

## Modelos matemáticos para secagem de biomassa com cascas de palmeira-real colonizadas com micélio de shiitake

No processamento de palmeira-real (*Archontophoenix cunninghamiana*) para a obtenção de palmito são gerados excedentes sólidos como cascas que, se dispostos inadequadamente, causam danos ambientais. Estas cascas são nutricionalmente atrativas para a alimentação e quando colonizadas por fungos basidiomicetos comestíveis, podem resultar na agregação de valor pela geração de produtos para consumo humano. Propôs-se, com este trabalho, ajustar modelos matemáticos aos valores experimentais em função da temperatura sobre o tempo de secagem de uma biomassa contendo cascas de palmito da palmeira-real suplementada com farelo de arroz e farinha de mandioca e colonizada com micélio do fungo *Lentinula edodes*, também conhecido como cogumelo shiitake. O processo de colonização do substrato foi conduzido em sistema de fermentação em estado sólido (FES) a 25 °C por 40 dias. A biomassa resultante foi utilizada para o estudo da cinética de secagem em estufa convectiva, sendo construídas curvas de secagem nas temperaturas de 35, 50 e 65 °C com posterior ajuste de modelos matemáticos empíricos e semi-empíricos aos dados experimentais do processo de secagem. As umidades de equilíbrio e tempos de secagem, respectivamente, resultaram em 205 minutos e 0,22% para 35 °C, 145 minutos e 0,28% para 50 °C e 115 minutos e 0,12% para 65 °C. Dez modelos matemáticos foram testados e todos apresentaram ajuste às curvas experimentais, porém os que representaram mais satisfatoriamente a perda de umidade durante o período de secagem foram os modelos Modified Midilli-Kucuk, Two-term e Logarítmico ( $R^2=0,998$ ) para 65 °C, temperatura selecionada como mais satisfatória para processamento. Ao final do estudo a biomassa seca foi triturada gerando uma farinha, cuja análise indicou valores de nutricionais similares, independente da temperatura de secagem. Portanto, a transformação das cascas de palmito nas condições propostas trouxe, em adição a obtenção de um futuro produto alimentício, que práticas sustentáveis aplicadas à cadeia produtiva da palmeira-real poderão resultar na diminuição de um passivo ambiental.

**Palavras-chave:** Desidratação; Curva de secagem; Modelos matemáticos; Fungo basidiomiceto; Resíduo agroindustrial.

## Mathematical models for the drying process of king-palm shells biomass colonized by shiitake mycelium

To obtain the heart-of-palm in the king-palm (*Archontophoenix cunninghamiana*) processing there are solid wastes generation such as the shells, which causes environmental damage if inadequately disposed of. These shells are nutritiously attractive to feed and when they are colonized by edible basidiomycete fungi it could result in the value addition through the generation of products for human consumption. This study proposed the mathematical-modeling fitting to the experimental values in function of temperature on the drying time of a biomass containing the king-palm shells colonized by the fungus *Lentinula edodes* mycelia, also known as Shiitake mushroom. The substrate colonization process was conducted in a solid-state fermentation system (SSF) at 25 °C for 40 days. The resulting biomass was utilized for the drying kinetics study in a convective oven, constructing the drying curves for the 35, 50, and 65 °C temperatures, and subsequent fitting of empirical and semi-empirical mathematical models to the experimental data of the drying process. The equilibrium moisture and the drying times resulted, respectively, 205 minutes and 0.22% to 35 °C, 145 minutes and 0.28% to 50 °C, and 115 minutes and 0.12% to 65 °C. Ten mathematical models were tested and all of them presented adjustments to the experimental curves, however, the ones that represented more satisfactorily the moisture loss during the drying time were the Modified Midilli-Kucuk model, the Two-term model, and the Logarithmic model ( $R^2=0,998$ ) to 65 °C (temperature selected as the best for the studied process). At the end of the study, the dried biomass was ground and generates a flour, which the analysis indicated similar nutritional values, independently of the drying temperature. Therefore, the transformation of heart-of-palm shells under the proposed conditions brings that it could obtain a future diet product besides that the sustainable practices applied to the production chain of the king-palm could result in the decreasing an environmental passive.

**Keywords:** Dehydration; Drying curve; Mathematical models; Basidiomycete fungus; Agro-industrial waste.


Topic: Engenharia Ambiental


Received: 07/05/2022


Approved: 28/05/2022


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Thaynã Gonçalves Timm   
Universidade Regional de Blumenau, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5538356562653189>  
<http://orcid.org/0000-0001-5683-3536>  
[ttimm@furb.br](mailto:ttimm@furb.br)

William Ferreira Weise   
Universidade Regional de Blumenau, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5476546147696125>  
<http://orcid.org/0000-0002-2988-4829>  
[wwaise@furb.br](mailto:wweise@furb.br)

Matheus Samponi Tucunduva Arantes   
Embrapa Unidade Florestas, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8411308900945246>  
<http://orcid.org/0000-0003-0389-6618>  
[matheussamponi@ufpr.br](mailto:matheussamponi@ufpr.br)

Cristiane Vieira Helm   
Embrapa Unidade Florestas, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5562737889402198>  
<http://orcid.org/0000-0002-7518-9069>  
[cristiane.helm@embrapa.br](mailto:cristiane.helm@embrapa.br)

Lorena Benathar Ballo Tavares   
Universidade Regional de Blumenau, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7616109271123402>  
<http://orcid.org/0000-0001-7633-8196>  
[lorena@furb.br](mailto:lorena@furb.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0011

### Referencing this:

TIMM, T. G.; WEISE, W. F.; ARANTES, M. S. T.; HELM, C. V.; TAVARES, L. B. B.. Título: subtítulo. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.5, p.137-149, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0011>

