saúde intestinal e ajudam na prevenção e tratamento de doenças crônicas, como agente de redução do colesterol no sangue. Além disso, sua adição em produtos pode agregar no teor de proteínas, menos calorias e baixo teor de gordura resultam em alimentos mais saudáveis (WANG et al., 2014; WHITEHEAD et al., 2014). Assim, do ponto de vista da saúde, as funções biológicas da β -glucana (Tabela 2) estão associadas à sua capacidade de formar soluções viscosas que retém água no trato digestivo, principalmente no intestino grosso. Isso, por sua vez, melhora a saúde digestiva aumentando o volume das fezes e a homeostase dos níveis de glicose no sangue com base nos impactos na hiperglicemia (GAMEL et al., 2014; BURKUS; TEMELLI, 2005). Diante disso, os cogumelos estão se tornando cada vez mais atraentes como alimentos funcionais e produtos potenciais para o desenvolvimento de novos produtos medicinais (CORREA et al., 2015; FARZANA; MOHAJAN, 2015).

2.4. DESENVOLVIMENTO DE ALIMENTOS FUNCIONAIS

A busca por alimentos funcionais e o crescimento desse segmento aumentou nos últimos anos. Os alimentos funcionais podem ser o próprio alimento ou ingrediente de fortificação que possui além das funções nutricionais básicas, quando consumido como parte da dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde, e deve ser seguro para consumo sem supervisão médica (MORAIS, 2006; ANJO, 2004).

No caso específico do tema deste estudo, a inserção do shiitake na dieta humana, associado a produtos consumidos tradicionalmente, constitui uma alternativa vantajosa e viável para fabricação de novos produtos com qualidades diferenciadas dos alimentos convencionais que podem contribuir para manutenção, promoção da saúde e qualidade de vida (FALGUERA et al., 2012; KHATUA ET AL, 2013)

A adição de biomassa de cogumelos em produtos diversos alimentares, causa acréscimo principalmente de proteínas, fibras, minerais

e peptidases, compostos bioativos que melhoram as propriedades de manipulação, reduzem o tempo de mistura da massa, assim como, aumentam substancialmente o volume, facilitando a abertura da massa (AHMED et al, 2015).

Dentre os produtos formulados com biomassa de cogumelo tem ênfase os produtos de panificação, como pães, hambúrgueres e bolos (AISHAH e WAN ROSLI, 2013; LEMOS, 2009; SHEIKH et al., 2010). Neste sentido, este estudo abordará a possibilidade de produzir cookies veganos com uso de farinha de shiitake, mas também contemplando indivíduos com doença celíaca.

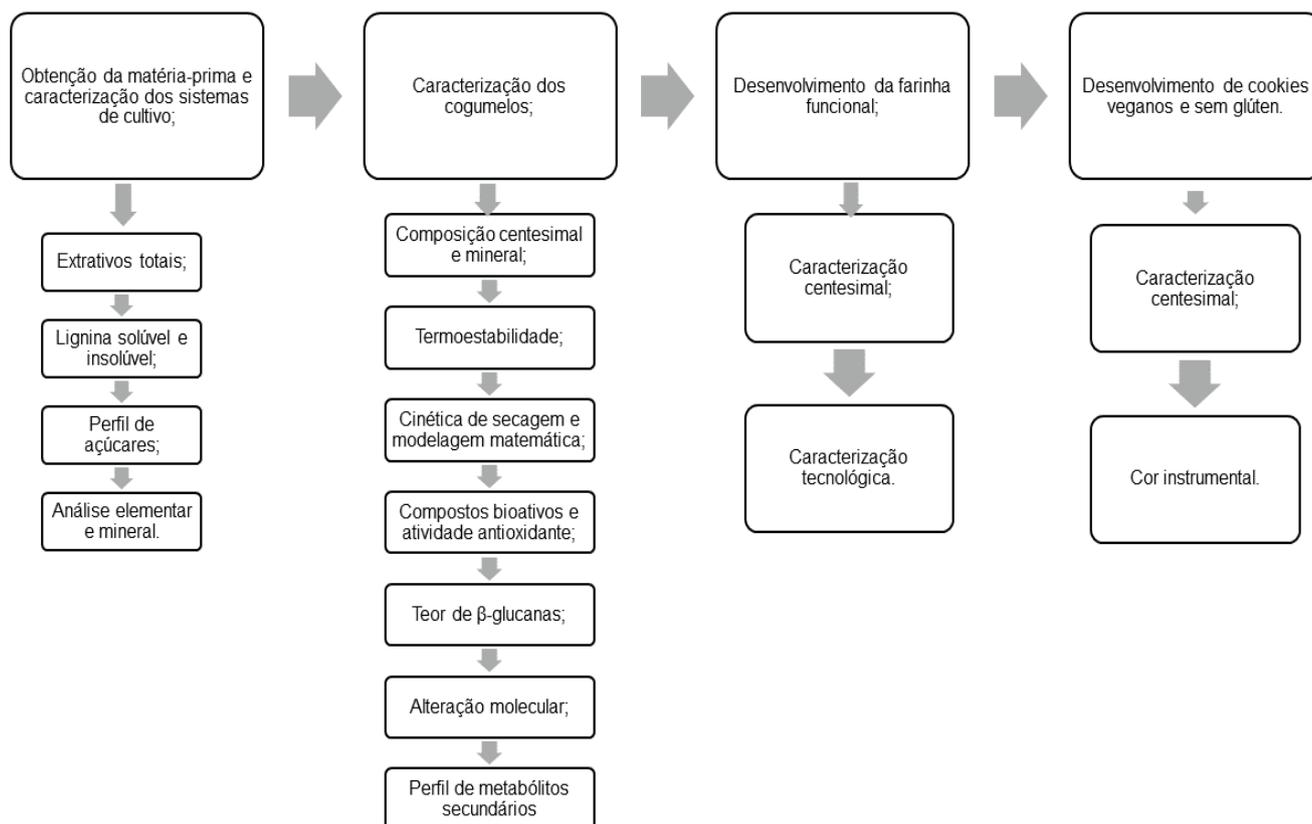
2.5. DOENÇA CELÍACA

A doença celíaca é uma doença autoimune que afeta o intestino delgado e, em casos mais graves, também o íleo e o cólon. Seu tratamento é fundamentalmente dietético, sendo necessária total exclusão de alimentos que possuem glúten, como trigo, centeio e cevada (LAURIN; WOLVING; FALTH-MAGNUSSON, 2002; ARAÚJO et al., 2010; CICLITIRA; MOODIE, 2003). O glúten está presente como monômeros ou interligados por ligações de dissulfeto inter-cadeia de oligômeros e polímeros proteicos. Em termos de processo, essa fração de proteína também possui papel fundamental na qualidade do trigo, conferindo boa absorção de água, coesão, viscosidade e elasticidade de massa. (WIESER, 2007; WRIGLEY; BIETZ, 1988). Assim, a elaboração de novos produtos livres de glúten para os indivíduos celíacos ou não, é importante, uma vez que possuem poucas opções (DE JESUS FREITAS; VALENTE; CRUZ, 2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho pode ser subdividido em cinco etapas (Figura 6) desde a obtenção da matéria-prima até desenvolvimento de cookies sem glúten e veganos com a farinha de shiitake.

FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DO ESTUDO



3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS PRODUTIVOS ANTES E DEPOIS DO CULTIVO DE SHIITAKE

Os sistemas de cultivos em toras de carvalho (CT, cultivo em toras) e em blocos axênicos (CB, cultivo em blocos), bem como os corpos de frutificação do cogumelo shiitake (*Lentinula edodes*) foram obtidos de dois comerciantes locais da região metropolitana da cidade de Curitiba-PR. As toras de carvalho possuem 8 a 12 cm de diâmetro e 1 m de comprimento. A composição do CB foi composta por uma mistura de farelo de arroz, farelo de soja, casaquinha de soja, gesso e carvão.

FIGURA 7 - A) COGUMELO CULTIVADO EM TORAS E B) COGUMELO CULTIVADO EM BLOCOS AXÊNICOS



Fonte: Autor (2021)

3.1.1. Extrativos totais, teor de lignina solúvel, insolúvel e perfil de açúcares no sistema de cultivo

O teor de extrativos totais dos sistemas de cultivo foi determinado por extração sólido-líquido com uso de uma mistura etanol:tolueno (1:2, v/v) por 4 horas com uso de um equipamento *Soxhlet*, de acordo com a NBR 14853 (ABNT, 2010). Para determinar o perfil de monossacarídeos da matriz depois da remoção dos extrativos, a amostra exaurida foi seca e então submetida a uma hidrólise ácida. O resíduo foi considerado o teor de lignina insolúvel, a solução hidrolisada foi submetida a leitura da absorbância a 205 nm, utilizando espectrofotômetro UV-VIS (Shimadzu-1800) para determinação do teor de lignina solúvel e depois submetida à análise de cromatografia iônica-IC-PAD, para determinar o perfil de açúcares e estimar quantidade de celulose e hemicelulose, através da soma de hexoses e pentoses, conforme descrito por Franco et al. (2019).

3.1.2. Análise elementar dos sistemas de cultivo

O teor de carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre de amostras (2 mg) dos sistemas de cultivo antes e após cultivo dos cogumelos, bem como dos corpos de frutificação de cogumelo (secos a 105 °C), foram analisadas pelo método da diferença no equipamento elementar (Elementar – Modelo Vario Macro Cube).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DE SHIITAKE *in natura*

3.2.1. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO SHIITAKE *in natura*, DA FARINHA E DOS COOKIES

As duas amostras de cogumelos, cultivados em toras e em bloco axênico, foram fornecidas por comerciantes da região metropolitana de Curitiba-PR.

O teor de umidade do shiitake *in natura* foi determinado pela diferença de massa antes e depois da secagem em estufa a 105 °C até massa constante pelo método AOAC (Association of Official Analytical Chemicals) nº 925.09 (AOAC, 2005). As cinzas pelo método de incineração e calcinação em mufla a 550°C por 5h, conforme o método nº 923.03 (AOAC, 2005), foi considerado como minerais. O teor lipídico foi determinado pelo método de extração sólido-líquido em Soxhlet com uso de éter etílico, por evaporação do solvente, por 2h e massa residual da matéria extraída de acordo com método nº 920.39, C (AOAC, 2016). O teor de proteínas foi determinado pelo método de Micro-Kjeldahl, método nº 920.87 (AOAC, 2005), sendo que o teor proteico foi estimado com uso do fator de 4,38, considerando que os cogumelos apresentam uma alta proporção de compostos nitrogenados não proteicos (NPN), como a quitina (REIS et al., 2012; RASHIDI e YANG, 2016).

As fibras alimentares totais foram determinadas pelo método enzimático-gravimétrico de acordo com as frações solúveis e insolúveis conforme o método nº 991.43 (AOAC, 2005). O teor de carboidratos totais, incluindo as fibras alimentares, foi calculado por diferença, ou seja, 100g de amostra menos a soma de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos. Todas as

análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos em matéria seca (MS).

3.2.2. Análises de minerais do shiitake *in natura*

Os minerais foram quantificados utilizando amostras secas dos cogumelos e dos sistemas de cultivo antes do inóculo e após exaustão de colheita, de acordo com o método descrito por Silva (1999), Sarruge e Haag (1974). Para determinação dos macrominerais as amostras de shiitake foram digeridas com ácido nitro-perclórico (NOGUEIRA; SOUZA, 2005). Os teores de sódio e de potássio foram determinados por fotômetro de chama (SILVA, 1999). O cálcio e o magnésio foram quantificados por espectroscopia de absorção atômica (SARRUGE; HAAG, 1974). O fósforo foi determinado em espectrofotômetro UV/VIS a 660nm após a produção de ácido fosfomolibdico de cor azul (NOGUEIRA; SOUZA, 2005). As concentrações de manganês, ferro, cobre e zinco foram determinadas de acordo com Silva (1999) em um espectrômetro de absorção atômica, nos comprimentos de onda de 279,5, 248,3, 324,7 e 213,9 nm, respectivamente. As análises foram realizadas em triplicatas e expressados em MS (Matéria-seca).

3.3. SECAGEM DO SHIITAKE EM FORNO CONVECTIVO

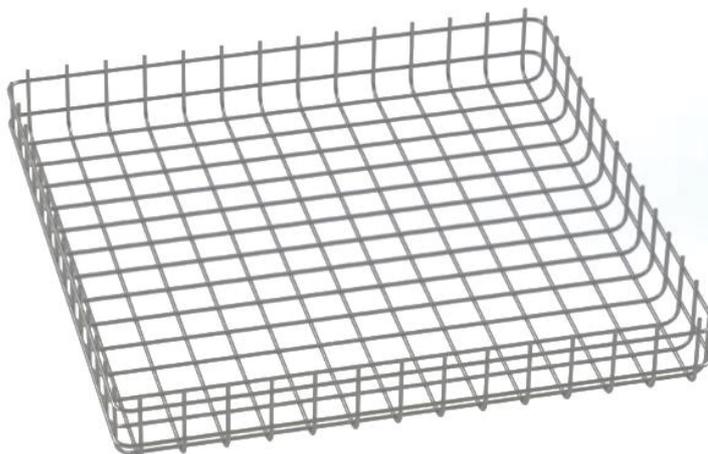
3.3.1. Termoestabilidade de shiitake seco

Para avaliar a estabilidade térmica do shiitake, amostras de cogumelo seco a 105°C (~10 mg) foram adicionados em cadinho de platina do equipamento de análises térmicas TGA e DSC, SDT (Q600, TA Analysis). As amostras foram submetidas a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, com temperatura de 0 à 800°C e atmosfera modificada de nitrogênio com fluxo de 50 mL.min⁻¹. Os resultados foram analisados utilizando o software TA Universal Analysis.

3.3.2. Cinética de secagem e modelagem matemática

A cinética de secagem dos cogumelos foi realizada com as amostras de cogumelo fatiadas ao meio, com espessuras de 4 a 5 mm. Após, foram colocados em bandejas de alumínio com perfuração de 10 mm² (Figura 8), a fim de garantir a circulação de ar e homogeneização do processo.

FIGURA 8 - BANDEJA DE SECAGEM



Fonte: Autor (2021)

A secagem em estufa com circulação de ar a 45, 55 e 65°C (WAKACHAURE et al. 2010) e a massa foi determinada a cada 5 min até massa constante (TIMM et al., 2019), para melhor observação do fenômeno de perda de massa.

A cinética de secagem foi calculada as proporções de umidade em base úmida e seca (Equação 1 e 2) e umidade adimensional (Equação 3) da amostra em cada tempo de pesagem (GEANKOPLIS, 1993).

$$U(\%b.u.) = \left(\frac{m_a}{m_i} \right) * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

m_a = Massa de água perdida;

m_i = Massa inicial da amostra.

$$U(\%b.s.) = \frac{U(\%b.u.)}{100 - U(\%b.u.)} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$U(\%b.u.)$ = Umidade calculada em base úmida.

$$Xr = \frac{x-x_e}{x_i-x_e} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

Xr = Umidade adimensional da amostra;

X = Teor de umidade no tempo específico;

Xe = Teor de umidade de equilíbrio da amostra;

Xi = Teor de umidade inicial da amostra.

As curvas cinéticas de secagem foram ajustadas aos modelos matemáticos empíricos e semiempíricos (Tabela 3) (TIMM et al., 2019; WAKACHAURE et al., 2010) com uso de regressão não-linear.

TABELA 3 - MODELOS MATEMÁTICOS DE CINÉTICA DE SECAGEM

Modelo	Equação
Page	$Xr = e^{-ktn}$
Handerson e Pabis	$Xr = ae^{-kt}$
Silva	$Xr = e^{-at-b\sqrt{t}}$
Logarítmico	$Xr = a_0 + ae^{-kt}$
Midilli	$Xr = ae^{-ktn} + bt$
Exponencial de Dois Termos	$Xr = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-kat}$
Dois Termos	$Xr = a_1e^{-k_1t} + a_2e^{k_2t}$

Fonte: Autor (2021)

Em cada modelo, Xr representa a umidade adimensional ao longo do tempo de secagem (t), enquanto que as letras a, b, n e k, são as constantes dos modelos de secagem. Os parâmetros foram ajustados, através de uma regressão não linear e o coeficiente de correlação (R^2), soma do quadrado do erro (SSE) e erro quadrático médio (RMSE), foram utilizados para definir o melhor modelo para a secagem do shiitake, conforme já utilizados por Macedo et al. (2020), Ouaabou et al. (2020), Timm et al. (2019).