## INTRODUÇÃO

O processamento de palmito cultivado no Brasil é uma atividade econômica reconhecida em diversos estados, mas, Santa Catarina, se destaca como o pioneiro no cultivo da palmeira-real (*Archontophoenix cunninghamiana*) em substituição à palmeira nativa juçara (*Euterpe edulis*). O plantio e a industrialização da palmeira-real geram renda para muitas famílias agricultoras, no entanto, também resulta na formação de milhares de toneladas de resíduos sólidos - cascas, estipe e folículos (SCHMITZ et al., 2018). As cascas são consideradas como subproduto, pois são fonte de compostos nutricionais, tais como fibras alimentares (HELM et al., 2014). O aproveitamento deste subproduto, por meio de soluções inovadoras, traz valor de importância comercial, além de reduzir os impactos ambientais negativos (ZENNI et al., 2018). Além disso, por ser um material lignocelulósico (SCHMITZ et al., 2018), pode ser utilizado como substrato para o cultivo de fungos comestíveis e medicinais, tais como o *L. edodes*, popularmente conhecido como cogumelo shiitake (TONINI et al., 2007; TIMM et al., 2021). Estes fungos utilizam a matéria orgânica como fonte de energia realizando a bioconversão (SERBENT et al., 2020) e gerando produtos de interesse à indústria de alimentos, fármacos e cosméticos (BENTO et al., 2012). Além da importância na bioconversão, os cogumelos comestíveis possuem papel importante na alimentação humana, com propriedades nutritivas como proteínas, fibras alimentares, sais minerais e vitaminas (HELM et al., 2009). Possuem, ainda, moléculas bioativas (COSTA et al., 2019) como as  $\beta$ -glucanas, que atuam no sistema imunológico, como antitumorais e anti-inflamatórias (SARI et al., 2017). Recentemente, as  $\beta$ -glucanas de *Lentinula edodes* foram citadas como moléculas que atuam na redução da lesão pulmonar decorrente do vírus SARS-COV-2, dado seu efeito citoprotetor (MURPHY et al., 2020). Estes autores relataram que as  $\beta$ -glucanas de *L. edodes* podem reduzir o estresse oxidativo e ativar macrófagos e, além disso, reduzir a 'tempestade' de citocinas que causa síndrome respiratória aguda grave (SRAG), como visto com a COVID-19.

O fungo *L. edodes* é um dos mais cultivados mundialmente e um dos principais cogumelos consumidos no Brasil (ZIED et al., 2014). Embora o consumo de cogumelos ainda seja excipiente, a sociedade brasileira tem redefinido os hábitos alimentares, apresentando progressivo interesse por alimentos nutritivos com propriedades benéficas à saúde (VIANA et al., 2017). Devido a crescente preocupação com alimentação saudável e o fortalecimento muscular, o consumo de alimentos com alto valor proteico vem aumentando (MENON et al., 2012). O mesmo se constata quanto ao consumo de alimentos ricos em fibras alimentares. A ingestão de fibras tem sido explorada por sua atuação benéfica sobre o aparelho digestivo. Com isso, têm sido apresentadas diversas propostas de alimentos industrializados ricos em fibras, tais como as barras de cereais e suplementos alimentares (TIMM et al., 2020; TIMM et al., 2021).

Na área de panificação, o incremento nos produtos por farinhas não convencionais ricas em fibras como as de farinha de casca e de semente de abóbora são sugeridas (ANJOS et al., 2017). Na área de processos de panificação o que se tem é um dos mais importantes exemplos de bioprocessos para obtenção de um alimento à base de farinha, que é o pão. Daí se tem reminiscências da biotecnologia, que é definida como uma tecnologia para geração de produtos ou serviços que utilizam seres vivos ou partes deles para

benefício da sociedade. Dentro da biotecnologia, a área de processos para obtenção de alimentos a partir de fungos é antiga e com destaque para os processos de obtenção de bebidas e produtos lácteos fermentados. Na atualidade há uma demanda por alimentos com elevado teor proteico e, neste trabalho, se teve a geração de uma biomassa com micélio obtido por cultivo em sistema de fermentação em estado sólido (FES). Por conter filamentos de natureza fúngica, a biomassa é constituída de proteínas microbianas, além de água e outros nutrientes produzidos durante o metabolismo do fungo *L. edodes*. E, quando a água, componente principal que controla a atividade biológica desta biomassa, é removida pela secagem, assegura-se a qualidade e a estabilidade desta e, conseqüentemente, sua conservação. A secagem convectiva é um método amplamente empregado na desidratação de alimentos, no entanto, a transferência de calor indireta reduz a eficiência energética desta operação elevando seu custo (NASCIMENTO et al., 2015). Portanto, o conhecimento de modelos matemáticos aos dados experimentais, auxilia na definição das temperaturas e do tempo de secagem para melhoria do processo. Frente ao exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o ajuste de modelos matemáticos ao comportamento da secagem convectiva de uma biomassa com cascas de palmito da palmeira-real suplementada com farelo de arroz e farinha de mandioca e colonizada com micélio do fungo *L. edodes*, e estudar o efeito da temperatura no tempo de secagem, para obtenção de um ingrediente alimentício de elevado valor nutricional.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Conservação da cepa do fungo *L. edodes*

O isolado de *L. edodes* proveniente da Embrapa Florestas (Colombo/PR) foi fornecido como discos de micélio (aproximadamente 7 mm) submersos em água ultrapura em frascos Castellani (10 mL). Para ativação do isolado, um disco foi transferido para o centro de uma placa de Petri contendo meio batata dextrose ágar (BDA) e incubado a 25 °C por 10 dias. Posteriormente, a placa colonizada com o isolado foi armazenada a 4 °C para posterior utilização nos cultivos em fermentação em estado sólido (FES).