3.4. CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE SHIITAKE *IN NATURA* E SECO A DIFERENTES TEMPERATURAS

3.4.1. Compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante em extratos de shiitake *in natura* e seco

3.4.1.1. Obtenção dos extratos de shiitake

O preparo dos extratos seguiu o método otimizado por Bach et al. (2019). Foram pesadas 0,5 g de shiitake *in natura* e seco (macerados) a 45, 55 e 65°C e colocados em 30 mL de solução hidroalcoólica (25% etanol). A mistura foi colocada em incubadora shaker orbital refrigerada TE-42I (Tecnal, Piracicaba, Brazil) sob agitação a 100 rpm, à 25°C por 2 horas. Após, a mistura resultante foi filtrada para obtenção do extrato (sobrenadante) e usado para avaliar os compostos fenólicos e as atividades antioxidantes *in vitro* sob diferentes metodologias.

3.4.1.2. Compostos fenólicos totais nos extratos de shiitake

Os teores de compostos fenólicos foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme o procedimento de Singleton e Rossi (1965), para amostras de shiitake *in natura* e secas. As absorbâncias realizadas a 760 nm e os valores comparados com a curva padrão de ácido gálico, expressos em mg de ácido gálico por grama de cogumelo.

3.4.1.3. Atividade antioxidante estimada pelo método DPPH nos extratos de shiitake

A atividade antioxidante via eliminação de radicais livres foi determinada pelo ensaio de DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila), conforme Brand-Williams et al. (1995), com pequenas modificações. Primeiramente, 0,1 mL do extrato foram adicionados a 3,9 mL da solução metanólica de DPPH (6×10^{-5} mol/L). A mistura foi deixada reagindo no escuro por 30 min e sua absorbância a 515 nm foi medida em espectrofotômetro UV/VIS (Shimadzu-1800).

3.4.1.4. Atividade antioxidante estimada pelo método ABTS nos extratos de shiitake

A atividade sequestradora do radical ABTS (2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)) dos extratos dos cogumelos foi determinada conforme Re et al. (1999). Um volume de 88 μ L de persulfato de potássio (140 mmol/L) foi adicionado a 5mL de ABTS (7 mmol/L). Ambos os reagentes foram solubilizados em solução tampão de acetato de sódio 20 mmol/L. A mistura foi armazenada em frasco âmbar, no escuro e a temperatura ambiente, durante 16h. A solução tampão foi utilizada para ajustar a absorbância da solução ABTS em $0,700 \pm 0,050$ no comprimento de onda de 734 nm, em espectrofotômetro (UV-VIS Shimadzu-1800). Em seguida 30 μ L do extrato hidro etanólico otimizado diluído (1:2 – extrato:água deionizada) dos cogumelos foram adicionados a 3mL da solução ABTS. A mistura permaneceu no escuro, durante 2h à temperatura ambiente. A absorbância da amostra foi medida a 734 nm.

3.4.1.5. Atividade antioxidante estimada pelo método FRAP nos extratos de shiitake

O ensaio de potencial antioxidante total dos extratos de cogumelo foi realizado utilizando o método potencial antioxidante de redução do ferro (Ferric Reducing Antioxidant Power - FRAP) segundo a metodologia descrita por Benzie e Strain (1996), com pequenas modificações. O reagente FRAP foi preparado pela mistura de tampão acetato (0,3 mol/L), TPTZ (10×10^{-3} mol/L) solubilizado em HCl (40×10^{-3} mol/L) e cloreto férrico (40×10^{-3} mol/L), na proporção 10:1:1, respectivamente. Então, 3,0mL do reagente FRAP foram adicionados a 0,1mL do extrato etanólico de cada cogumelo. A mistura foi mantida a temperatura ambiente, no escuro. Após 30min foi realizada a medida da absorbância, em espectrofotômetro (UV/VIS Shimadzu-1800), no comprimento de onda de 593 nm.

3.4.2. Glucanas totais, α -glucanas e β -glucanas no shiitake *in natura* e seco a diferentes temperaturas

Primeiramente as amostras foram maceradas com auxílio de gral e pistilo, após os teores de glucanas totais e α -glucanas, foram quantificados utilizando o Kit comercial K-YBGL/Megazyme, seguindo-se o protocolo conforme o fabricante. Por meio deste kit, foi realizada a dosagem para glucanas totais e α -glucanas, medindo as absorvâncias de todas as soluções resultantes do protocolo dos ensaios, a 510 nm, contra o branco do reagente, em espectrofotômetro (UV/VIS Shimadzu1800). O teor de β -glucanas foi calculado, então, por meio das Equações 4, 5 e 6.

$$\text{Glucanas totais} \left(\% \frac{m}{m} \right) = \Delta E \times \frac{F}{W} \times 90 \quad (\text{EQUAÇÃO 4})$$

$$\alpha - \text{glucanas} \left(\% \frac{m}{m} \right) = \Delta E \times \frac{F}{W} \times 9,27 \quad (\text{EQUAÇÃO 5})$$

$$\beta - \text{glucanas} \left(\% \frac{m}{m} \right) = (\text{Glucanas totais}) - (\alpha - \text{glucanas}) \quad (\text{EQUAÇÃO 6})$$

Onde:

ΔE = absorvância amostra – absorvância branco.

F = Fator de conversão para μg de D-glucose = 100/absorvância padrão.

W = massa da amostra utilizada.

90 e 9,27 = Fator de correção de volume.

3.4.3. Alteração molecular do shiitake *in natura* e seco a diferentes temperaturas

A alteração de grupos funcionais presentes na estrutura das substâncias de cogumelo secos a 45°, 55° e 65°C em relação ao organismo *in natura* foram avaliadas por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier com reflectância atenuada acoplada (FTIR-ATR),

utilizando um equipamento espectrômetro ALPHA-P FTIR Bruker com reflectância total atenuada – ATR acoplado. Amostras foram previamente maceradas em graal e pistilo, e colocadas sobre o cristal de leitura do FTIR (ALPHA-P FTIR, Bruker) para gerar a média espectral de absorbância de 64 varreduras, na faixa de onda de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} com uma resolução de 4 cm^{-1} a temperatura ambiente.

3.4.4. Perfil de metabólitos secundários do shiitake *in natura* e seco a diferentes temperaturas

As amostras de cogumelo *in natura* e secas a 45° , 55° e 65°C (10 mg) foram acrescidas de $30\ \mu\text{L}$ de solução de $^{13}\text{C}_6$ -sorbitol ($0,2\ \mu\text{g}/\mu\text{L}$) e $30\ \mu\text{L}$ de ácido nonadecanóico ($2,0\ \mu\text{g}/\mu\text{L}$) para avaliação semiquantitativa de compostos hidrofílicos e lipofílicos, respectivamente. As amostras foram extraídas com etanol: tolueno (1:1,1,2 mL x $2,70^\circ\text{C}$, 950 rpm, 15 min), em seguida, $0,4\text{ mL}$ de H_2O foi adicionado para a separação de fases etanol: H_2O (compostos hidrofílicos) tolueno (compostos lipofílicos). A fase de etanol: H_2O foi limpa com uma extração extra com tolueno. A fase etanol: H_2O foi seca no vácuo, em equipamento thermomixer (30°C , 8h), então metoxilada (20 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ cloridrato de metoxiamina em piridina, $50\ \mu\text{L}$, 40°C , 90 min,) e sililada (MSTFA, $50\ \mu\text{L}$, 40°C , 90 min).

A fração de tolueno foi seca numa ligeira corrente de nitrogênio, a amostra foi transesterificada (9:1, 1mL, etanol:cloreto de acetila, 60°C , 12h). Posteriormente, $0,5\text{ mL}$ de KCl (10%, p/v) foi adicionado, e os compostos lipofílicos foram extraídos com éter etílico (3x, $0,5\text{ mL}$), e a água residual foi removida usando sulfato de sódio (0,5 g). Metade do extrato foi seco em uma corrente de nitrogênio e sililado com BSTFA: piridina (1:1, $100\ \mu\text{L}$, 70°C , 60 min). As amostras contendo os compostos hidrofílicos e lipofílicos foram analisadas por cromatografia gasosa acoplada a um espectrômetro de massa de íons trap com modo split (1:25). Os compostos foram separados com uma coluna DB-5 (30 m x $0,25\text{ mm}$ x $0,25\ \mu\text{m}$) com temperatura do injetor a 230°C e linha de transferência a 250°C , com $1,5\ \text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ hélio como transportador de gás. Conjunto de forno CG: 70°C , isoterma de 1 min, aquecimento a 320°C a uma taxa de $8^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, com isoterma final de 5 min.

O espectrômetro de massa foi operado em modo positivo com ionização por impacto de elétrons a 70 eV, com temperatura da fonte de íons a 200°C. Os compostos foram identificados usando o *software AMDIS* usando a coleção de referência do *Golm Metabolome Database*²⁴ para compostos hidrofílicos e uma biblioteca construída no *Software AMDIS* com amostras analisadas na Embrapa para compostos lipofílicos.

3.5. DESENVOLVIMENTO DA FARINHA FUNCIONAL, FORMULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE COOKIES SEM GLÚTEN

3.5.1. Produção da farinha de shiitake seco na melhor temperatura

A farinha de shiitake foi preparada utilizando moinho comercial de café e peneirada em peneira com 28 mesh. Foi considerado o cogumelo com maior teor proteico, cinzas e fibras, para a elaboração da farinha. Sua composição centesimal foi realizada conforme o item “3.2.1”.

3.5.2. Caracterização tecnológica da farinha de cogumelo

3.5.2.1. Absorção de água – CAA

O índice de absorção de água (IAA) da farinha de cogumelo, seca em estufa com circulação de ar forçado a 60°C (Equação 7), foi determinado de acordo com metodologia de Okezie e Bello (1988). Uma suspensão foi preparada pela mistura de 0,5 g de farinha e 25 mL de água, agitada e em seguida centrifugada a 5300 rpm por 20 min. O líquido sobrenadante foi escorrido e o material remanescente (farinha úmida) foi pesado.

$$IAA = \frac{\text{Água absorvida pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \quad (\text{Equação 7})$$

3.5.2.2. Solubilidade em água – AS

Para a determinação da solubilidade em água (SA) da farinha do cogumelo (Equação 8), foi utilizado o líquido sobrenadante da análise de IAA,

e evaporado a água do sobrenadante em placa de Petri previamente tarada em estufa à 105 °C até peso constante.

$$SA = \frac{\text{Resíduo da Evaporação (g)}}{\text{peso da amostra (g)}} \times 100 \quad (\text{Equação 8})$$

3.5.2.3. Capacidade de absorção de óleo - CAO

A capacidade de absorção de óleo (CAO) da farinha de cogumelo (Equação 9) foi determinada de acordo com metodologia de Okezie e Bello (1988). Uma suspensão foi preparada pela mistura de 0,5 g de farinha e 25 mL de óleo de soja, agitada e em seguida centrifugada a 5300 rpm por 20 min. O líquido sobrenadante foi escorrido e o material remanescente (farinha úmida) pesado.

$$CAO = \frac{\text{Óleo absorvido pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \quad (\text{Equação 9})$$

3.6. COOKIES DE CHOCOLATE COM SHIITAKE

3.6.1. Formulação dos cookies de chocolate

A formulação dos cookies foi realizada seguindo a formulação de uma comerciante local da cidade de Curitiba-PR, com a substituição de maneira parcial e integral da farinha de arroz por farinha de shiitake (Tabela 4) conforme realizado por Stoffel et al. (2021), sendo que sua composição centesimal determinada conforme item “3.2.1”.

TABELA 4 - FORMULAÇÃO DOS COOKIES ELABORADOS A PARTIR DE DAS FARINHAS DE COGUMELO

Ingredientes	Amostra				
	S-CT0	S-CT6,7%	S-CT13,3%	S-CT20,0%	S-CT26,7%
Açúcar mascavo (g)	130	130	130	130	130
Óleo de girassol (g)	55	55	55	55	55
Essência de Baunilha (g)	2	2	2	2	2
Chocolate meio amargo (g)	70	70	70	70	70

Leite vegetal (g)	30	30	30	30	30
Farinha de arroz (g)	125	93,75	62,5	31,25	0
Farinha de shiitake (g)	0	31,25	62,5	93,75	125
Polvilho doce (g)	30	30	30	30	30
Fermento químico (g)	2	2	2	2	2
Cacau 100% (g)	25	25	25	25	25

3.6.2. Análise de cor instrumental dos cookies de chocolate

A avaliação da cor na superfície dos cookies foi realizada em colorímetro digital com espaço de cores CIELAB, também conhecido como L*, a* e b*, cores definidas pela Comissão Internacional de Iluminação em 1976. O parâmetro L* corresponde à luminosidade, variando de 0 (amostra escura) a 100 (amostra clara). O parâmetro a* está relacionado à dimensão da cor verde (valores negativos) e vermelho (valores positivos) e o b* está relacionado às cores azul (valores negativos) e amarelo (valores positivos). O aparelho utilizou o parâmetro de iluminação D65° e angulação de 10°. O valor (Delta) E (Equação 10), foi usado para calcular a diferença, ou seja, a variação de cor.

$$\Delta E = \sqrt{[(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2]} \quad (\text{Equação 10})$$

3.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas a partir das médias dos resultados das análises realizadas, em triplicata. Foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA), seguida do método de Tukey, para testar a significância das médias de cada variável entre as áreas de estudo ($p < 0,05$), utilizando o *software Statistics 8.0*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. EXTRATIVOS TOTAIS E LIGNINA SOLÚVEL E INSOLÚVEL DOS SUBSTRATOS DE CULTIVO ANTES E DEPOIS DA PRODUÇÃO DE SHIITAKE

Os teores de extrativos no CT sem inóculo e no final do cultivo tiveram

uma redução 72,5%, ou seja, a fermentação de estado sólido também se baseia no consumo de substâncias de baixa e média massa molecular, como ácidos e ésteres graxos, álcoois de cadeia longa, esteroides, compostos fenólicos e glicosídeos que podem ser solubilizados em solventes orgânicos (SILVÉIRO et al., 2006; BARRICHELO, BRITO, 1985). Em estudo similar, a redução foi de 32,0% decorrente da redução de 1,53% a 1,04% de extrativos (BACH et al., 2018), ou seja, os teores de extrativos disponíveis nas toras eram de mesma grandeza, mas a metabolização não foi tão intensa do que o estudo presente. Logo, estudos complementares específicos para esta abordagem se faz necessário.

Os blocos axênicos (CB) apresentaram teores iguais ($p > 0,05$) de extrativos do que o observado no CT (Tabela 5). Após a fermentação, houve um aumento no teor de extrativos totais, o que foi relatado com resíduos miceliais do cogumelo que ficam nos blocos axênicos (LOU et al., 2017). O presente estudo reforça está hipótese, sendo que os micélios residuais do cogumelo no meio de cultivo também possuem fontes extraíveis.

TABELA 5 - TEOR DE EXTRATIVOS, LIGNINA SOLÚVEL E INSOLÚVEL DOS SISTEMAS DE CULTIVO (SUBSTRATOS)

	Extrativos (%)	Lignina insolúvel	Lignina solúvel
CB-I	1,56 ± 0,05 ^a	10,11 ± 0,14 ^a	1,40 ± 0,10 ^a
CB-E	5,32 ± 0,68 ^A	3,67 ± 0,21 ^b	0,48 ± 0,00 ^b
CT-I	1,67 ± 0,45 ^a	28,76 ± 0,27 ^A	0,58 ± 0,01 ^B
CT-E	0,46 ± 0,12 ^B	15,20 ± 0,29 ^B	1,21 ± 0,09 ^A

*Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si de acordo com teste de Tukey a 5% de significância.

**CB-I: Cultivo em blocos axênicos sem inóculo; CB-E: Cultivo em blocos axênicos exauridos; CT-I: Cultivo em toras sem inóculo; CT-E: Cultivo em toras exauridas.

A composição dos substratos lignocelulósicos é um dos fatores mais importantes que afetam o crescimento do micélio, o rendimento do cogumelo e sua qualidade nutricional (REZAEIAN; POURIANFAR; DOWOM, 2021). Neste sentido, Peralta et al. (2017) afirmam que as enzimas produzidas pelos fungos hidrolizam a celulose, a hemicelulose e a lignina e as decompõe de modo que o fungo possa se desenvolver. Assim, a degradação da lignina é um pré-requisito para que o *L. edodes* acesse a celulose e a hemicelulose

para obtenção de monossacarídeos (RAJARATHNAM; BANO, 1998). Aditivamente, o *L. edodes*, por ser um fungo lignocelulolítico, é capaz de fragmentar a lignina pela ação das ligninases, o que gera moléculas menores de lignina (ANDRADE et al., 2009). Isto a torna mais solúvel, o que justifica a redução do teor de lignina durante a fermentação de CB e de CT. No entanto, a lignina solúvel aumentou no caso de CT, mas reduziu no caso da CB, o que pode ser atribuído a matriz biológica mais integrada da CT quando comparada a CB (serragem de eucalipto, farelo arroz e casaquinha de soja). Assim, conforme a lignina é degradada, essas frações menores são incorporadas pelo shiitake para sua metabolização para desenvolvimento do corpo de frutificação.

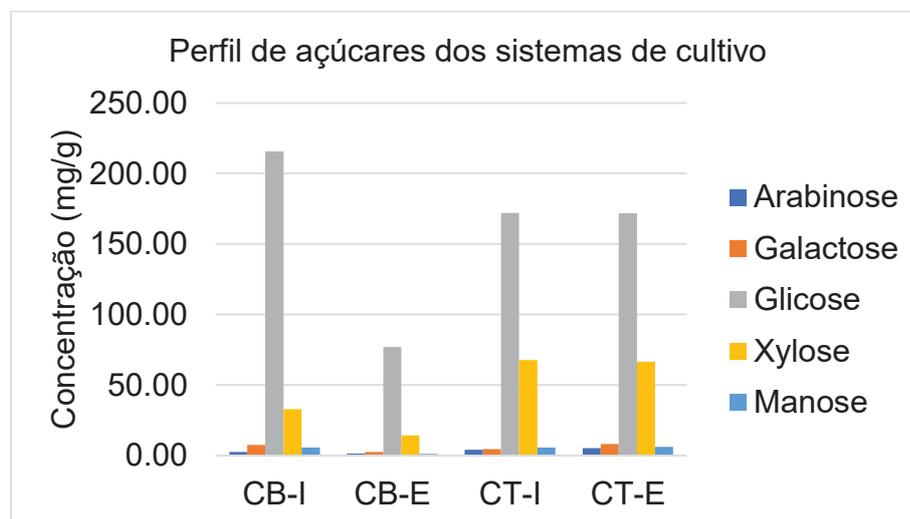
4.2. PERFIL DE AÇÚCARES DO HIDROLIZADO ÁCIDO DOS SUBSTRATOS DE CULTIVO ANTES E DEPOIS DA PRODUÇÃO DE SHIITAKE

A hidrólise do material lignocelulósico permitiu a remoção da lignina e a produção de um hidrolisado contendo os monossacarídeos formadores dos polissacarídeos dos sistemas de cultivo; blocos axênicos (CB) e em toras (CT). A glicose foi preponderante para ambos os casos (Figura 10), o que é atribuído à quantidade majoritária de celulose nos tecidos de árvores (FRANCO et al., 2019). A celulose e a hemicelulose estão associadas por interações moleculares formando uma estrutura coesa (CARVALHO et al., 2009).

A hemicelulose é um polissacarídeo composto por diversos monossacarídeos, com destaque para xilose, manose, galactose, arabinose e ramnose (GONÇALVES et al., 2006). O teor de xilose foi maior no CT do que na CB, o que é compatível com a grande quantidade relativa dessa pentose em hidrolisados (CONVERTI, DEL BORGHI, 1998). A glicose foi a grande fonte de carbono usado pelo shiitake crescido no CB, o que não foi observado no cultivo em CT. Aparentemente, a hidrólise ocorre de modo mais restritivo devido a matriz biológica, similarmente ao observado para os

extrativos, o que faz que o consumo seja homogêneo para os diversos monossacarídeos.

FIGURA 9 - PERFIL DE AÇÚCARES DO HIDROLISADO DOS SISTEMAS DE CULTIVO DE SHIITAKE



Fonte: Autor (2021)

*CB-I: Cultivo em blocos axênicos sem inóculo; CB-E: Cultivo em blocos axênicos exauridos; CT-I: Cultivo em toras sem inóculo; CT-E: Cultivo em toras exauridas.

4.2.1. ANÁLISE ELEMENTAR E MINERAL DOS SUBSTRATOS SEM INÓCULO E APÓS EXAUSTÃO

A composição elementar de blocos axênicos (CB) sem inóculo (-I) foi igual ($p > 0,05$) ao exaurido (-E), exceto para o teor de carbono (Tabela 6). Assim, o teor de carbono do CB-E foi cerca de 10% inferior ao CB-I. Isso pode ser atribuído ao uso do carbono para sua frutificação. Para o cultivo em toras, a diferença ocorreu para o teor de enxofre, bem como a relação C/N. No caso do enxofre, a formulação do CB com sulfato de cálcio (gesso) é a razão. Ainda, a redução da relação C/N é compatível com a emissão de CO_2 decorrente do metabolismo aeróbico (ATILA, 2019).

TABELA 6 - COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DOS SUBSTRATOS DE CULTIVO CT E CB

Parâmetros	Cultivo em blocos axênicos	Cultivo em toras
------------	----------------------------	------------------

	CB-I	CB-E	CT-I	CT-E
C (%)	41,51 ± 1,28 ^a	37,41 ± 1,93 ^b	43,68 ± 0,53 ^A	43,64 ± 0,86 ^A
H (%)	9,60 ± 0,78 ^a	8,96 ± 1,03 ^a	10,30 ± 0,61 ^A	10,36 ± 0,71 ^A
N (%)	0,66 ± 0,06 ^a	0,57 ± 0,00 ^a	0,24 ± 0,01 ^B	0,61 ± 0,01 ^A
S (%)	0,43 ± 0,09 ^a	0,57 ± 0,03 ^a	0,14 ± 0,04 ^A	0,07 ± 0,01 ^B
O (%)	47,79 ± 2,12 ^a	52,48 ± 2,88 ^a	45,62 ± 1,10 ^A	45,30 ± 1,45 ^A
Relação C/N (%)	62,89 ± 1,85 ^a	65,64 ± 1,04 ^a	177,08 ± 2,15 ^A	70,77 ± 0,78 ^B

*Letras iguais na mesma linha não diferem entre si de acordo com teste de Tukey a 5% de significância.

**CB-I: Cultivo em blocos axênicos sem inóculo; CB-E: Cultivo em blocos axênicos exauridos; CT-I: Cultivo em toras sem inóculo; CT-E: Cultivo em toras exauridas.

O substrato pode influenciar o valor nutricional e o conteúdo dos componentes bioativos dos cogumelos cultivados (ATILA et al., 2017; CARRASCO et al., 2018; RATHORE et al., 2020). Cheung (2005) e Wang et al. (2013) afirmaram que a razão C/N é de extrema importância e que para que ocorra o crescimento micelial vegetativo deve-se ter uma razão C/N de 25, enquanto que para a fase de produção essa razão deve ser de 40 a 73. O valor C/N para o CB-I estava nesta amplitude, mas o CT-I apresenta valor muito maior, quase o triplo. Assim, é esperado que o teor de compostos bioativos deve ser mais favorável para cultivo em CB-I.

No entanto, de acordo com a *United States Department of Agriculture* (USDA, 2016), é normal ter valores elevados para a razão C/N, assim como o encontrado para CT-I (177,08%). Da mesma forma, Andrade et al. (2011) relataram que essa relação também é alta (aproximadamente 200/1) para uso de eucalipto como meio de cultivo.

A redução da razão C/N durante o ciclo de produção de cogumelos está amplamente associada ao consumo constante de materiais lignocelulósicos contendo carbono, ou seja, a perda de peso do substrato e liberação de CO₂ através do processo de respiração, juntamente com um aumento do conteúdo de proteína durante o crescimento do cogumelo no substrato (ATILA, 2019). Assim, após a fermentação, a relação C/N das toras (CT-E) teve uma redução de 60,03%, enquanto que houve um aumento, 4,37% para os blocos axênicos (CB-E), o que é compatível com a presença de resíduos miceliais retidos neste substrato.

Bach et al. (2018) afirmaram que a maior biodisponibilidade de N nos

blocos axênicos (CB) pode fornecer maiores teores de proteínas aos corpos de frutificação, porém o presente estudo não confirmou essa hipótese. Além de fornecer um cogumelo mais proteico, Özçelik e Peksen (2007) e Philippoussis, Diamantopoulou, Israilides (2007) afirmaram que a taxa de crescimento e a eficiência biológica do *L. edodes* está relacionada à biodisponibilidade de nitrogênio e é um fator limitante para o crescimento desse cogumelo. Atila et al. (2017) confirmaram que o aumento da relação C/N influencia significativamente o aumento micelial.

Rezaeian, Pourianfar e Dowom (2021) estudaram as mudanças químicas e bioquímicas de substratos após cultivo do cogumelo enoki e perceberam significativo aumento em suas composições de minerais após os cultivos. Assim, como a composição elementar, a composição mineral (Tabela 7) é outro fator bastante importante para desenvolvimento micelial e frutificação dos cogumelos. Jonathan, Fasidi e Ajay (2004) relataram que minerais como Ca, Mg, K, Cu e Zn são necessários para alto rendimento micelial e produção de corpo de frutificação dos cogumelos em toras ou blocos axênicos.

Tanto nos cultivos CT como CB, revelaram que os minerais aumentaram significativamente, o que foi atribuído à presença de micélios residuais (LOU et al., 2017), mas que é também decorrente de suas concentrações devido a emissão de matéria, CO₂ pela respiração (ATILA, 2019). No cultivo de toras, todos minerais tiveram suas concentrações aumentadas ($p < 0,05$), exceto o K, que teve uma redução significativa, perdendo 51,42% deste macromineral, o que pode ser atribuído a sua incorporação ao corpo de frutificação. Essa hipótese poderá ser confirmada na caracterização mineral deste cogumelo.

TABELA 7 - COMPOSIÇÃO MINERAL DOS SUBSTRATOS DE CULTIVO

Minerais	CB-I	CB-E	CT-I	CT-E
P (g/kg)	2,85 ± 0,24 ^b	4,50 ± 0,33 ^a	0,29 ± 0,03 ^A	0,31 ± 0,02 ^A
K (g/kg)	2,12 ± 0,23 ^b	4,20 ± 0,36 ^a	1,05 ± 0,21 ^A	0,51 ± 0,04 ^B
Ca (g/kg)	25,92 ± 0,85 ^b	41,81 ± 0,18 ^a	5,22 ± 0,67 ^B	12,58 ± 0,67 ^A
Mg (g/kg)	3,76 ± 0,10 ^b	5,18 ± 0,13 ^a	0,61 ± 0,03 ^B	2,78 ± 0,15 ^A

Cu (g/kg)	11,00 ± 0,71 ^a	8,00 ± 1,00 ^a	4,00 ± 0,00 ^B	20,33 ± 0,71 ^A
Fe (mg/kg)	1362,66 ± 49,50 ^b	2893,33 ± 44,55 ^a	51,33 ± 0,00 ^B	168,00 ± 4,95 ^A
Mn (mg/kg)	261,33 ± 0,00 ^b	522,66 ± 4,95 ^a	107,33 ± 17,96 ^B	420,00 ± 49,50 ^A
Zn (mg/kg)	61,33 ± 1,41 ^b	81,66 ± 10,60 ^a	33,00 ± 6,00 ^A	45,33 ± 4,95 ^A

*Letras iguais na mesma linha não diferem entre si de acordo com teste de Tukey a 5% de significância.

**CB-I: Cultivo em blocos axênicos sem inóculo; CB-E: Cultivo em blocos axênicos exauridos;
CT-I: Cultivo em toras sem inóculo; CT-E: Cultivo em toras exauridas.

4.3. CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR E NUTRICIONAL DO SHIITAKE

4.3.1. CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR DO SHIITAKE

O carbono (C) é o principal constituinte celular em base seca (BACH et al., 2018), o que é compatível com a matéria viva, bem como há alta contribuição de H e S. Todos os elementos e a relação C/N (Tabela 8) foram diferentes ($p < 0,05$). Apesar da diferença de C e H para ambos os cogumelos, a ordem de grandeza é bastante similar, o que não ocorre para N e S. O shiitake-CT possui 50% maior relação C/N do que o shiitake-CB, enquanto que o S para o shiitake-CB é 153% maior do que o shiitake-CT. O N está principalmente relacionado com proteínas, mas também a outros componentes nitrogenados. Similarmente, S é componente de aminoácidos proteicos, mas também compõe outros compostos. Estes resultados sugerem que o anabolismo celular é dependente do tipo de matriz do sistema de cultivo.

TABELA 8 - COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DOS SHIITAKES CULTIVADOS EM TORAS E BLOCOS AXÊNICOS

Parâmetros	CT	CB
N (%)	2,34 ± 0,06 ^b	3,58 ± 0,01 ^a
C (%)	42,38 ± 0,02 ^b	42,2 ± 0,02 ^a
H (%)	9,38 ± 0,02 ^b	9,79 ± 0,21 ^a
S (%)	0,68 ± 0,02 ^b	1,04 ± 0,04 ^a
O# (%)	44,55 ± 0,27 ^a	43,38 ± 0,05 ^b
C/N (%)	18,14 ± 0,48 ^a	11,78 ± 0,05 ^b

n = 3; *Letras iguais na mesma linha não diferem entre si de acordo com teste de Tukey

a 5% de significância

**CB: Cultivo em blocos axênicos; CT: Cultivo em toras;

calculado como valor complementar para 100%

4.3.2. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO SHIITAKE

A composição química dos cogumelos é diretamente influenciada pela composição química de seu sistema de cultivo, fator que permite o acúmulo de determinados macros e micronutrientes (BENTO; CASARIL, 2012). Houve diferença ($p < 0,05$) dos componentes da composição centesimal do shiitake para os blocos axênicos (shiitake-CB) e as toras (shiitake CT). O teor de proteína do shiitake-CT foi 10% maior do que o shiitake-CB, o que foi inverso do observado de teor de N na análise elementar (53% maior para o shiitake-CB). Assim, o N não deve estar diretamente relacionado a compor as moléculas de proteínas, podendo compor outras moléculas (p. ex., DNA e RNA) e íons (p. ex., NH_4^+) (DAMODARAN, PARKIN, 2018). Dentro deste contexto, a modulação metabólica pode estar sendo condicionada por parâmetros diversos, até mesmo micronutrientes usados por este cogumelo. Shiitake de CT apresentou 29% mais cinzas, o que foi considerado inesperado no primeiro momento devido a maior fragmentação da matriz de CB e a maior disponibilidade de minerais; P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn (Tabela 7). Por outro lado, a biodisponibilidade pode estar relacionada à forma que o componente está associado à matriz biológica, sendo que madeira é seu substrato natural (SILVA et al., 2010). O teor de proteínas (Tabela 9), um componente fundamental para alimentação, sendo essencial para a disponibilidade balanceada para a opção vegana, e a fração das β -Glucanas, fibras alimentares solúveis, um protetor da saúde humana (SALDANHA, MARTINS, DE NARDI JUNIOR, 2018) é mais abundante também. Assim, shiitake podem ser preferencialmente produzidos com uso de toras de carvalho. O teor de carboidrato foi baixo, estimado como componente residual depois de descontado proteína, lipídios, fibras e cinzas, o que pode justificar sua baixa contribuição nos níveis glicêmicos (DU et al., 2015). Ainda, a disponibilidade energética baixa ($4 \times \text{proteína} + 4 \times \text{carboidrato} + 9 \times \text{lipídios}$) também pode ser conveniente para controle de peso (BENASSI,

WATANABE, LOBO, 2001), sendo que shiitake-CB foi 10% maior do que shiitake-CT. Por último, o elevado teor de fibras alimentares caracteriza o shiitake como uma fonte alimentar de fibras, o que será detalhado na discussão de produção de cookies, alimento escolhido para seu uso.

TABELA 9 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DOS SHIITAKE EM BASE SECA CULTIVADO EM BLOCOS AXÊNICOS E AS TORAS

Componente, g/100g	CT	CB
Umidade [#]	89,10 ± 0,21 ^b	90,56 ± 0,15 ^a
Cinzas	7,88 ± 0,05 ^a	5,59 ± 0,08 ^b
Proteínas	20,22 ± 0,05 ^a	18,40 ± 0,06 ^b
Lipídeos	4,76 ± 0,06 ^a	5,67 ± 0,14 ^a
Fibras Totais	64,38 ± 1,49 ^a	64,32 ± 0,16 ^a
Fibras Insolúveis	58,27 ± 1,11 ^a	43,18 ± 0,27 ^a
Fibras Solúveis	6,11 ± 0,37 ^a	21,14 ± 0,10 ^a
β-Glucanas	5,03 ± 0,07 ^a	3,19 ± 0,07 ^b
Carboidratos	2,76 ± 1,41 ^a	6,01 ± 0,08 ^a
Energia (kcal)	134,76	148,71

[#]em base úmida. *Letras iguais são iguais (Tukey a 5%). **CB: Cultivo em blocos axênicos; CT: Cultivo em toras.