### Produção da biomassa em sistema FES

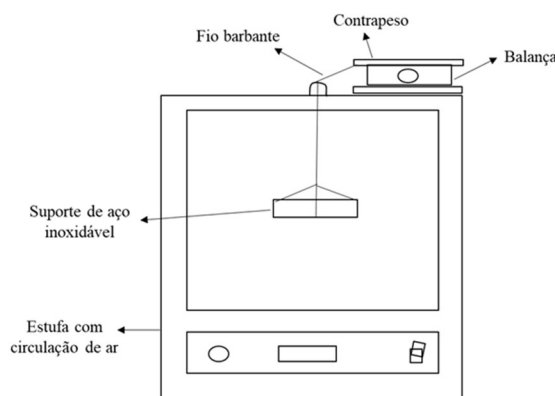
As cascas de palmito da palmeira-real fornecidas pela empresa Biopasta (Luiz Alves, SC) foram higienizadas com hipoclorito de sódio em concentração de 0,02% para cada litro de solução, permanecendo submersas durante 15 minutos e posteriormente lavadas com água potável. Em seguida, as cascas foram secas a 60 °C em estufa com secagem convectiva por 24 h (HELM et al., 2014). O substrato de cultivo conduzido em sistema FES para obtenção da biomassa foi constituído por cascas (80%) suplementadas com fontes de nitrogênio e carbono compostas por farelo de arroz (10%) e farinha de mandioca (10%).

O substrato resultante foi hidratado (216 mL de água destilada), homogeneizado manualmente e transferido para sacos de propileno (PP) de alta densidade e autoclavados a 121 °C e 1 atm por 30 minutos. Após resfriamento, uma placa de Petri com BDA contendo micélio de *L. edodes* foi adicionada à 150 mL de água destilada disposta em recipientes de aço inox esterilizado acoplados a um liquidificador e triturados por

15 segundos (TIMM, 2020). Em seguida o líquido foi vertido para sacos plásticos de polipropileno (PP) contendo o substrato, fechados com papel filtro esterilizados e mantidos por 40 dias a 25 °C em estufa incubadora do tipo BOD para obtenção da biomassa. Após o processo de colonização dos substratos foram obtidas 40 unidades contendo 180 g de biomassa em cada saco de PP. A biomassa resultante foi utilizada para o estudo de ajuste de modelos do comportamento da secagem convectiva.

### Secagem da biomassa

Inicialmente, a biomassa foi fragmentada manualmente para ser submetida a secagem convectiva nas temperaturas de 35, 50 e 65 °C. Para a construção das curvas de secagem, 10 g de amostra foram acondicionadas em um suporte de aço inoxidável (Figura 1) adaptado para um sistema de pesagem em tempo real em estufa de secagem convectiva (TIMM et al., 2019), iniciando-se a medição da massa da amostra e sendo acompanhada em intervalos de cinco minutos até tornar-se constante. Os valores obtidos foram utilizados para o cálculo da umidade de equilíbrio (GEANKOPLIS, 1993) e posterior ajuste de modelos matemáticos.



**Figura 1:** Sistema de determinação da perda de massa de água da amostra de biomassa. **Fonte:** Timm et al. (2019).

### Construção das curvas de secagem

A cinética de secagem foi realizada por meio da construção de curvas de secagem, para posterior aplicação de modelos matemáticos encontrados na literatura, visando o conhecimento do comportamento da secagem e o tempo ótimo de processo de secagem para obter umidade final abaixo de 15%. Na construção das curvas de secagem e cálculo da umidade de equilíbrio das amostras, com as Equações (1) e (2) foram determinadas, respectivamente, as umidades em base úmida (U) e base seca (X) para as temperaturas (GEANKOPLIS, 1993).

$$U (\%bu) = \frac{\text{massa de água}}{\text{massa total}} * 100 \quad (1) \quad X (\%bs) = \frac{U}{100-U} \quad (2)$$

Para determinar o ponto em que a umidade chega próximo da umidade de equilíbrio, foi plotado um gráfico do teor de umidade em base seca (X) em função do tempo de secagem (t), derivando a equação polinomial obtida em relação ao tempo (TIMM et al., 2019; SILVA et al., 2020). Para calcular a umidade de equilíbrio (Xe) foi plotado um gráfico de velocidade de secagem (-dx/dt) em função ao teor de umidade em base seca (X), através da equação obtida pela regressão linear. Com os dados obtidos, converteram-se a umidade adimensional (Xr), pela Equação (3), construindo as curvas de secagem, teor de umidade em função

de tempo, para cada temperatura realizada (GEANKOPLIS, 1993; TIMM et al., 2019; SILVA et al., 2020).

$$X_r = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3)$$

## Ajustes de Modelos Matemáticos

Realizada a construção das curvas de secagem para as temperaturas de 35, 55 e 65 °C, foi realizado o ajuste de modelos matemáticos empíricos e semi-empíricos aos dados experimentais do processo de secagem, por regressão não linear. Para isso, foi feito um levantamento de modelos propostos na literatura para o estudo da secagem de materiais similares (COSTA et al., 2016; DELGADO et al., 2016; FABANI et al., 2021; GEORGE et al., 2017; KAMAL et al., 2020; SILVA et al., 2020; TIMM et al., 2019; WIRIYAUMPAIWONG et al., 2009) e foram selecionados os sete modelos apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Modelos matemáticos utilizados para ajuste às curvas de secagem.

Modelo	Equação
Diffusion Approach	$X_r = ae^{-kt} + (1-a) e^{-kbt}$
Newton	$X_r = e^{-kt}$
Page	$X_r = ae^{-ktn}$
Henderson e Pabis	$X_r = ae^{-kt}$
Two-term exponential	$X_r = ae^{-kt} + (1-a) e^{-kat}$
Logarítmico	$X_r = a_0 + ae^{-kt}$
Midilli-Kucuk	$X_r = a \exp(-ktn) + bt$
Modified Midilli-Kucuk	$X_r = a \exp(-ktn) + b$
Two-term	$X_r = a_1e^{-kt} + a_2e^{k_2t}$
Wang-Singh	$X_r = at^2 + bt + 1$

Legenda:  $X_r$  = umidade adimensional; “a”, “b”, “k” e “n” = constantes do modelo; t = tempo de secagem.