Bach et al. (2017) relatou teores similares de proteínas para shiitake cultivados em blocos axênicos, 18,87%, mas teores menores de lipídios, sendo 3,4 vezes menores para CT (4,76g/100g) e 4,05 vezes menores para CB (5,67g/100g). O teor de cinzas relatado para CT (7,88g/100g) foi 11% menor ao presente estudo, enquanto que foram 57% maior para o CB.

Essas diferenças nutricionais além de serem relacionadas aos sistemas de cultivo, pode ser também relacionada à escolha do inoculo e sua pré-adaptação ao sistema de cultivo. Pois é uma etapa essencial para seu desenvolvimento, uma vez tendo uma cepa bem adaptada, essa irá conseguir converter melhor os nutrientes do sistema de cultivo e poderá até mesmo ter maior capacidade nutricional (GAITÁN-HERNANDEZ, CORTÉS, MATA, 2014; SAVOIE et al., 2000)

4.3.3. COMPOSIÇÃO MINERAL

Componentes macro e microminerais (Tabela 10) auxiliam na

manutenção da qualidade de vida das pessoas (HENRIQUE et al., 2018). Apesar de haver maior teor de cinzas para Shiitake-CT (Tabela 9), o teor de P e Ca foram iguais ($p > 0,05$) e os demais macro e micronutrientes foram maiores para o CB. Logo, a hipótese de que as toras possam ser melhor substrato deve ser reconsiderado no caso da opção de melhor fonte de minerais. O teor de K, Mg, Cu e Fe em Shiitake-CB foi 42%, 38%, 100% e 38%, respectivamente, maior do que para Shiitake-CT. Isto comprova que o uso de um sistema de cultivo enriquecido com minerais é essencial para que os corpos de frutificação também o sejam. Estudos futuros com uso de toras enriquecidas com minerais por imersão pode ser essencial para obter shiitake ricos em proteínas e β -Glucanas, bem como com os minerais contidos na solução de imersão.

TABELA 10 - MACRO E MICRO MINERAIS DOS COGUMELOS

Minerais	CT	CB
P (g/kg)	3,29 \pm 0,11 ^a	3,74 \pm 0,43 ^a
K (g/kg)	16,21 \pm 0,49 ^b	23,1 \pm 0 ^a
Ca (g/kg)	2,34 \pm 0,18 ^a	2,02 \pm 0,18 ^a
Mg (g/kg)	0,96 \pm 0,02 ^b	1,33 \pm 0,07 ^a
Cu (g/kg)	4,33 \pm 0,57 ^b	8,66 \pm 0,57 ^a
Fe (mg/kg)	97,5 \pm 0,35 ^b	135,33 \pm 0 ^a
Mn (mg/kg)	144,66 \pm 0 ^a	34,33 \pm 1,76 ^b
Zn (mg/kg)	57 \pm 0 ^b	232 \pm 0 ^a

*Letras iguais na mesma linha não diferem entre si de acordo com teste de Tukey a 5% de significância

**CB: Cultivo em blocos axênicos; CT: Cultivo em toras.

4.4. TERMOLABILIDADE DO SHIITAKE SECO

A análise simultânea de perda de massa (TGA) e de troca energética (DSC) de cogumelos previamente secos em estufa até massa constante revelou comportamentos similares. As curvas de DSC para o shiitake-CB e shiitake-CT (Figura 11) revelaram uma fase endotérmica ($Q < 0$), compatível com a evaporação de umidade, e uma exotérmica ($Q > 0$), compatível com termodecomposição (TSAI et al., 2018). A temperatura de início de mudança de fase (T_{onset}) baixa, cerca de 22°C (Tabela 11), confirmou a fácil perda de

umidade das amostras maceradas devido à necessidade da realização analítica. Assim, a umidade do interior dos tecidos dos cogumelos não tem retenção das barreiras biológicas de proteção de perda de água do fruto (URBEN, 2017). A temperatura de pico (T_{pico}) possibilitou estimar a velocidade máxima da evaporação a 41°C, bem como a maior demanda de energia ($\Delta H_{\text{endotérmica}}$) para Shiitake-CB, 58% maior do que o Shiitake-CT. Essa grande diferença não era esperada por se tratar de um tecido de uma mesma espécie (*Lentinula edodes*). No entanto, essa diferença pode estar associada à variação anatômica e bioquímica dos dois shiitake.

A partir de cerca de 96°C ocorre uma mudança de fluxo energético, decorrente da atmosfera de nitrogênio. Quanto a fase exotérmica, a T_{onset} fica mais difícil de definir devido a fenômenos exotérmicos (descontado de eventos endotérmicos de baixa intensidade para ativação de reação), o que justifica a grande diferença observada (94,03 versus 174,83°C), o que é confirmado pela T_{pico} (313,90 versus 467,39°C). O shiitake-CB libera mais energia por unidade de massa (20%), o que faz crer que há diferenças bioquímicas dadas pelas suas moléculas, conforme verificado na composição centesimal, embora com 10% a mais apenas (Tabela 9). Logo, isto confirma que meio de cultivo influencia na formação bioquímica do corpo de frutificação do shiitake.

FIGURA 10 - CURVAS DE DSC PARA OS COGUMELOS CULTIVADOS EM: (A) SUBSTRATO E (B) TORAS.

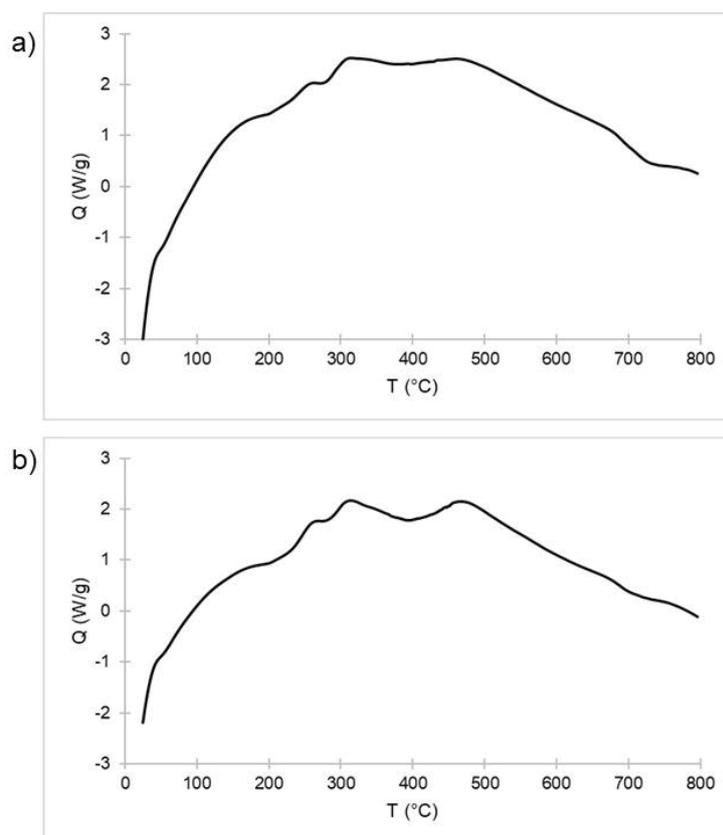


TABELA 11 - PARÂMETROS DE DSC PARA OS COGUMELOS CULTIVADOS EM SUBSTRATO E TORAS

Amostra	Shiitake-CB	Shiitake-CT
Massa (mg)	9,123	12,746
T _{onset} endotérmica (°C)	21,75	22,04
T _{pico} endotérmica (°C)	41,15	41,78
Diferença de entalpia endotérmica (J/g)	233,16	147,45
T de mudança de endo para exotérmico	95,40	94,80
T _{onset} exotérmica (°C)	94,03	174,83
T _{pico} exotérmica (°C)	313,90	467,39
Diferença de entalpia exotérmica (J/g)	6410,4	5330,6

Em relação as análises termogravimétricas (TGA), a variação mássica de perda de água foi estimada entre 20 e 150°C (Figura 9), e sua baixa intensidade (decréscimo suave para a TGA e pouco evidente e com queda suave na dTGA) está relacionada a uma baixa fração de água livre na amostra (XUE et al., 2019). Os cogumelos não apresentaram degradação térmica em temperaturas menores que 200°C (Figura 12 – sem perda clara de massa e sem geração de energia), reforçando a hipótese de Forero et al. (2016). Esta propriedade é desejável para posteriores operações e suas aplicações em alimentos que sofrem processos de aquecimento (BRUMATTI, 2019). A diminuição significativa de massa é observada entre 150 e 400°C pode ser associada a diversas reações químicas de degradação sofridas pelos compostos orgânicos presentes nas amostras, como, por exemplo, as reações de descarboxilação e desidroxilação observadas em polissacarídeos (FORERO et al., 2016; XUE et al., 2019).

Logo, a secagem destes cogumelos deve ser realizada com cuidado para não ultrapassar as condições de degradação, que no caso da presença de oxigênio do ar deve ser ainda menor que 150°C, por exemplo até 60°C, conforme descrito por Wakachaure et al. 2010. A massa residual a 800°C do shiitake-CT foi 6% maior do que o shiitake-CB, o que pode ser decorrente da formação de carvão residual devido a maior resistência de suas biomoléculas ou o maior teor de cinzas (Tabela 9). A variação de massa do shiitake-CB foi 2,5% maior do que shiitake-CT, comprovando essa hipótese, enquanto que as T_{pico} de pirólise foram similares (Tabela 16), o que pode ser atribuído ao mesmo padrão de decomposição molecular já descrita.

FIGURA 11 - CURVAS DE TGA E DTG PARA OS COGUELOS CULTIVADOS EM: (A) SUBSTRATO E (B) TORAS.

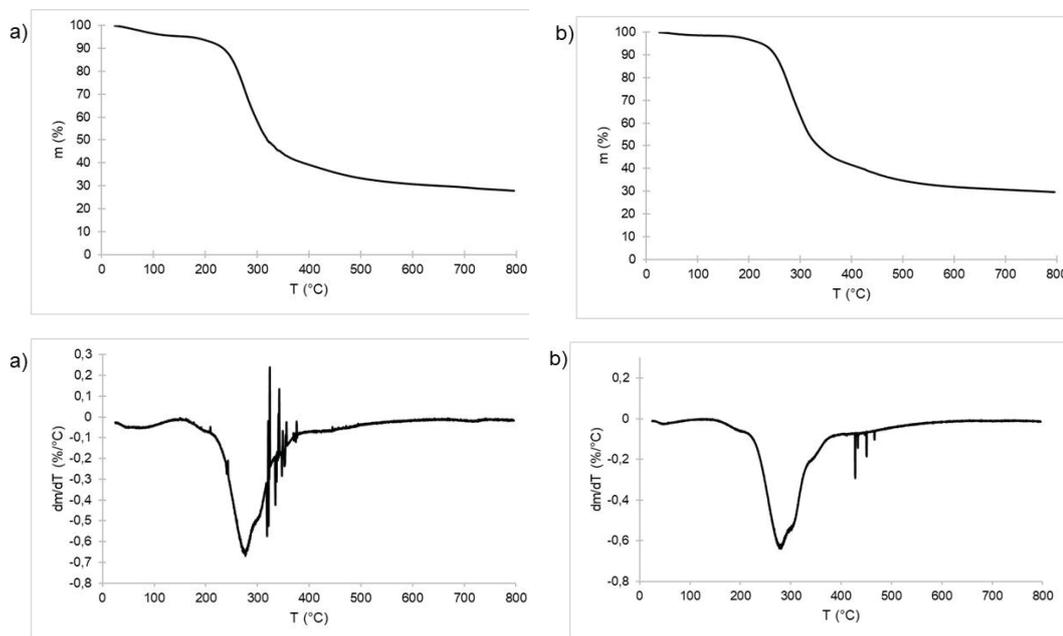


TABELA 12 - RESULTADOS DOS TESTES DE TGA E DTG PARA OS COGUELOS CULTIVADOS EM SUBSTRATO E TORAS.

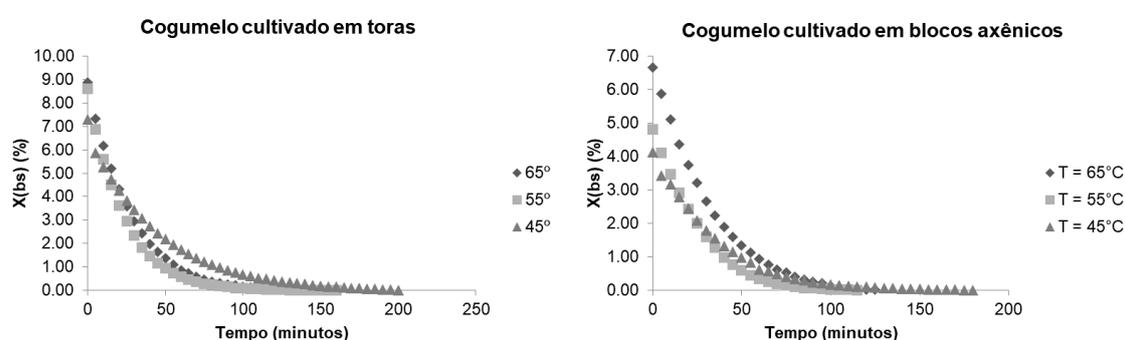
Amostra	shiitake-CB	shiitake-CT
$T_{\text{pico secagem}} (^{\circ}\text{C})$	47,23	22,00
$T_{\text{pico pirólise}} (^{\circ}\text{C})$	276,64	281,26
$\Delta_{\text{massa}} (\%)$	72,15	70,38
$m_{\text{residual}} (\%)$	27,85	29,62

4.5. CINÉTICA E MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE SHIITAKE EM ESTUFA CONVECTIVA DE FATIAS DE SHIITAKE

As curvas de cinética de secagem (Figura 13) são instrumentos importantes para desenvolvimento de processos para aumento da vida útil de alimentos. Os resultados mostraram que a temperatura de 45°C levou-se maior tempo para estabilização da umidade, porém quando se elevou a temperatura (55°C e 65°C), não foi observada diferença no tempo de secagem. Isso pode ser associado ao fato de que a uma temperatura maior

que 60°C inicia-se a degradação de componentes como proteínas e polissacarídeos (WAKACHAURE et al., 2010), o que leva a um certo aumento do tempo de secagem e por isso, teve equivalência com a secagem a 55°C. Pode também ser relacionado com as velocidades de difusão da água das camadas mais internas do tecido e de evaporação da água, que devem ser próximas da igualdade para esse nível de temperatura. Possivelmente, acima dessa temperatura haverá um fechamento dos poros dificultando a difusão de camadas mais internas e pode apresentar rachaduras superficiais

FIGURA 12 - EVOLUÇÃO DA SECAGEM DE SHIITAKE-CB E SHIITAKE-CT



Os 7 modelos matemáticos (Tabela 1) usados para explicar os dados experimentais (Tabela 13) revelaram coeficientes de determinação (R^2) variando entre 0,9530 e 0,9999. Isto também foi relatado por Macedo et al. (2020), Ouabou et al. (2020), Timm et al. (2019) para secagem cogumelos. Para o shiitake-CT, os maiores valores de R^2 foram observados para os modelos de Page e de Midilli. O uso da soma do quadrado do erro (SSE) e do erro quadrático médio (RMSE) confirmou que são os modelos com menores erros. Para o shiitake-CB, os maiores valores de R^2 foram observados para os modelos de Page e de Midilli, sendo que a soma do quadrado do erro (SSE) e o erro quadrático médio (RMSE) confirmaram que são os modelos por apresentarem menores erros. Assim, o Midilli pode ser usado para prever o comportamento da secagem do shiitake (Figura 14). Mesmo assim, os modelos matemáticos empíricos e semi-empíricos devem ser usados com cuidado (TIMM et al., 2019). É necessário avaliar o conjunto de dados, as amostras, os parâmetros do processo e os resultados esperados, observando as características específicas de cada caso.

FIGURA 13 - AJUSTE DO MODELO DE MIDILLI PARA O SHIITAKE-CB E SHIITAKE-CT

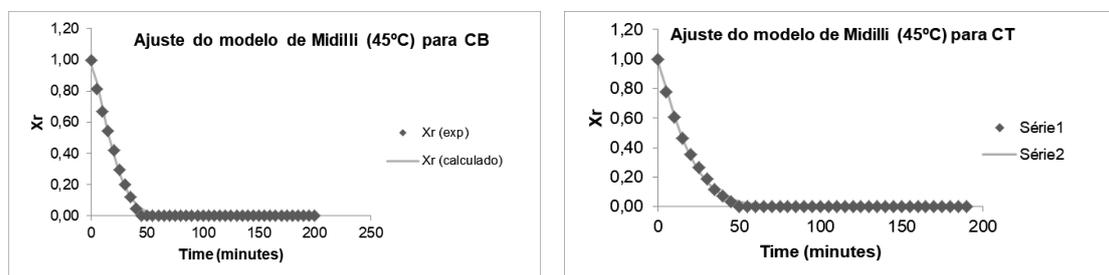


TABELA 13 - AJUSTES E CORRELAÇÕES DA MODELAGEM MATEMÁTICA

Modelo	T (°C)	Shitake-CT			Shiitake-CB		
		SSE	RMSE	R ²	SSE	RMSE	R ²
Page	45	2,12E-07	0,00000	0,9999	1,19E-02	3,09E-09	0,9949
	55	5,90E-03	7,93E-07	0,9971	4,68E-03	1,92E-05	0,9980
	65	9,21E-03	1,76E-11	0,9949	3,57E-03	5,39E-05	0,9986
Handerson e Pabis	45	2,13E-03	3,48E-34	0,9979	4,38E-02	1,46E-05	0,9811
	55	1,47E-02	3,08E-05	0,9927	2,45E-02	2,61E-04	0,9898
	65	2,96E-02	1,97E-06	0,9835	1,92E-02	2,67E-04	0,9925
Silva	45	4,93E-02	0,00000	0,9530	2,89E-02	2,39E-04	0,9922
	55	1,64E-02	2,21E-05	0,9933	3,08E-02	3,49E-04	0,9903
	65	3,28E-02	1,41E-06	0,9841	2,55E-02	4,20E-04	0,9926
Logarítmico	45	2,13E-03	2,76E-35	0,9979	4,38E-02	1,46E-05	0,9811
	55	1,47E-02	3,08E-05	0,9927	2,45E-02	2,61E-04	0,9898
	65	2,96E-02	1,97E-06	0,9835	1,92E-02	2,67E-04	0,9925
Midilli	45	1,81E-07	0,00E+00	1,0000	1,03E-02	1,96E-09	0,9956
	55	5,53E-03	1,66E-06	0,9972	4,07E-03	2,99E-05	0,9983
	65	8,73E-03	3,53E-11	0,9952	3,23E-03	6,40E-05	0,9987
Exponencial de Dois Termos	45	2,13E-03	1,24E-36	0,9979	5,08E-02	1,76E-05	0,9781
	55	1,64E-02	2,21E-05	0,9919	3,07E-02	3,50E-04	0,9872
	65	3,28E-02	1,41E-06	0,9818	2,55E-02	4,20E-04	0,9901
Dois Termos	45	2,13E-03	2,77E-35	0,9979	2,63E-02	2,99E-04	0,9905
	55	1,47E-02	3,08E-05	0,9927	2,45E-02	2,60E-04	0,9898
	65	2,96E-02	1,96E-06	0,9835	1,92E-02	2,67E-04	0,9925

**Shiitake-CB: Shiitake cultivado em blocos axênicos; Shiitake-CT:

Shiitake cultivado em toras;

4.6. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM EXTRATOS DE SHIITAKE CULTIVADOS EM TORAS E BLOCOS AXÊNICOS

O teor de compostos fenólicos totais tem sido associado à proteção da

saúde humana (MACHADO et al., 2021), sendo que o sistema de cultivo não influenciou ($p>0,05$) sua concentração neste estudo (Tabela 14). Os teores de compostos fenólicos para shiitake-CT (1,16 mg/g) e para shiitake-CB (1,18 mg/g) foram muitos inferiores ao relatado anteriormente para shiitake cultivado em toras (5,66 mg/g) (Bach et al. 2019). Essa diferença pode ser atribuída a muitos fatores, como estágio de maturação, época de colheita e sistemas de cultivo (RAYA et al., 2014), sendo que Bach et al. (2019), relatou o uso de cogumelos de segunda frutificação, enquanto o presente trabalho utilizou a última colheita (terceira). A terceira colheita é a última apanhadora devido à exaustão de recurso deste substrato, o que é compatível com a baixa quantidade de fenólicos.

Várias técnicas têm sido aplicadas para avaliar a capacidade antioxidante devido aos diversos princípios de reação, sendo comum utilizar mais do que uma metodologia (BACH et al., 2019). Assim, o extrato de shiitake-CB mostrou maior atividade 4,60 e 1,40 vezes maiores para ABTS e FRAP, respectivamente, enquanto que o shiitake-CT foi 3,28 vezes maior para DPPH. De modo geral, ambos os cogumelos apresentam atividade protetora na forma *in natura*.

TABELA 14 - COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COGUMELOS *IN NATURA*

Amostra	Fenólicos (mg de GAE/g de amostra seca)	ABTS (uMol de TE/g de amostra)	DPPH (uMol de TE/g de amostra)	FRAP (uMol de TE/g de amostra)
CT	1,16 ± 0,23 ^a	1,15 ± 0,63 ^b	0,95 ± 0,11 ^a	13,24 ± 0,60 ^b
CB	1,18 ± 0,20 ^a	5,30 ± 0,21 ^a	0,29 ± 0,00 ^b	18,66 ± 0,89 ^a

*Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si para Tukey ($p<0,05$)

**CB: Cultivo em blocos axênicos; CT: Cultivo em toras;

O teor de compostos fenólicos secos foi igual ($p>0,05$) para o mesmo tipo de cultivo (Tabela 15), sendo que o shiitake-CT foi 53% maior do que o shiitake-CB. Ainda, o processo de secagem aumentou o teor de compostos fenólicos em relação à forma *in natura*, sendo 4,30 vezes maior para o shiitake-CT e 3,02 vezes maior para o shiitake-CB. Em relação à atividade antioxidante, a temperatura de secagem influenciou ($p<0,05$) essa

propriedade para todos os sistemas analíticos, mas sem um padrão detectável. Os compostos fenólicos do shiitake-CT foram 1,43 vezes maior, mas o shiitake-CB foi maior para os demais parâmetros, sendo 3,04 vezes para o ABTS, 2,41 vezes para o DPPH e 1,13 vezes para o FRAP.

Quanto maior a temperatura de secagem aplicada no cogumelo cultivado em toras, menor ($p < 0,05$) foi sua atividade antioxidante ABTS e DPPH, tendo apenas aumento significativo ($p < 0,05$) para atividade FRAP. Para os cogumelos cultivados em blocos axênicos, um comportamento diferente foi observado. Ao se utilizar a temperatura de 45°C e 55°C, obteve-se os maiores valores para DPPH ($p > 0,05$) e uma redução de 1,35 vezes quando utilizou a secagem à 65°C.

TABELA 15 - COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE APÓS SECAGEM

	Fenólicos (mg de GAE/g de amostra seca)	ABTS (uMol de TE/g de amostra)	DPPH (uMol de TE/g de amostra)	FRAP (uMol de TE/g de amostra)
CT-45°	5,54 ± 0,72 ^a	22,38 ± 0,21 ^b	6,5 ± 0,48 ^a	18,67 ± 0,66 ^c
CT-55°	4,05 ± 0,56 ^a	24,79 ± 0,20 ^a	5,94 ± 0,79 ^a	23,01 ± 1,29 ^b
CT-65°	5,39 ± 0,96 ^a	9,39 ± 0,83 ^c	1,96 ± 0,68 ^b	26,9 ± 0,27 ^a
CB-45°	3,58 ± 0,79 ^A	61,14 ± 0,95 ^A	13,38 ± 0,71 ^A	33,03 ± 1,16 ^A
CB-55°	3,02 ± 0,88 ^A	51,96 ± 0,49 ^B	12,00 ± 0,71 ^A	22,14 ± 0,76 ^B
CB-65°	4,08 ± 0,14 ^A	62,12 ± 1,16 ^A	9,89 ± 1,08 ^B	23,7 ± 0,63 ^B

*Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si de acordo com teste de Tukey a 5% de significância

**CB: Cultivo em blocos axênicos; CT: Cultivo em toras;

4.7. QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE GLUCANAS

O uso de forma incorreta da temperatura pode acarretar na degradação de muitos nutrientes presentes nos alimentos (MING et al., 2020). As β -glucanas são os principais polissacarídeos encontrados nos cogumelos, os quais constituem aproximadamente 50% da parede celular dos fungos (VALVERDE, HERNÁNDEZ-PÉREZ & PAREDES-LÓPEZ, 2015). Esse potencial benéfico e importante à saúde faz com que seja também necessário avaliar se há perda durante o processo de secagem. A temperatura de secagem não provou diferença ($p > 0,05$) no teor de glucanas,

discriminando como α e β -glucanas (Tabela 16), para as temperaturas de secagem entre 45 e 65°C, exceto no caso de shiitake-CB para as temperaturas extremas de secagem. Reforçando a hipótese de que as glucanas não são degradadas facilmente. A caracterização nutricional dos cogumelos revelou valores ainda maiores para shiitake-CT *in natura* (5,03 g/100g), ou seja, 1,64 vezes maior do que a média das amostras secas entre 45 e 65°C, sendo que essa diferença pode ser atribuída à variação biológica. Usando o mesmo princípio para shiitake-CT, a relação seria 0,99, pois o teor de glucanas totais de shiitake-CB *in natura* foi muito similar (3,19 g/100g). Dentro disto, estudos futuros devem ser realizados para confirmar a maior dependência do estado das torras e realmente a situação crítica de exaustão de seus componentes essenciais para o metabolismo dos cogumelos formarem o corpo de frutificação.

TABELA 16 - TEOR DE GLUCANAS NO SHIITAKE SECO EM DIFERENTES TEMPERATURAS

	Glucanas Totais	α -glucanas	β -glucanas
CB-45°	3,62 ± 0,28 ^a	0,18 ± 0,00 ^a	3,53 ± 0,28 ^a
CB-55°	2,88 ± 0,18 ^a	0,09 ± 0,03 ^b	2,70 ± 0,18 ^a
CB-65°	3,18 ± 0,50 ^a	0,15 ± 0,01 ^{ab}	3,03 ± 0,49 ^a
CT-45°	3,13 ± 0,14 ^A	0,08 ± 0,00 ^A	3,06 ± 0,15 ^A
CT-55°	2,97 ± 0,30 ^A	0,09 ± 0,01 ^A	2,88 ± 0,29 ^A
CT-65°	3,10 ± 0,04 ^A	0,03 ± 0,00 ^B	3,01 ± 0,01 ^A

*Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si de acordo com teste de Tukey a 5% de significância

**CB: Cultivo em blocos axênicos; CT: Cultivo em toras;

Os cogumelos não possuem diferenças ($p > 0,05$) quanto aos teores de glucanas após a secagem. O cultivo influenciou nos teores de glucanas (Tabela 9) para as amostras *in natura*, porém com aplicação da secagem, fez com que esses valores ficassem iguais. Tendo significativa redução das glucanas dos cogumelos cultivados em toras. Timm et al. (2019), estudou a influência da temperatura de secagem na composição de fibras alimentares do *Lentinula edodes* e obteve resultados similares ao aqui obtidos. Além

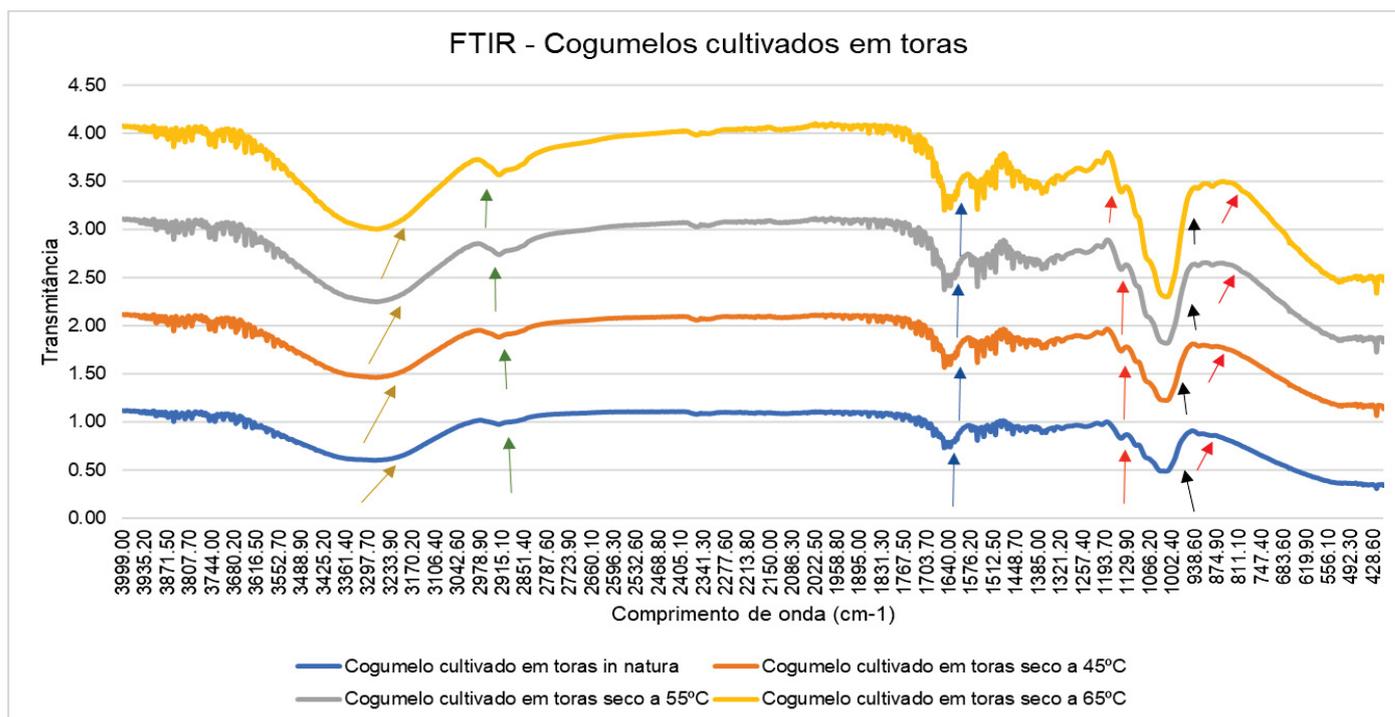
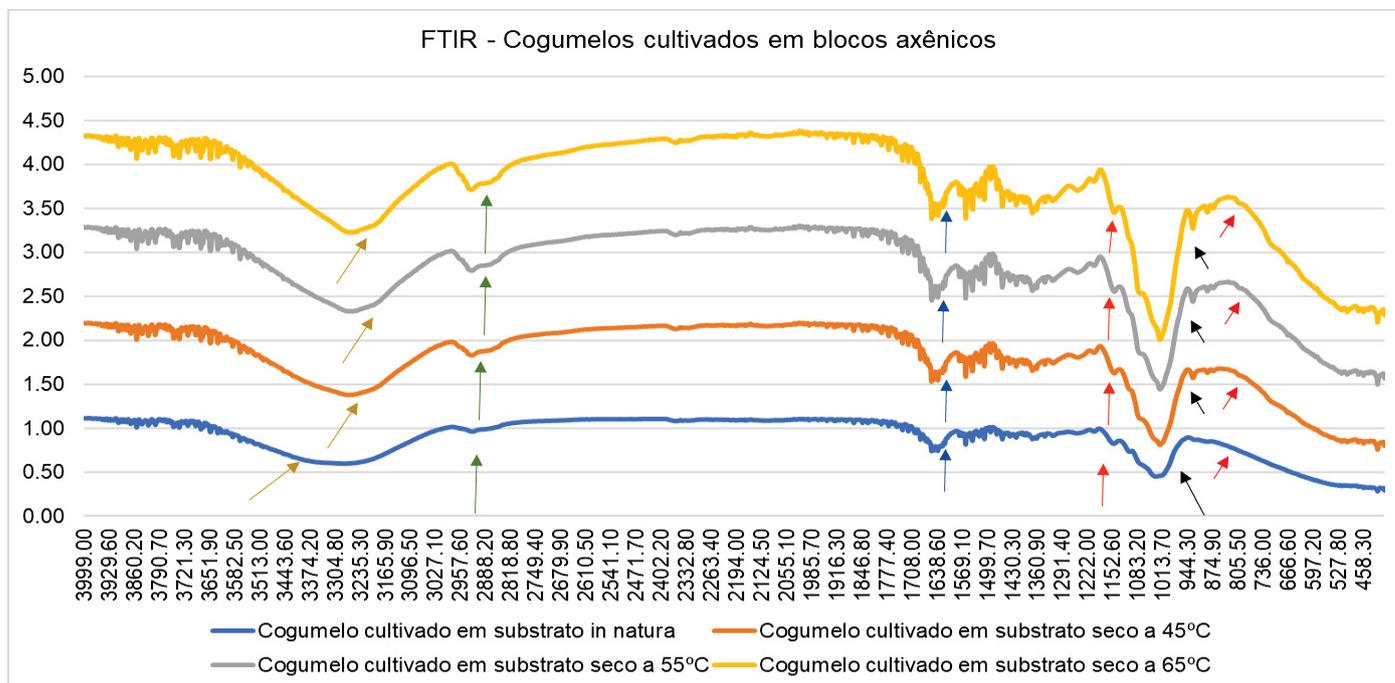
disso, confirmou que o aumento da temperatura não influenciou de maneira significativa no teor de fibras alimentares e glucanas.