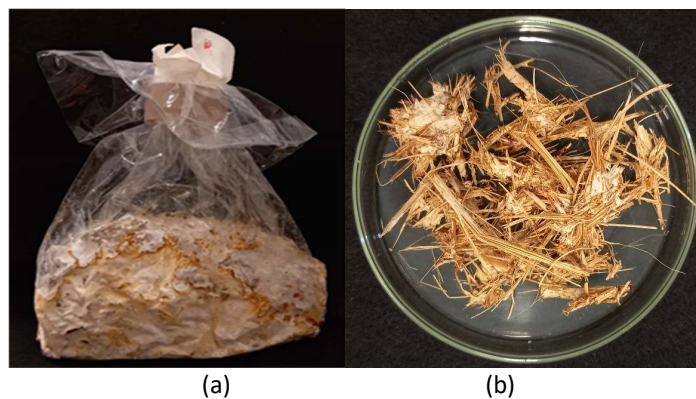
## Composição química da biomassa desidratada

Os parâmetros de processo e composição química das amostras foram determinados seguindo as metodologias oficiais descritas pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Os valores de pH foram medidos utilizando o método potenciométrico com pHmetro digital, previamente calibrado. Para a determinação do teor de umidade foi utilizado o método gravimétrico a 105 °C. O teor de proteína total foi obtido pelo cálculo utilizando o teor de nitrogênio total, por meio do método micro KJELDAHL. O teor de fibras alimentares totais foi obtido por método enzimático-gravimétrico. A determinação do teor de cinzas foi realizada pela carbonização das amostras, seguido de calcinação em mufla a 550° C. Para determinar o teor de lipídios (extrato etéreo) foi realizada por extração direta contínua em aparelho extrator de Soxhlet e o teor de carboidratos totais foi obtido somando os valores de umidade (%), lipídios (%), proteína (%), fibra alimentar total (%) e cinzas (%) e, o total, subtraído de 100%. Para obter o teor de  $\beta$ -glucanas das amostras, foi utilizado o Kit comercial K-YBGL/Megazyme, seguindo-se o protocolo conforme o fabricante, anexo ao kit.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Produção de biomassa

Após 40 dias de incubação, todos os substratos de cultivo foram colonizados pelo fungo *L. edodes* e a biomassa obtida apresentou massa densa e homogênea em micélio (Figura 2).



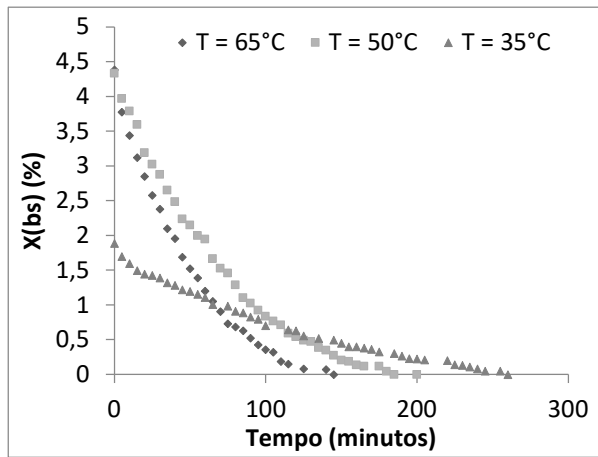
**Figura 2:** Sacos de PP em sistema FES contendo a biomassa (a) e uma amostra (b) após 40 dias a 25 °C.

Todos as amostras de biomassa mantiveram pH na faixa recomendada para substratos de cultivo de *L. edodes* (entre 5,5 e 5,9). Outro importante fator para o desenvolvimento fúngico é o teor de umidade do substrato de cultivo (WISNIEWSKI et al., 2010). Para desenvolvimento micelial de *L. edodes* em resíduo agroindustrial, o teor de umidade deve variar entre 65 e 75% (TONINI, 2004). Os valores encontrados neste estudo se mantiveram dentro desta faixa para substratos no estado inicial (TIMM, 2020), sendo avaliado no início do período de incubação, resultando em 75% em média e, após a secagem da biomassa, os valores variaram de 4,59 a 6,70 g.100g<sup>-1</sup>. Os teores médios de cinzas, proteínas, fibras totais, lipídeos, carboidratos e  $\beta$ -glucanas para a biomassa desidratada por secagem convectiva, nas diferentes temperaturas, foi de 7,5; 11,78; 61,46; 6,17; 6,78 e 7,18 g.100<sup>-1</sup>g, respectivamente. Dados similares foram obtidos por Pasko et al. (2022) e Timm (2020) em estudos com pupunha desidratada a 55°C.

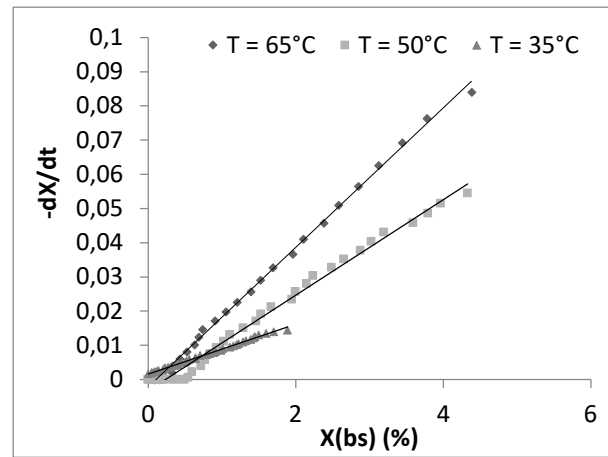
O teor de umidade da biomassa após a secagem indicou valores comercialmente aceitáveis para produtos similares a farinhas comerciais, ou seja, inferiores a 10% de umidade (QI et al., 2014). Ainda, os resultados sugerem alta qualidade nutricional, verificado por elevados teores em proteínas e fibras alimentares e baixo teor em lipídios e teores em carboidratos totais (BRASIL, 2018; BRASIL, 2012). Por fim, a biomassa pode ser considerada com elevado teor em  $\beta$ -glucanas quando comparada ao alimento comercial mais comum com indicação de elevado teor, a aveia, cujo farelo varia de 3 a 7%, em cultivares brasileiros (CRESTANI et al., 2010). Esse elevado teor é atribuído pela colonização do substrato de cultivo por *L. edodes*, que é reconhecido como uma das fontes mais importantes de  $\beta$ -glucanas entre os cogumelos (SARI et al., 2017), enriquecendo a biomassa obtida com propriedades bioativas provenientes da atividade desta molécula. Portanto, sugere-se que a biomassa seca pode ser triturada e utilizada como um ingrediente para a alimentação humana com benefícios tanto para a nutrição quanto para a saúde humana.

### Cinética de Secagem

Com os resultados obtidos da umidade em base úmida e em base seca das cascas de palmeira-real da secagem a 35, 50 e 65 °C, foi plotado um gráfico com o teor de umidade em base seca (X) em função do tempo de secagem (t), representados na Figura 3. Na Figura 4 é apresentado o gráfico de velocidade de secagem (-dX/dt) em função do teor de umidade em base seca (X) para cada temperatura realizada para então encontrar a umidade de equilíbrio.



**Figura 3:** Curvas de secagem da biomassa, para as temperaturas de 35, 50 e 65°C.



**Figura 4:** Variação da velocidade de secagem em função do teor de umidade (base seca).

As umidades de equilíbrio e tempos de secagem, respectivamente, resultaram em 205 minutos e 0,22% para 35 °C, 145 minutos e 0,28% para 50 °C e 115 minutos e 0,12% para 65 °C. Constatou-se uma diminuição contínua exponencial ao longo do tempo, tendo uma rápida redução de umidade no início da secagem, diminuindo gradativamente tendendo a zero. É perceptível a relação temperatura x tempo e ao comparar as curvas é notável a redução de tempo de secagem em relação ao aumento da temperatura, comportamento atribuído pelas altas temperaturas aumentarem a força motriz da transferência de massa acelerando a taxa de difusão de vapor d'água (LIAPIS et al., 1996; PEI et al., 2014; SILVA et al., 2020).

Os parâmetros temperatura e tempo, são dados fundamentais quando se avalia alimentos como frutas, vegetais e cogumelos comestíveis durante a secagem (QI et al., 2014; TIMM et al., 2019). Quando ocorre a perda das suas propriedades biológicas e nutricionais, pode se relacionar a temperaturas muito altas, que afetam seu sabor, sua textura e cor (DAS et al., 2018; QI et al., 2014; SALEHI et al., 2017; TIMM et al., 2019), entretanto como é visto na Figura 3, temperaturas menores acabam levando mais tempo para sua secagem, aumentando o custo do processo. Isso torna a escolha dos parâmetros de processo baseado no custo operacional e nas propriedades desejadas do bioproduto.

A qualidade conhecida da composição do produto tem base com a sua umidade, requerendo um conhecimento prévio sobre a umidade de equilíbrio (GEANKOPLIS, 1993). Com este conhecimento pode-se avaliar e obter condições melhores do processo de secagem e armazenamento do produto, mantendo-o estável, prolongando sua duração e reduzindo o risco de contaminação microbológica (SILVA et al., 2020).

A Figura 4 mostra um aumento proporcional em relação a velocidade de secagem e temperatura. É perceptível uma queda no período de secagem durante todo o processo, entendendo que o processo ocorre por meio de transferência de massa interna por difusão (GEANKOPLIS, 1993; WANG et al., 2014; TIMM et al., 2019). Sendo assim, a difusão é o mecanismo físico predominante regendo o movimento da umidade nas amostras (TULEK, 2011; SILVA et al., 2020). Este mesmo comportamento foi observado em outros estudos com *Lentinula edodes* (WANG et al., 2014; TIMM et al., 2019), *Pleurotus ostreatus* (TULEK, 2011), *Agaricus bisporus* (WAKCHAURE et al., 2010) e *Lentinula crinitus* (SILVA et al., 2020).

## Ajuste de modelos matemáticos

A Tabela 2 sumariza os resultados interativos obtidos para os parâmetros dos modelos ajustados às curvas de secagem para cada temperatura estudada, e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e soma do erro ao quadrado ( $\chi^2$ ).

Realizado o ajuste dos modelos matemáticos pesquisados aos dados encontrados, notou-se que todos os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) estiveram acima de 0,97. Os dez modelos matemáticos testados apresentaram ajuste às curvas experimentais, porém àqueles que representaram mais satisfatoriamente a perda de umidade da biomassa na secagem, apresentando maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e menor soma do erro ao quadrado ( $\chi^2$ ), são os modelos Midilli-Kucuk modificado ( $R^2 = 0,9939$ ;  $\chi^2 = 0,0236$ ) e Two-term ( $R^2 = 0,9943$ ;  $\chi^2 = 0,0223$ ) para 35 °C, Midilli-Kucuk modificado ( $R^2 = 0,9969$ ;  $\chi^2 = 0,0106$ ) e Wang-Singh ( $R^2 = 0,9967$ ;  $\chi^2 = 0,0113$ ) para 50 °C, e Midilli-Kucuk modificado ( $R^2 = 0,9977$ ;  $\chi^2 = 0,0051$ ), Two-term ( $R^2 = 0,9980$ ;  $\chi^2 = 0,0044$ ) para 65 °C (Figura 5).

O modelo Modified Midilli-Kucuk pode representar a cinética de secagem da casca de palmeira-real nas condições propostas deste estudo, representado em todas as temperaturas realizadas com o melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os demais modelos presentes com o melhor  $R^2$  para determinadas temperaturas, sendo eles, Two-term e Wang-Singh, também se adequaram para experimentos de outros autores, como Madeira de *Acacia mangium* (NADHARI et al., 2014a), Tronco de Palmeira (NADHARI et al., 2014b), *L. edodes* (TIMM et al., 2019) e *L. crinitus* (SILVA et al., 2020). Pode-se descrever os mecanismos macroscópicos e microscópicos de transferência de calor e massa durante o processo da secagem pela sua cinética e os modelos matemáticos estão sendo aplicados para descrever e prever esta cinética de secagem (PEI et al., 2014; SILVA et al., 2020). Uma escolha adequada para os modelos de secagem é essencial no auxílio do dimensionamento dos equipamentos, otimização dos processos, e a melhoria dos produtos utilizados, sendo necessário cautela ao utilizar modelos pré-determinados, com o intuito de analisar o conjunto de dados, amostras e parâmetros a serem estudados, observando as particularidades de cada produto (SALEHI et al., 2017; ZHANG et al., 2016; SILVA et al., 2020).