Fernandes et al. (2015), afirma que os cogumelos podem fornecer 25% da ingestão de fibra dietética recomendada pelas organizações de saúde. O que nos leva a concluir que o processo de desidratação de *Lentinula edodes*, é viável para aumento da vida útil e como fonte de fibras alimentares.

4.8. PREPONDERÂNCIA DE LIGAÇÕES MOLECULARES DO SHIITAKE *IN NATURA* E SECO

A espectroscopia FTIR-ATR foi usada para avaliar possíveis alterações dos grupos funcionais das biomoléculas dos shiitake *in natura*, após secagem a 45, 55C e 65°C. A secagem não alterou o perfil espectral em relação à forma *in natura* (Figura 15) para ambos os sistemas de cultivo, logo a secagem até 65°C aparentemente não alterou as moléculas do cogumelo. Similarmente, os espectros das amostras shiitake-CT e shiitake-CB foram similares. Os espectros revelaram picos de absorção intensos em torno de 3420 cm^{-1} (seta ouro) correspondem a vibrações de alongamento OH e uma banda fraca em 2932 cm^{-1} (seta verde) para vibrações de alongamento CH, confirmando o relato de Li et al. (2018) e Yin et al. (2018). Absorções típicas de polissacarídeos, como vibrações em torno de 1650 cm^{-1} e 1450 cm^{-1} (seta azul) devido à vibração de alongamento CH, foram detectadas, bem como as vibrações de alongamento e flexão de COC e COH entre 1175 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} (seta laranja). A presença de anel piranose dos polissacarídeos foi revelado pelo sinal intenso em torno de 1050 cm^{-1} (seta preta) (EL ENSHASY E HATTI-KAUL; 2013). Por fim, o sinal em torno de 860 cm^{-1} (seta vermelha) corresponde a ligações β -glicosídicas (WANG et al. 2020) revela a presença também dos polissacarídeos. Alguns picos são intensificados quando se aumenta a temperatura de secagem, mas sem alterar o padrão. As elevadas taxas de absorções podem ser associadas a grande quantidade de umidade, essencialmente na amostra *in natura*, e proteínas presentes na amostra (NANDIYANTO, OKTIANI, RAGHADITA, 2019).

FIGURA 14 - ESPECTROS DE FTIR DOS COGUMELOS *IN NATURA* E SECOS



4.9. PERFIL DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DO SHIITAKE *IN NATURA* E SECO A DIFERENTES TEMPERATURAS

Foram identificados 81 compostos hidrofílicos e 9 lipofílicos com 19 classes orgânicas diferentes, sendo 15 classes hidrofílicas conhecidas e 1 composto não identificado. Similarmente, foram determinadas 3 classes lipofílicas, sendo 2 conhecidas e 1 desconhecida (Tabela 17 e 18). Para o shiitake-CT, a classe hidrofílica mais importante é de açúcares alcoólicos, sendo que a média para secagem 45°C e 55°C (86,9%) foi um pouco superior a shiitake-CT *in natura* (84,3%), mas bem superior ao seco a 65°C. Isto sugere degradação de carboidratos, como as β -glucanas.

Esta hipótese é reforçada pelo aparecimento de ácidos orgânicos a 65°C (sendo o triplo do observado para 45 e 55°C). Também foi observado um aumento de amina de 4 vezes maior do que a secagem 55°C e quase 10 vezes maior na forma *in natura*. Ainda, a secagem provocou redução severa de triterpenos para todas as temperaturas de operação. Para as classes lipofílicas, não foi possível estabelecer um padrão lógico de alteração, pois a secagem a 55°C e 65°C manteve a mesma grandeza para as três classes, enquanto que a secagem a 45°C aumentou a proporção de ácidos carboxílicos e reduziu a de ácidos α -hidróxidos e dos componentes da classe de compostos não identificados.

TABELA 17 - CLASSES DOS METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DO SHIITAKE CULTIVADO EM TORAS

Cogumelo cultivado em toras				
Classe dos compostos hidrofílicos ($\mu\text{g/g}$)	<i>in natura</i>	seco à 45°C	seco à 55°C	seco à 65°C
Açúcar amino	0,67	6,47	3,83	37,89
Amina	13,97	68,33	88,59	365,93
Aminoácido	21,72	34,65	68,02	89,05
Aromático	2,17	2,47	1,6	1,38
Nitrogênio Cíclico	0	0,58	1,67	5,73
Ciclitol	13,16	61,25	73,25	96,7
Nucleosídico	0,15	4,61	3,02	16,02
Ácido orgânico	30,45	59,78	69,78	196,44
Nitrogênio orgânico	0,18	16,92	23,75	21,74
Fenol	0	9,83	11,56	10,61
Fosfato	3,64	8,75	7,94	20,03
Açúcar	165,87	313,82	346,4	458,1
Açúcar ácido	0,91	4,83	5,75	7,85

Açúcar alcoólico	1692,6	5020,56	4434,2	3914,7
Triterpeno	59,35	53,5	36,01	39,95
Não identificado	3,13	15,72	16,7	14,43
Total (µg/g)	2007,97	5682,07	5192,07	5296,55
Classe dos compostos lipofílicos (µg/g)				
Ácidos carboxílicos	1343,03	40092,98	4641,04	2949,35
Não identificados	299,46	1239,13	1298,23	737,95
Ácidos α-hidróxidos	204,32	569,83	1005,53	436,13
Total (µg/g)	1846,81	41901,94	6944,8	4123,43

Para o shiitake-CB, a classe hidrofílica mais importante também foi de açúcares alcoólicos, sendo que a média para secagem 45°C e 55°C (63,7%) foi bem menor que a shiitake-CT *in natura* (95,2%), mas maior que para secos a 65°C (55,1%). Isto suporta a hipótese que o sistema de cultivo pode influenciar na termorresistência durante a secagem do cogumelo. As classes hidrofílicas mais importantes para o shiitake-CB também contempla amina, ácido orgânico açúcar, bem como ciclitol, o qual não era relevante para o shiitake-CT.

Em relação ao shiitake-CB *in natura* aumentaram os teores de amina, ciclitol e açúcar, enquanto que reduziram ácido orgânico e açúcar alcoólico. Para as classes lipofílicas do shiitake-CB, a proporção de ácidos carboxílicos reduziu e a proporção de ácidos α-hidróxidos aumentaram depois da secagem. Dentro do exposto, essa metodologia comprovou que alterações ocorrem durante a secagem e que não é evidenciada pelas técnicas anteriores. No entanto, isto não inviabiliza o uso do produto, mas é conveniente o uso de temperaturas de secagem mais amenas, como a 45°C.

TABELA 18 - CLASSES DOS METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DO SHIITAKE CULTIVADO EM BLOCOS AXÊNICOS

Cogumelo cultivado em blocos axênicos				
Classe dos compostos hidrofílicos (µg/g)	<i>in natura</i>	seco à 45°C	seco à 55°C	seco à 65°C
Açúcar amino	0,81	10,99	29,59	8,12
Amina	41,41	484,49	739,51	276,53
Aminoácido	65,62	47,16	66,27	16,29
Aromático	0	3,42	2,13	0,14
Nitrogênio Cíclico	0	4,52	13,94	2,51
Ciclitol	26,87	125,1	104,82	75,03

Nucleosídico	0	5,3	23,64	11,06
Ácido orgânico	124,97	34,87	74,2	35,29
Nitrogênio orgânico	0,14	34,52	44,32	9,42
Fenol	0	8,51	8,23	6,24
Fosfato	23,46	12,86	33,73	2,59
Açúcar	81,19	240,56	377,9	132,84
Açúcar ácido	4,1	17,21	26,03	14,26
Açúcar alcoólico	7689,2	5145,97	5148,64	4450,37
Triterpeno	0	30,57	4,59	2,27
Não identificado	18,41	20,67	23,51	9,06
Total (µg/g)	8076,2	6226,72	6721,05	5052,02
Classe dos compostos lipofílicos (µg/g)				
Ácidos carboxílicos	1834,7	3429,4	3214,58	2602,95
Não identificados	361,64	852,56	602,39	522,01
Ácidos α-hidróxidos	0,05	491,44	399,64	240,95
Total (µg/g)	2196,4	4773,4	4216,61	3365,91

4.10. DESENVOLVIMENTO DA FARINHA FUNCIONAL DE SHIITAKE SECO A 45°C

Para a elaboração das farinhas os cogumelos utilizados foram os cultivados em toras de carvalho, por conter mais proteínas, fibras e glucanas, e secos 45°C para minimizar perdas de nutrientes bioativos e alterações moleculares em geral. Os cogumelos secos foram moídos para produzir uma farinha na granulometria de peneira de 28 mesh. A composição nutricional (Tabela 19) da farinha de shiitake-CT apresentou valores bem superiores para proteínas (3,17 x) e fibras (3,58 x) do que a farinha funcional proposta com sorgo, sem glúten, desenvolvida por Marston, Khouryieh e Aramouni (2016). Aditivamente, a farinha deste cogumelo apresentou 1,29 vezes menos lipídeos, o que favorece aplicação alimentar para redução de valor calórico. O elevado teor de proteínas (18,94 g/100g) e fibras alimentares (53,71g/100g) da farinha deste cogumelo caracteriza-o como alimento funcional segundo a RDC 269:2005 (BRASIL, 2005), pois preve que uma pessoa adulta deve ter uma ingestão diária de 50g/100g de proteínas, e a RDC 54:2012, que considera que um alimento pode ser considerado uma fonte de fibras alimentares se tiver no mínimo 6% (BRASIL, 2012).

TABELA 19 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA FARINHA FUNCIONAL DE SHIITAKE

Farinha funcional de shiitake	
Cinzas	4,99 ± 0,04
Proteínas	18,94 ± 0,52
Fibras Insolúveis	51,09 ± 0,91
Fibras Solúveis	2,63 ± 1,63
Fibras Totais	53,71 ± 4,83
Lipídeos	2,36 ± 0,19
Carboidratos	20,0 ± 4,63

*Valores em g/100g de amostra seca

4.11. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA – IAA, SA, CAO

4.11.1. Índice de absorção de água

Porte et al. (2011) afirma que a absorção de água das farinhas de origem vegetal está associada ao seu teor de fibras alimentares. Assim, quanto maior o teor de fibras, maior será sua capacidade de absorver água. Portanto, a análise do IAA é essencial para determinar o nível de sua adição em produtos cárneos, pães e bolos, sendo que a adição de água a fim de facilitar o manuseio da massa e evitar seu ressecamento durante o armazenamento pode ser realizado de modo confiável (PORTE et al., 2011). Para a farinha de shiitake-CT, o índice de absorção de água (IAA) da (Figura 16) foi de 6,38%g/g, sendo 3,0 vezes maior do que para farinha de maracujá e 7,5 vezes maior do que para farinha de aveia (SANTANA, OLIVEIRA FILHO E EGEEA, 2017).

4.11.2. Solubilidade da farinha em água

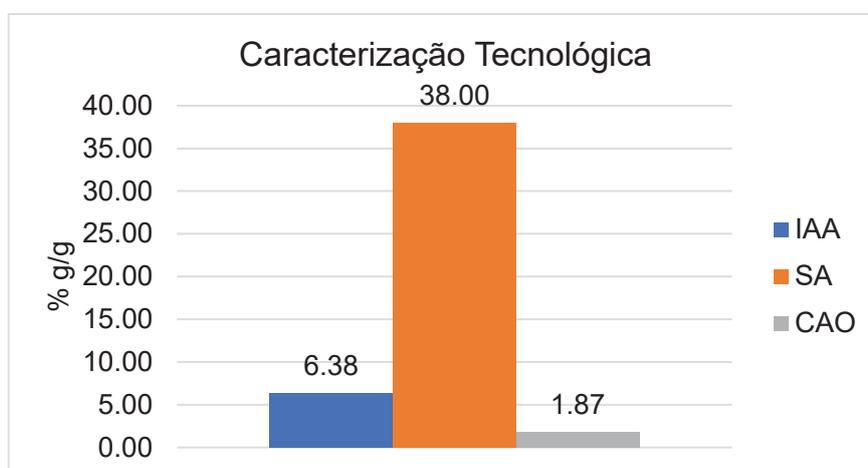
A farinha que possui elevada solubilidade em água é ótima para aplicação em alimentos que requerem baixas temperaturas em seu preparo ou para formulações de produtos instantâneos como sopas, molhos e sobremesas, uma vez que requerem ingredientes com maiores solubilidades (LEONEL, FREITAS, MISCHAN, 2009). O valor de solubilidade da farinha em água (AS) (Figura 16) foi de 38%g/g, sendo 2,5 vezes maior que os valores

encontrados para a farinha de linhaça dourada (SANTANA, OLIVEIRA FILHO E EGEEA, 2017).

4.11.3. Capacidade de absorção de óleos

Rodriguez-Ambriz et al. (2005) afirma que alta capacidade de absorção de óleos (CAO) melhora a palatabilidade do alimento conferindo propriedades adequadas de consistência, viscosidade e adesão, tornando a qualidade da textura melhor e facilitando seu uso como ingredientes análogos ou substitutos em formulações de alimentos. A CAO das farinhas (Figura 16) pode estar relacionada à presença de grupos hidrofóbicos expostos das proteínas (DENCH, RIVAS e CAYGILL., 1981; SANTANA, OLIVEIRA FILHO e EGEEA, 2017). A CAO da farinha deste cogumelo aqui encontrada foi de 1,87% g/g, valor este que é 32% menor do que o valor relatado para a farinha de aveia (SANTANA, OLIVEIRA FILHO E EGEEA, 2017)

FIGURA 15 - ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA, SOLUBILIDADE EM ÁGUA E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÓLEO



4.12. CARACTERIZAÇÃO CENTESIMAL DOS COOKIES COM OU SEM ADIÇÃO DE FARINHA DE SHIITAKE-CT

A produção de cookies com farinha de shiitake-CT como substituto funcional da farinha de arroz apresentou o mesmo nível de facilidade. Os cookies com farinha de cogumelo apresentaram maiores teores ($p < 0,05$) de cinzas, proteínas e fibra (Tabela 20), exceto para lipídios, o qual não teve

diferenças estatísticas entre as formulações. A substituição de farinha de arroz (S-CT27%) aumentou 1,9 vezes o teor de cinzas, 2,5 vezes o teor de proteínas e 2 vezes o teor de fibras. Assim, a inserção de farinha de shiitake na elaboração dos cookies é extremamente vantajosa, uma vez que a ingestão diária de proteínas por um adulto deve ser de 50g/100g, conforme descrito na RDC 269:2005 (BRASIL, 2005).

TABELA 20 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DOS COOKIES COM OU SEM ADIÇÃO DE FARINHA DE SHIITAKE-CT

	P(S-CT0%)	S-CT7%	S-CT13%	S-CT20%	S-CT27%
Cinzas	1,57 ± 0,04 ^c	2,79 ± 0,08 ^a	2,59 ± 0,09 ^a	2,09 ± 0,06 ^b	3,09 ± 0,18 ^a
Proteínas	3,97 ± 0,15 ^d	5,60 ± 0,44 ^c	7,98 ± 0,10 ^{bc}	8,80 ± 0,44 ^{ab}	10,08 ± 0,13 ^a
Fibras Insolúveis	9,55 ± 0,73 ^b	12,73 ± 0,29 ^b	19,43 ± 1,74 ^a	21,55 ± 0,52 ^a	23,38 ± 0,87 ^a
Fibras Solúveis	4,04 ± 0,71 ^e	5,47 ± 0,16 ^b	7,61 ± 0,11 ^a	5,06 ± 0,31 ^c	4,28 ± 0,23 ^d
Fibras Totais	13,59 ± 0,01 ^b	18,21 ± 0,29 ^b	27,04 ± 1,62 ^a	26,62 ± 0,84 ^a	27,67 ± 0,63 ^a
Lipídeos	11,81 ± 0,56 ^a	12,03 ± 1,12 ^a	12,73 ± 0,06 ^a	12,48 ± 1,41 ^a	11,9 ± 0,68 ^a
Carboidratos	69,03 ± 0,70 ^a	61,34 ± 1,04 ^b	52,65 ± 1,52 ^c	49,99 ± 2,18 ^c	47,24 ± 1,22 ^c
Energia (kcal)	398.41	376.15	357.10	347.56	336.44

*Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si de acordo com teste de Tukey a 5% de significância.