**Tabela 2:** Parâmetros dos modelos ajustados às curvas de secagem (35, 50 e 65 °C) e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e soma do erro ao quadrado ( $\chi^2$ ).

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros	$R^2$	$\chi^2$
Diffusion Approach	35	a = 1,0000; k = 0,0126; b = 1,0001	0,9765	0,0913
	50	a = 1,000; k = 0,0179; b = 1,0000	0,9777	0,0769
	65	a = 0,9993; k = 0,0237; b = 0,9992	0,9887	0,0253
Newton	35	k = 0,0126	0,9765	0,0913
	50	k = 0,0179	0,9777	0,0769
	65	k = 0,0237	0,9887	0,0253
Page	35	n = 1,1349; k = 0,0068	0,9814	0,0722
	50	n = 1,2625; k = 0,0059	0,9928	0,0248
	65	n = 1,1145; k = 0,0151	0,9923	0,0172
Henderson e Pabis	35	a = 1,0003; k = 0,0126	0,9765	0,0913
	50	a = 1,0611; k = 0,0189	0,9814	0,0642
	65	a = 1,0127; k = 0,0240	0,9889	0,0249
Two-term exponencial	35	a = 1,0000; k = 0,0126	0,9765	0,0913
	50	a = 1,0000; k = 0,0179	0,9777	0,0769
	65	a = 1,0001; k = 0,0237	0,9887	0,0253
Logarítmico	35	a = 1,1126; k = 0,0085; a0 = -0,1643	0,9937	0,0245



	50	$a = 1,1344; k = 0,0142; a_0 = -0,1175$	0,9950	0,0172
	65	$a = 1,0790; k = 0,0187; a_0 = -0,1008$	0,9977	0,0052
Midilli-Kucuk	35	$a = 0,9219; k = 0,0053; b = -0,0003; n = 1,1396$	0,9935	0,0251
	50	$a = 0,9646; k = 0,0057; b = -0,0002; n = 1,2428$	0,9967	0,0115
Midilli-Kucuk modificado	65	$a = 0,9724; k = 0,0175; b = -0,0005; n = 1,0429$	0,9974	0,0059
	35	$a = 1,0449; k = 0,0058; b = -0,1175; n = 1,0943$	0,9939	0,0236
	50	$a = 1,0213; k = 0,0062; b = -0,0536; n = 1,2118$	0,9969	0,0106
Two-term	65	$a = 1,0716; k = 0,0180; b = -0,0959; n = 1,0112$	0,9977	0,0051
	35	$a_1 = 5,0023; k_1 = 0,00571; a_2 = -4,0579; k_2 = -0,0048$	0,9943	0,0223
	50	$a_1 = 3,0880; k_1 = 0,0102; a_2 = -2,0750; k_2 = -0,0078$	0,9961	0,0134
Wang-Singh	65	$a_1 = 2,2109; k_1 = 0,0142; a_2 = -1,2372; k_2 = -0,0097$	0,9980	0,0044
	35	$a = 2E-05; b = -0,0089$	0,9859	0,0549
	50	$a = -0,0125; b = 3,9E-05$	0,9967	0,0113
	65	$a = 6,9E-05; b = -0,0167$	0,9870	0,028

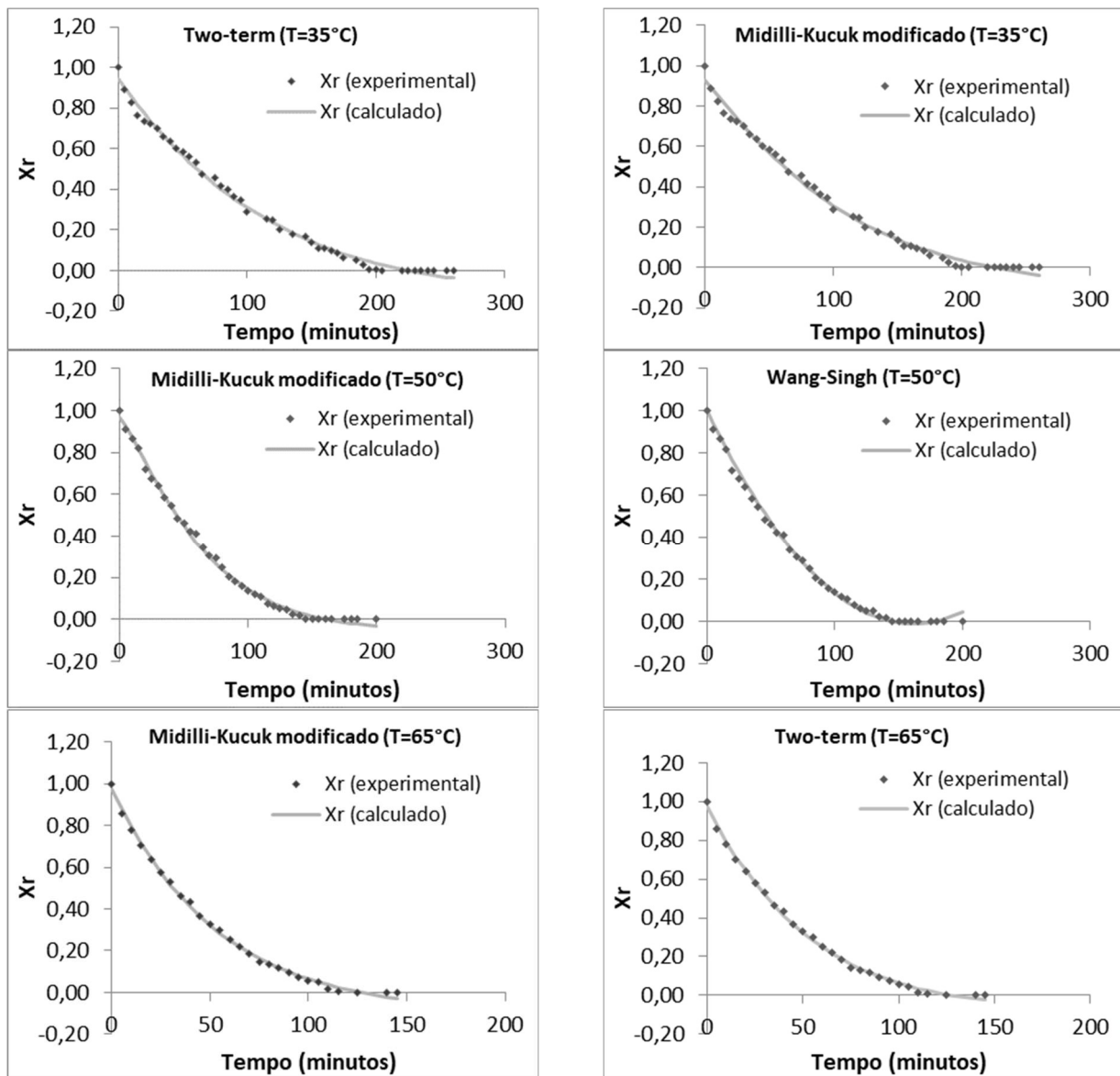


Figura 5: Modelos melhor ajustados às curvas de secagem da biomassa (35, 50 e 65 °C).

Por fim, a dinâmica de secagem foi melhor representada pelos modelos a 65 °C, considerando a redução de custo do processo e a possibilidade de manutenção da composição nutricional e teor em  $\beta$ -glucanas das amostras secas em diferentes temperaturas. Esta mesma constatação foi realizada por Timm et al. (2019) em um estudo de secagem de amostras de cogumelo shiitake em três diferentes temperaturas.

Neste estudo, os autores observaram a manutenção das características do cogumelo em termos de fibras e  $\beta$ -glucanas (TIMM et al., 2019). É possível que esta estabilidade seja mantida devido à forte associação das moléculas na amostra, particularmente macromoléculas como proteínas e polissacarídeos, sendo difíceis de quebrar durante o processo de secagem e a remoção de água em temperaturas mais baixas (GUO et al., 2014). Por isso, mesmo que os modelos a 35 e 50 °C também possam ser utilizados, eles excedem o tempo de processo que reverte na redução de custo energético, podendo, também, haver a manutenção de propriedades nutricionais e de polissacarídeos como as  $\beta$ -glucanas durante o processo de secagem nas condições estudadas.

## **CONCLUSÕES**

Os mecanismos macroscópicos e microscópicos de transferência de calor e massa durante o processo da secagem são representados pela sua cinética e os modelos matemáticos podem ser aplicados para descrever e prever esta cinética de secagem. Assim, a escolha adequada dos modelos de secagem é essencial no auxílio do dimensionamento dos equipamentos, otimização dos processos e melhoria dos produtos. Porém, é necessária certa cautela ao utilizar modelos pré-determinados para analisar o conjunto de dados, amostras e parâmetros de processo, observando as particularidades de cada caso. Os modelos matemáticos estudados auxiliaram na predição do tempo de secagem e da umidade final da biomassa obtida, indicando sua importância do ponto de vista industrial (obtenção de novos produtos alimentícios e mais saudáveis) e comercial (vida de prateleira). Nas condições estudadas, o teor de umidade final da biomassa encontra-se dentro dos parâmetros da legislação brasileira e, poderá retardar a deterioração se for gerado uma farinha para uso em panificação.

A combinação das características nutricionais das cascas de palmeira suplementadas com subprodutos do processamento do arroz e da mandioca, foi adequada para a colonização do fungo, indicando efetividade do processo de cultivo em sistema FES, pois resultou em uma biomassa densa e homogênea. Espera-se que este estudo forneça subsídios e que possibilite a continuação de pesquisas para geração de produtos alimentícios inovadores e factíveis de comercialização, empregando a biotecnologia.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Unidade Florestas, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e às Empresas Hercílio de Féculas e IMCOPA pela doação de bagaço de mandioca e farelo de soja. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; DS 88887.490173/2020-00; A autora L.B.B. Tavares é bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [305880/2020-9 - CNPq Nº 02/2020].

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Instrução normativa IN n.28 de 26 de julho de 2018.** Estabelece as listas de constituintes, de limites de uso, de alegações e de rotulagem complementar dos suplementos alimentares. Brasília: DOU, 2018.

BRASIL. **Resolução de diretoria colegiada RDC n.54 de 12 de novembro de 2012.** Aprova o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. Brasília: DOU, 2012.

ANJOS, C. N.; BARROS, B. H. S.; SILVA, E. I. G.; MENDES, M. L. M.; MESSIAS, C. M. B. O.. Desenvolvimento e aceitação de pães sem glúten com farinhas de resíduos de abóbora (*Cucurbita moschata*). **Arquivos de Ciências da Saúde**, v.24., n.4, p.58-62, 2017. DOI: <http://doi.org/10.17696/2318-3691.24.4.2017.870>

BENTO, C. B. P.; CASARIL, K. B. P. B.. Bioconversão de resíduos agroindustriais lignocelulósicos por fungos causadores da podridão branca: uma alternativa à produção de alimentos. **Revista Faz Ciência**, v.14, n.19, p.151-180, 2012. DOI: <http://doi.org/10.48075/rfc.v14i19.8030>

COSTA, C. F.; CORRÊA, P. C.; VANEGAS, J. D. B.; BAPTESTINI, F. M.; CAMPOS, R. C.; FERNANDES, L. S.. Mathematical modeling and determination of thermodynamic properties of jaboticaba peel during the drying process. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.6, p.576-580, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p576-580>

COSTA, T. M.; KAUFMANN, V.; PAGANELLI, C. J.; SIEBERT, D. A.; MICKE, G. A.; ALBERTON, M. D.; TAVARES, L. B. B.; OLIVEIRA, D.. Kinetic identification of phenolic compounds and potential production of caffeic acid by *Ganoderma lipsiense* in solid-state fermentation. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v.43, p.1-8, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00449-019-02131-8>

CRESTANI, M.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; GUTKISKI, L. C.; SARTORI, J. F.; BARBIERI, R. L.; BARETTA, D..  $\beta$ -glucan content in white oat cultivars grown in different environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.3, p.261-268, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000300005>