De acordo com a RDC 54:2012, o valor mínimo de fibras alimentares para que um alimento seja considerado “fontes de fibras alimentares” deve ser de 6% (BRASIL, 2012), o que é respeitado por todas as formulações. Ainda, conforme descrito na RDC 360:2003 (BRASIL, 2003) que recomenda a ingestão diária de 25g/100g para um adulto, o consumo de cookies poderá fornecer essa demanda. Quanto aos lipídeos, o cookie fornece valor acima do recomendado (11,81g/100g – 12,73g/100g), pois a IN 28:2018 (BRASIL, 2018) e a RDC 54:2012 (BRASIL, 2012) definem 3% como valor máximo, o que pode ser evitado por recomendação de porção do produto e uso de uma alimentação balanceada.

A partir disto, a aplicação da farinha de shiitake aplicada na

fabricação de alimentos pode gerar produtos com alto valor nutricional, alto teores de minerais, de proteínas e de fibras alimentares, bem como de compostos bioativos, ajudando na manutenção da saúde dos consumidores.

4.13. COR DOS COOKIES COM OU SEM ADIÇÃO DE FARINHA DE SHIITAKE-CT

Francis & Clydesdale (1975) afirmam que a diferença de cor (ΔE) acima de 2 é perceptível ao olho humano, quando comparado a uma amostra padrão. A adição de farinha de shiitake-CT apenas produziu alteração perceptível ($P < 0,05$) para a formulação S-CT7% (Tabela 21). A farinha de shiitake possui uma coloração clara, e seu escurecimento na amostra com menor quantidade de farinha de shiitake pode ser devido possível reação de Maillard acarretada pelos polissacarídeos presentes na farinha de arroz (FELLOWS, 2006). Houve uma diferença significativa ($p < 0,05$) nos valores do parâmetro L^* (luminosidade), a^* (intensidade de vermelho) e b^* (intensidade de amarelo). Azevedo et al. (2015) elaborou cookies com farinha de açai e relatou mesmo fenômeno ao substituir a farinha de trigo, o que demonstra a dificuldade de substituir a algumas farinhas. Por outro lado, certo escurecimento pode ser benéfico, quando o padrão de cor do produto é escuro, como foi a proposta aqui para o cookies de chocolate.

TABELA 21 - COR DOS COOKIES

	L^*	a^*	b^*	ΔE
P(S-CT0%)	22,26 \pm 0,11 ^b	6,90 \pm 0.14 ^b	6,19 \pm 0.36 ^b	-
S-CT7%	23,76 \pm 0.27 ^a	6,73 \pm 0.03 ^a	7,48 \pm 0.05 ^a	2,19 \pm 0.19 ^a
S-CT13%	22,55 \pm 0.08 ^b	6,73 \pm 0.09 ^b	6,54 \pm 0.15 ^b	0,47 \pm 0.10 ^c
S-CT20%	21,80 \pm 0.01 ^c	6,74 \pm 0.12 ^b	6,30 \pm 0.32 ^b	0,37 \pm 0.11 ^c
S-CT27%	21,53 \pm 0.01 ^c	6,73 \pm 0.07 ^a	7,18 \pm 0.22 ^{ab}	1,26 \pm 0.16 ^b

5. CONCLUSÕES

O sistema de cultivo foi fonte de compostos fenólicos e de monossacarídeos que são utilizados na formação do corpo de frutificação, sendo que a disponibilidade imediata não garante sua assimilação. Similarmente aos compostos orgânicos, os minerais dos troncos parece ser mais biodisponíveis e foram concentrados pela emissão da matéria orgânica como CO₂ durante a respiração do shiitake. Logo, as toras podem ser melhores sistema de cultivo do que os blocos axênicos.

Quanto à composição do shiitake, o sistema de cultivo é uma variável importante no desenvolvimento do corpo de frutificação, bem como na sua composição nutricional. O cultivo em toras favoreceu a maior concentração de proteínas, β -glucanas e fibras alimentares, enquanto que a cultivo em blocos axênicos favoreceu um maior teor K, Mg, Cu, Fe e Zn.

A secagem do shiitake pode ser realizada para produzir a farinha de cogumelo, mas deve ser tomado cuidado para minimizar degradação de componentes orgânicos a partir da perda total de umidade. A evolução de umidade foi similar para os dois tipos de shiitake, sendo que pode ser prevista pelo modelo de Midilli. O shiitake *in natura* apresentou atividade antioxidante, a qual foi potencializada pela secagem. As glucanas presentes no shiitake seco foram em sua maioria do tipo β e foram bem preservadas no caso do shiitake de cultivo em blocos axênicos. A espectrometria FTIR-ATR não deixou clara se houve alteração molecular durante a secagem, mas foi evidente alteração do perfil de metabólitos secundários, sendo bastante similares para os dois tipos de shiitake cultivados em substratos diferentes. Assim, a secagem a 45°C deve ser usada para minimizar alterações.

O cogumelo shiitake seco se mostrou como uma matéria-prima promissora para elaboração de farinha. Ela tem boas propriedades tecnológicas e pode ser aplicada no desenvolvimento de produtos especiais. Essa farinha é rica em proteína, fibras e minerais, sendo que pode ser aplicada como substituta de farinha de arroz, como foi o caso da elaboração de cookies veganos e sem glúten.

6. REFERÊNCIAS

- ABDEL-AZIZ, NAHLA A. et al. Biological treatments as a mean to improve feed utilization in agriculture animals—An overview. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 3, p. 534-543, 2015.
- AISHAH, M. S.; WAN ROSLI, W. I. The effect of addition of oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) on nutrient composition and sensory acceptance of selected wheat- and ricebased products. **International Food Research Journal** 20(1): 183-188, 2013.
- AHMED, OSMAN et al. Radiologically guided placement of mushroom-retained gastrostomy catheters: long-term outcomes of use in 300 patients at a single center. **Radiology**, v. 276, n. 2, p. 588-596, 2015.
- ANDRADE, M. C. N. De; MINHONI, M. T. D. A.; SANSIGOLO, C. A.; ZIED, D. C. Densidade básica da madeira de sete espécies e três clones de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 235–240, 2009.
- ANDRADE, M. C. N. De; MINHONI, M. T. de A.; SANSÍGOLO, C. A.; ZIED, D. C.; SALES-CAMPOS, C. Estudo comparativo da constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de eucalipto visando o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, v. 35, p. 183–192, 2011
- ANJO, D. L. C. Alimentos funcionais em angiologia e cirurgia vascular. **Jornal Vascular Brasileiro**. v. 3, n. 2, p. 145- 154, 2004
- APTA. Primeiro Censo Paulista de Cogumelos Comestíveis e Medicinais, 2016. Disponível em: <<http://www.aptaregional.sp.gov.br/noticias/primeiro-censo-paulista-de-cogumelos-comestiveis-e-medicinais-e-realizado-em-sao-paulo.html>>. Acessado em: 30 de Julho de 2021
- AOAC. **Official methods of the Association of Official Analytical Chemists**. 16. ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 2005.
- ATILA, F. Lignocellulosic and proximate based compositional changes in substrates during cultivation of *Herichium erinaceus* mushroom. **Scientia Horticulturae**, v. 258, p. 108779, 2019.
- ATILA, F., TÜZEL, Y., FAZ CANO, A., & FERNANDEZ, J. A. Effect of different lignocellulosic wastes on *Herichium americanum* yield and nutritional characteristics. **Journal of the Science of Food and**

Agriculture, v. 97, n. 2, p. 606-612, 2017.

BACH, F., ZIELINSKI, A. A. F., HELM, C. V., MACIEL, G. M., PEDRO, A. C., STAFUSSA, A. P. & HAMINIUK, C. W. I. Bio compounds of edible mushrooms: In vitro antioxidant and antimicrobial activities. **LWT**, v. 107, p. 214-220, 2019.

BACH, F., HELM, C. V., BELLETTINI, M. B., MACIEL, G. M., & HAMINIUK, C. W. I. Edible mushrooms: a potential source of essential amino acids, glucans and minerals. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 11, p. 2382–2392, 2017.

BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. **Química da madeira**. Piracicaba, SP, ESALQ, 125p, 1985.

BELLETTINI, M. B. Análise preditiva de características físico-químicas da pupunha em função do clima e aproveitamento de seus frutos e bainha foliar. 2017.

BENASSI, V. de T.; WATANABE, E; LOBO, A. R. Produtos de panificação com conteúdo calórico reduzido. **Embrapa Agroindústria de Alimentos- Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2001.

BUGG, T. D., AHMAD, M., HARDIMAN, E. M., & RAHMANPOUR, R. Pathways for degradation of lignin in bacteria and fungi. **Natural product reports**, v. 28, n. 12, p. 1883-1896, 2011.

BURKUS, Z., & TEMELLI, F. Rheological properties of barley β -glucan. **Carbohydrate polymers**, v.59(4), p:459-465, 2005.

BRASIL. Resolução n.19, de 30 de Abril de 1999. Regulamento técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem. Seção 1, p.11. 1999c. Disponível em: <Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm> >. Acesso em: 24 de julho de 2021.

BRASIL. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**, p. 1–9, 2003.

BRASIL. **RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 269, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005** Brasil Ministério da Saúde - MS Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, 2005.

- BRASIL. Lei Nº 11.428, De 22 De Dezembro De 2006. v. 50, p. 1–9, 2006.
- BRASIL. **Lei 12.305/2010 Institui a Política Nac. Resíduos Sólidos – PNRS**. Brasil, 2010.
- BRASIL. **Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária Brasil, 2012. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/rdc0054_12_11_2012.pdf/c5ac23fd-974e-4f2c-9fbc-48f7e0a31864>. Acessado em: 25 de julho de 2021.
- BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA**. Brasil, 2017.
- BRASIL. **INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN Nº 28, DE 26 DE JULHO DE 2018**. Brasil Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/186602/PPAU0156D.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://journal.stainkudu.s.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/rae/v45n1/v45n1a08%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j>. Acessado em: 25 de julho de 2021.
- BRENNAN, C. S., & CLEARY, L. J. The potential use of cereal (1→3, 1→4)-β-D-glucans as functional food ingredients. **Journal of cereal science**, v.42(1), p:1-13, 2005.
- BRUMATTI, M. R. Estudo do tratamento térmico aplicado na produção do molho de tomate. 2019.
- CARRASCO, J., ZIED, D. C., PARDO, J. E., PRESTON, G. M., & PARDO-GIMÉNEZ, A. Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. **AMB Express**, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2018.
- CARVALHO, W., CANILHA, L., FERRAZ, A., & MILAGRES, A. M. F. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, v. 32, p. 2191-2195, 2009.
- CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E)**, 2010.
- COLMENARES-CRUZ, S.; SÁNCHEZ, J. E.; VALLE-MORA, J. Agaricus bisporus production on substrates pasteurized by self-heating. **AMB Express**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2017.
- CORREIA, P. M., ESTEVES, S. A., GUINÉ, R. P. F. Effect of mushroom

powder in fresh pasta development. In **Baltic Conference on Food Science and Technology: conference proceedings**. LLU, 2017.

CONVERTI, A; DEL BORGHI, M. Inhibition of the fermentation of oak hemicellulose acid-hydrolysate by minor sugars. **Journal of biotechnology**, v. 64, n. 2-3, p. 211-218, 1998.

CHANG, S. T; WASSER, S. P. The cultivation and environmental impact of mushrooms. In: **Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science**. 2017.

CHEN, C., CHEN, G., WANG, S., PEI, F., HU, Q., & ZHAO, L. Speciation changes of three toxic elements in *Lentinus edodes* after drying and soaking. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 2, p. e12772, 2017.

CHEN, J., & SEVIOUR, R. Medicinal importance of fungal β -(1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 6)-glucans. **Mycological research**, v.111(6), p:635-652, 2007.

DAMODARAN, S; PARKIN, K.L. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed Editora, 2018.

DENCH, J. E.; RIVAS, R. N.; CAYGILL, J. C. Selected functional properties of sesame (*Sesamun indicum* L.) flour and two protein isolates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Washington, v. 32, n. 6, p. 557-564, 1981.

DERMIKI, M., PHANPHENSOPHON, N., MOTTRAM, D. S., & METHVEN, L. Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat. **Food chemistry**, v. 141, n. 1, p. 77-83, 2013.

DE AZEVEDO, D. B., OSORIO, R. M. L., CARDOSO, B. B., & DE QUEIROZ CARVALHO, R. Cadeia de produção do cogumelo orgânico: o estudo de caso da empresa cogumelos brasileiros. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS**, v. 3, n. 1, p. 139-153, 2014

DIAS, R. Isolamento e caracterização do *Lentinan* de cogumelos shiitake cultivados em Santa Catarina. 2013.

DU, B., BIAN, Z., & XU, B. Skin health promotion effects of natural beta-glucan derived from cereals and microorganisms: a review. **Phytotherapy Research**, v.28(2), p:159-166, 2014.

DU, B., LIN, C., BIAN, Z., & XU, B. An insight into anti-inflammatory effects of fungal beta-glucans. **Trends in Food Science & Technology**, v. 41, n. 1, p. 49-59, 2015.

EL ENSHASY, H. A.; HATTI-KAUL, R. Mushroom immunomodulators: unique molecules with unlimited applications. **Trends in biotechnology**, v. 31, n. 12, p. 668-677, 2013.

FALGUERA, V; ALIGUER, N; FALGUERA, M. An integrated approach to current trends in food consumption: Moving toward functional and organic products?. **Food Control**, v. 26, n. 2, p. 274-281, 2012.

FARZANA, T; MOHAJAN, S. Effect of incorporation of soy flour to wheat flour on nutritional and sensory quality of biscuits fortified with mushroom. **Food science & nutrition**, 3(5), 363-369, 2015

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.

Fellows, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FRANCO, T. S., POTULSKI, D. C., VIANA, L. C., FORVILLE, E., DE ANDRADE, A. S., & DE MUNIZ, G. I. B. Nanocellulose obtained from residues of peach palm extraction (*Bactris gasipaes*). **Carbohydrate polymers**, v. 218, p. 8-19, 2019.

FRANCIS, F. J., & CLYDESDALE, F. M. **Food colorimetry: theory and applications**. AVI Publishing Co. Inc., 1975.

GAITÁN-HERNÁNDEZ, R.; CORTÉS, N.; MATA, G. Improvement of yield of the edible and medicinal mushroom *Lentinula edodes* on wheat straw by use of supplemented spawn. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 45, n. 2, p. 467-474, 2014.

GAMEL, T. H., ABDEL-AAL, E. S. M., AMES, N. P., DUSS, R., & TOSH, S. M. Enzymatic extraction of beta-glucan from oat bran cereals and oat crackers and optimization of viscosity measurement. **Journal of Cereal Science**, v. 59(1), p:33-40, 2014.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport processes and unit operations**. 3 ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993. 921p.

GONÇALVES, C. A. A., LIMA, L. C. D. O., LOPES, P. S. N., & PRADO, M.

E. T. Caracterização física, físico-química, enzimática e de parede celular em diferentes estádios de desenvolvimento da fruta de figueira. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 220-229, 2006.

GLAZUNOVA, O. A; SHAKHOVA, N. V; PSURTSEVA, N. V; MOISEENKO, K. V; KLEIMENOV, S. Y. E FEDOROVA, T. V. Basidiomicetos da podridão-branca *Junghuhnia nitida* e *Steccherinum bourdotii*: potencial oxidativo e propriedades da lacase em comparação com *Trametes hirsuta* e *Coriolopsis caperata*. **PLoS One**, v. 13, n. 6, pág. e0197667, 2018.

GRIMM, D.; WÖSTEN, H. AB. Mushroom cultivation in the circular economy. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 102, n. 18, p. 7795-7803, 2018.

HENRIQUE, V. A., NUNES, C. D. R., AZEVEDO, F. T., PEREIRA, S. M. D. F., BARBOSA, J. B., & TALMA, S. V. Alimentos funcionais: aspectos nutricionais na qualidade de vida. 2018.

HUANG, Q., QIAN, X., JIANG, T., & ZHENG, X. Effect of chitosan and guar gum based composite edible coating on quality of mushroom (*Lentinus edodes*) during postharvest storage. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 382-389, 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos**, v. IV, n. 1, p. 1000, 2008.

IBGE. SIDRA, Sistema IBGE de recuperação automática. Dados do Censo Agropecuário de 2006 e do Censo Agropecuário de 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6953#resultado>>. Acessado em 25 de julho de 2021.

JIANG, T., FENG, L., ZHENG, X., & LI, J. Physicochemical responses and microbial characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) to gum arabic coating enriched with natamycin during storage. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1992-1997, 2013.

JONATHAN, S. G., FASIDI, I. O., & AJAYI, E. J. Physico—Chemical studies on *Volvariella esculenta* (Mass) Singer, a Nigerian edible fungus. **Food chemistry**, 85(3), 339-342, 2004.

KABIR, Y.; YAMAGUCHI, M.; KIMURA, S. Effect of Shiitake (*Lentinus edodes*) and Maitake (*Grifola frondosa*) mushrooms on blood pressure and

plasma lipids of spontaneously hypertensive rats. **Journal of nutritional science and vitaminology**, v. 33, n. 5, p. 341-346, 1987.

KHATUA, SOMANJANA; PAUL, SNIGDHA; ACHARYA, KRISHNENDU. Mushroom as the potential source of new generation of antioxidant: a review. **Res J Pharm Technol**, v. 6, n. 5, p. 496-505, 2013.

LEAL, Ana Raquel. **Biomoléculas em cogumelos silvestres do Nordeste de Portugal: função nutricional e medicinal**. 2012. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária.

LEMOS, F. M. R. Elaboração e caracterização de produto análogo a hambúrguer de cogumelo *Agaricus brasiliensis*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

LENZI, J., COSTA, T. M., ALBERTON, M. D., GOULART, J. A. G., & TAVARES, L. B. B. Medicinal fungi: a source of antiparasitic secondary metabolites. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 102, n. 14, p. 5791-5810, 2018.

LEONEL, M.; FREITAS, T. S.; MISCHAN, M. M. Physical characteristics of extruded cassava starch. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 66, n. 4, p. 486-493, 2009.

LI, Q., LEI, Y., HU, G., LEI, Y., & DAN, D. Effects of Tween 80 on the liquid fermentation of *Lentinus edodes*. **Food science and biotechnology**, v. 27, n. 4, p. 1103-1109, 2018.

LOU, Z., SUN, Y., ZHOU, X., BAIG, S. A., HU, B., & XU, X. Composition variability of spent mushroom substrates during continuous cultivation, composting process and their effects on mineral nitrogen transformation in soil. **Geoderma**, v. 307, p. 30-37, 2017.

MACEDO, L. L., VIMERCATI, W. C., DA SILVA ARAÚJO, C., SARAIVA, S. H., & TEIXEIRA, L. J. Q. Effect of drying air temperature on drying kinetics and physicochemical characteristics of dried banana. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 9, p. e13451, 2020.

MACHADO, W. R. C., FILIPPIN, A. P., DA SILVA, L. M., SILVA, H. D. M., & HOFFMANN, R. M. M. Incorporação de compostos fenólicos em produtos alimentícios: uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 46470-46499, 2021.

MAISUTHISAKUL, P., SUTTAJIT, M. & PONGSAWATMANIT, R.

Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Food Chemistry*, 100, 1409–1418, 2007.

MAGNANI, M., & CASTRO-GÓMEZ, R. J. H. B-glucana de *Saccharomyces cerevisiae*: constituição, bioatividade e obtenção. ***Semina: Ciências Agrárias***, 29(3), 631-649, 2008.

MAHARI, W. A. W, PENG, W., NAM, W. L, YANG, H., LEE, X. Y, LEE, Y. K. & LAM, S. S. Uma revisão sobre a valorização do cogumelo-ostrea e dos resíduos gerados na indústria do cultivo de cogumelos. ***Jornal de materiais perigosos***, v. 400, p. 123156, 2020.

MANTOVANI, M. S., BELLINI, M. F., ANGELI, J. P. F., OLIVEIRA, R. J., SILVA, A. F., & RIBEIRO, L. R. β -Glucans in promoting health: Prevention against mutation and cancer. ***Mutation Research/Reviews in Mutation Research***, v.658(3), p:154-161, 2008.

MARSTON, K; KHOURYIEH, H; ARAMOUNI, F. Efeito do tratamento térmico da farinha de sorgo nas propriedades funcionais de pães e bolos sem glúten. ***LWT-Food Science and Technology***, v. 65, p. 637-644, 2016.

MELO, R. D; et al. Digestibility of Diets Containing Cara Flour (*Dioscorea trifida* L.) For Laying Hens. ***International Journal of Poultry Science***, v. 14, n. 3, p. 156, 2015.

MIMURA, H. J; JORGE, R. M. M; MATHIAS, A. L. Pré-tratamentos na secagem e reidratação de champignon em fatias. ***Ciência Rural***, v. 44, p. 717-722, 2014.

MING, X., XU, F., JIANG, Y., ZONG, P., WANG, B., LI, J., & TIAN, Y. Thermal degradation of food waste by TG-FTIR and Py-GC/MS: Pyrolysis behaviors, products, kinetic and thermodynamic analysis. ***Journal of Cleaner Production***, v. 244, p. 118713, 2020.

MORALES, D., RUTCKEVISKI, R., VILLALVA, M., ABREU, H., SOLER-RIVAS, C., SANTOYO, S., & SMIDERLE, F. R. Isolation and comparison of α -and β -D-glucans from shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) with different biological activities. ***Carbohydrate polymers***, v. 229, p. 115521, 2020.

MORALES, D., PIRIS, A. J., RUIZ-RODRIGUEZ, A., PRODANOV, M., & SOLER-RIVAS, C. Extraction of bioactive compounds against

- cardiovascular diseases from *Lentinula edodes* using a sequential extraction method. **Biotechnology progress**, v. 34, n. 3, p. 746-755, 2018.
- MORAES, F. P. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Revista eletrônica de farmácia**, v. 3, n. 2, 2006.
- NANDIYANTO, A. B. D; OKTIANI, R; RAGADHITA, R. How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material. **Indonesian Journal of Science and Technology**, v. 4, n. 1, p. 97-118, 2019.
- NOGUEIRA, A. R.; SOUZA, G. B. **Manual de Laboratórios: Solo, Água, Nutrição Animal e Alimentos**. São Carlos: Embrapa, 2005.
- NG, Z. X; ROSMAN, N. F. In vitro digestion and domestic cooking improved the total antioxidant activity and carbohydrate-digestive enzymes inhibitory potential of selected edible mushrooms. **Journal of food science and technology**, v. 56, n. 2, p. 865-877, 2019.
- OKEZIE, B. O.; BELLO, A. B. Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. **Journal of Food science**, v. 53, n. 2, p. 450-454, 1988.
- OUAABOU, R., NABIL, B., OUHAMMOU, M., IDLIMAM, A., LAMHARRAR, A., ENNAHLI, S. & MAHROUZ, M. Impact of solar drying process on drying kinetics, and on bioactive profile of Moroccan sweet cherry. **Renewable Energy**, v. 151, p. 908-918, 2020.
- ÖZTÜRK, S., CERIT, İ., MUTLU, S., & DEMIRKOL, O. Enrichment of cookies with glutathione by inactive yeast cells (*Saccharomyces cerevisiae*): Physicochemical and functional properties. **Journal of Cereal Science**, v. 78, p. 19-24, 2017.
- ÖZÇELİK, E.; PEKSEN, A. Hazelnut husk as a substrate for the cultivation of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). **Bioresource Technology**, v. 98, n. 14, p. 2652–2658, 2007.
- PASCHOLATI, S. F., MARASSATTO, C. M., & STANGARLIN, J. R. Shiitake em toras de eucalipto. 2014.
- PELAES VITAL, A. C., GOTO, P. A., HANAI, L. N., GOMES-DA-COSTA, S. M., DE ABREU FILHO, B. A., NAKAMURA, C. V. & MATUMOTO-PINTRO, P. T. Microbiological, functional and rheological properties of low fat yogurt supplemented with *Pleurotus ostreatus* aqueous extract. **LWT - Food Science and Technology**, 64(2), 1028-1035, 2015.

PEREIRA, E., BARROS, L., MARTINS, A. & FERREIRA, I. C. F. R. Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats. **Food Chemistry**, 130, 394–403, 2012.

PORTE, A.; SILVA, E. F.; ALMEIDA, V. D. S.; SILVA, T. X.; PORTE, L. H. M. Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (*Carica papaya*) e de abóbora (*Cucurbita* sp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande-PB, v. 13, n. 1, p. 91-96, 2011.

PHILIPPOUSSIS, A.; DIAMANTOPOULOU, P.; ISRAILIDES, C. Productivity of agricultural residues used for the cultivation of the medicinal fungus *Lentinula edodes*. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 59, n. 3, p. 216–219, 2007.

RAJARATHNAM, S.; BANO, Z. Pleurotus mushrooms part IA. Morphology, life cycle, taxonomy, breeding and cultivation. **CRC Critical Review of Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 26, n. 2, p. 157-223, 1987.

RATHORE, H., SHARMA, A., PRASAD, S., KUMAR, A., SHARMA, S., & SINGH, A. Yield, nutritional composition and antioxidant properties of *Calocybe indica* cultivated on wheat straw basal substrate supplemented with nitrogenous tree leaves. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 3, p. 807-815, 2020.

RATHORE, H., PRASAD, S., KAPRI, M., TIWARI, A., & SHARMA, S. Medicinal importance of mushroom mycelium: Mechanisms and applications. **Journal of functional foods**, v. 56, p. 182-193, 2019.

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.

RE, R., PELLEGRINI, N., PROTEGGENTE, A., PANNALA, A., YANG, M., & RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free radical biology and medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.

REZAEIAN, S; POURIANFAR, H. R.; DOWOM, S. A. Quantitative Changes in the Biochemical and Mineral Composition of the Substrate in Solid-State Cultivation of Enoki Mushroom. **Waste and Biomass Valorization**, p. 1-12,

2021.

RIEDER, A., & SAMUELSEN, A. B. Do cereal mixed-linked β -glucans possess immune-modulating activities?. ***Molecular nutrition & food research***, 56(4), 536-547, 2012.

RODRÍGUEZ-AMBRIZ, S. L.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G.; GONZÁLEZ, J. E. C.; TRUJILLO, J.P.P. Composition and functional properties of *Lupinus campestris* protein isolates. ***Plants Foods for Human Nutrition***, v. 60, p. 99- 107, 2005.

SAVOIE, J. M., DELPECH, P., BILLETTE, C., & MATA, G. Inoculum adaptation changes the outcome of the competition between *Lentinula edodes* and *Trichoderma* spp. during shiitake cultivation on pasteurized wheat straw. ***Mush Sci***, v. 15, p. 667-674, 2000.

SANTANA, G. S; DE OLIVEIRA FILHO, J. G; EGEEA, M. B. Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. ***Revista de Agricultura Neotropical***, v. 4, n. 2, p. 88-95, 2017.

SILVÉRIO, F. O.; BARBOSA, L. C. de A.; GOMIDE, J. L.; REIS, F. P.; PILÓ-VELOSO, D. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. ***Revista Árvore***. p. 1009–1016, 2006.

SCHIMPF, U.; SCHULZ, R. Industrial by-products from white-rot fungi production. Part I: Generation of enzyme preparations and chemical, protein biochemical and molecular biological characterization. ***Process Biochemistry***, v. 51, n. 12, p. 2034-2046, 2016.

QI, L. L., ZHANG, M., MUJUMDAR, A. S., MENG, X. Y.; CHEN, H. Z. Comparison of drying characteristics and quality of shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) using different drying methods. ***Drying technology***, v. 32, n. 15, p. 1751-1761, 2014.

RASHIDI, A. N. M.; YANG, T. A. Nutritional and antioxidant values of oyster mushroom (*P. sajor-caju*) cultivated on Rubber Sawdust. ***International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology***, v. 6, n. 2, p. 161–164, 2016

REIS, F. S., BARROS, L., MARTINS, A., & FERREIRA, I. C. 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.

- SALDANHA, J. H. Dos S; MARTINS, E. A; DE NARDI JÚNIOR, G. Perfil dos consumidores de cogumelos comestíveis em segmento estudantil em agronegócio da fatec de botucatu-sp. In: **VII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica**. 2018.
- SANDE, D., DE OLIVEIRA, G. P., E MOURA, M. A. F., DE ALMEIDA MARTINS, B., LIMA, M. T. N. S., & TAKAHASHI, J. A. Edible mushrooms as a ubiquitous source of essential fatty acids. **Food Research International**, v. 125, p. 108524, 2019.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Química, 1974.
- SILVA, F. C. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999.
- SILVA, R., FRITZ, C., CUBILLOS, J., & DÍAZ, M. Manual para la producción de hongos comestibles (Shiitake). **Santiago, Chile: Proyecto CONAMA-FPA**, 2010.
- SONG, H., LIU, J. GC-O-MS technique and its applications in food flavor analysis. **Food Research International**, v. 114, p. 187-198, 2018.
- SOUZA, E. Cresce o mercado de cogumelos no país. **REVISTA GLOBO RURAL**, Edição 224 – Jun 2004.
- SUN, L. B., ZHANG, Z. Y., XIN, G., SUN, B. X., BAO, X. J., WEI, Y. Y., & XU, H. R. Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms. **Trends in Food Science & Technology**, v. 96, p. 176-187, 2020.
- SHEIKH, M. A. M; KUMAR, A; ISLAM, M. M; MAHOMUD, M. S. The effects of mushroom powder on the quality of cake. **Progress. Agric.** 21(1 & 2): 205 – 214, 2010.
- SHI, Y.; LIU, J.; YAN, Q.; YOU, X.; YANG, S.; JIANG, Z. In vitro digestibility and prebiotic potential of curdlan (1 →3)-β-D-glucan oligosaccharides in *Lactobacillus* species. **Carbohydrate Polymers**, v. 188, p. 17–26, 2018.
- STOFFEL, F., DE OLIVEIRA SANTANA, W., FONTANA, R. C., & CAMASSOLA, M. Use of *Pleurotus albidus* mycoprotein flour to produce cookies: Evaluation of nutritional enrichment and biological activity. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 68, p. 102642, 2021.

TIAN, Y., ZHAO, Y., HUANG, J., ZENG, H., & ZHENG, B. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. **Food Chemistry**, v. 197, p. 714-722, 2016.

TIMM, T. G., PASKO, R. Z., CAMPOS, C. S. D. G., HELM, C. V., & TAVARES, L. B. B. Drying process of *Lentinula edodes*: Influence of temperature on β -glucan content and adjustment of mathematical models. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 2019.

TSAI, S.Y.; HUANG, F.K.; JUAN, H.W.; LIN, C.P. Evaluation of food-processing conditions of various particle sizes of *Tremella fuciformis* powder via DSC and TG analyses. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 134, p. 857-864, 2018.

URBEN, A. F. Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2017.

USDA. Natural Resources Conservation Service. *Quercus acutissima*. Disponível em: <<http://plants.usda.gov/java/charProfile?symbol=QUAC80>> . Acesso em 28 de Julho de 2021.

VALVERDE, M. E., HERNÁNDEZ-PÉREZ, T., & PAREDES-LÓPEZ, O. Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. *International journal of microbiology*, 2015.

WAKCHAURE, G. C., MANIKANDAN, K., MANI, I., & SHIRUR, M. Kinetics of thin layer drying of button mushroom. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 47, n. 4, p. 41-46, 2010.

WANG, J., ZHOU, Z., DAN, D., & HU, G. Physicochemical properties and bioactivities of *Lentinula edodes* polysaccharides at different development stages. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 150, p. 573-577, 2020.

WANG, S., ZHOU, H., FENG, T., WU, R., SUN, X., GUAN, N., QU, L., GAO, Z., YAN, J., XU, N. AND ZHAO, J. β -Glucan attenuates inflammatory responses in oxidized LDL-induced THP-1 cells via the p38 MAPK pathway. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases** 24, nº.3, p: 248-255, 2014.

WANG, J., ZHOU, Z., DAN, D., & HU, G. Physicochemical properties and

bioactivities of *Lentinula edodes* polysaccharides at different development stages. *International journal of biological macromolecules*, 150, 573-577, 2020.

WATANABE, T., SHIMADA, R., MATSUYAMA, A., YUASA, M., SAWAMURA, H., YOSHIDA, E., & SUZUKI, K. Antitumor activity of the β -glucan paramylon from *Euglena* against preneoplastic colonic aberrant crypt foci in mice. *Food & function*, v. 4, n. 11, p. 1685-1690, 2013.

WHITEHEAD, A., BECK, EJ, TOSH, S., & WOLEVER, T. M. Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *The American journal of clinical nutrition* 100, n^o. 6, p: 1413-1421, 2014.

XUE, Z.; CHEN, Y.; JIA, Y.; WANG, Y.; LU, Y.; CHEN, H.; ZHANG, M. Structure, thermal and rheological properties of different soluble dietary fiber fractions from mushroom *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler residues. *Food Hydrocolloids*, v. 95, p. 10-18, 2019.

YIN, C., FAN, X., FAN, Z., SHI, D., & GAO, H. Optimization of enzymes-microwave-ultrasound assisted extraction of *Lentinus edodes* polysaccharides and determination of its antioxidant activity. *International journal of biological macromolecules*, v. 111, p. 446-454, 2018.