DAS, I.; ARORA, A.. Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. **Journal of Food Engineering**, v.223, n.1, p.208-219, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.018>

DELGADO, T.; PEREIRA, J. A.; CASAL, S.; RAMALHOSA, E.. Effect of Drying on Color, Proximate Composition and Drying Kinetics of Sliced Chestnuts. **Journal of Food Process Engineering**, v.39, n.5, p.512-519, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1111/jfpe.12244>

FABANI, M. P.; CAPOSSIO, J. P.; ROMÁN, M. C.; ZHU, W.; RODRIGUEZ, R.; MAZZA, G.. Producing non-traditional flour from watermelon rind pomace: Artificial neural network (ANN) modeling of the drying process. **Journal of Environmental Management**, v.281, p.111915, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111915>

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

GEORGE, C.; MOGIL, Q.; ANDREWS, M.; EWING, G.. Thin layer drying curves for shredded breadfruit (*Artocarpus altilis*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v.41, n.5, p.e13146, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1111/jfpp.13146>

GUO, X.-H.; XIA, C.-Y.; TAN, Y.-R.; CHEN, L.; MING, J.. Mathematical modeling and effect of various hot-air drying on mushroom (*Lentinus edodes*). **Journal of Integrative Agriculture**, v.13, n.1, p.207-216, 2014. DOI: [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60265-8](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60265-8)

HELM, C. V.; CORADIN, J. H.; KESTRING, D. R.. **Avaliação da Composição Química dos Cogumelos Comestíveis *Agaricus bisporus*, *Agaricus brasiliensis*, *Agaricus bisporus portobello*, *Lentinula edodes* e *Pleurotus ostreatus*:** Comunicado técnico 235. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

HELM, C. V.; RAUPP, D. S.; SANTOS, Á. F.. Development of peach palm fibrous flour from the waste generated by the heart of palm agribusiness. **Acta Scientiarum - Technology**, v.36, n.1, p.171-177, 2014. DOI: <http://doi.org/10.4025/actascitechnol.v36i1.17165>

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz:** Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

KAMAL, M. D. M.; ALI, M. D. R.; SHISHIR, M. R. I.; MONDAL, S. C.. Thin-layer drying kinetics of yam slices, physicochemical, and functional attributes of yam flour. **Journal of Food Process Engineering**, v.43, n.8, p.e13448, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1111/jfpe.13448>

LIAPIS, A. I.; PIM, M. L.; BRUTTINI, R.. Research and Development Needs and Opportunities in Freeze Drying. **Dry Technology**, v.14, n.6, p.1265-1300, 1996. DOI: <http://doi.org/10.1080/07373939608917146>

MENON, D.; SANTOS, J. S.. Consumo de proteína por praticantes de musculação que objetivam hipertrofia muscular. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.18, n.1, p.1-12, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1517-86922012000100001>

MURPHY, E. J.; MASTERSON, C.; REZOAGLI, E.; O'TOOLE, D.; MAJOR, I.; STACK, G. D.; LYNCH, M.; LAFFEY, J. G.; ROWAN, N. J..  $\beta$ -Glucan extracts from the same edible shiitake mushroom *Lentinus edodes* produce differential in-vitro immunomodulatory and pulmonary cytoprotective effects: Implications for coronavirus disease (COVID-19) immunotherapies. **Science of the Total Environment**, v.732, p.139330, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139330>

NADHARI, W. N. A. W.; HASHIM, R.; DANISH, M.; SULAIMAN, O.; HIZIROGLU, S.. A Model of Drying Kinetics of *Acacia mangium* Wood at Different Temperatures. **Drying Technology**, v.32, n.3, p.361-370, 2014a. DOI: <http://doi.org/10.1080/07373937.2013.829855>

NADHARI, W. N. A. W.; HASHIM, R.; SULAIMAN, O.; JUMHURI, N.. Drying kinetics of oil palm trunk waste in control atmosphere and open-air convection drying.

**International Journal of Heat and Mass Transfer**, v.68, p.14-20, 2014b. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.09.009>

NASCIMENTO, V. R. G.; BIAGI, J. D.; OLIVEIRA, R. A.. Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de Moringa oleífera. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.7, p.686-92, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p686-692>

PASKO, R. Z.; TIMM, T. G.; LIMA, G. G.; HELM, C. V.; LIMA, E. A.; HENRIQUES, G. S.; TAVARES, L. B. B.. In Vivo Evaluation and Nutritional Quality of By-Product Subjected to Solid State-Fermentation Using Shiitake Culinary-Medicinal Mushroom *Lentinula edodes* (Agaricomycetes).

**International Journal of Medicinal Mushrooms**, v.24, n.1, p.53-66, 2022. DOI:

<http://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2021041945>

PEI, F.; SHI, Y.; MARIGA, A. M.; YANG, W.-J.; TANG, X.-Z.; ZHAO, L.-Y.; AN, X.-X.; HU, Q.-H.. Comparison of freeze-drying and freeze-drying combined with microwave vacuum drying methods on drying kinetics and rehydration characteristics of button mushroom (*Agaricus bisporus*) slices. **Food and Bioprocess Technology**, v.7, n.6, p.1629-1639, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11947-013-1199-0>

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. DOI:

<http://doi.org/10.1080/07373937.2014.929588>

SALEHI, F.; KASHANINEJAD, M.; JAFARIANLARI, A.. Drying kinetics and characteristics of combined infrared-vacuum drying of button mushroom slices. **Heat and Mass Transfer**, v.53, n.5, p.1751-1759, 2017. DOI:

<http://doi.org/10.1007/s00231-016-1931-1>

SARI, M.; PRANGE, A.; LELLEY, J. I.; HAMBITZER, R.. Screening of beta-glucan contents in commercially cultivated and wild growing mushrooms. **Food Chemistry**, v.216, n.1, p.45-51, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.010>

SCHMITZ, W.; HECK, T. C.; HERMANN, K. L.; VEGINI, A. A.; TAVARES, L. B. B.. Levantamento sobre a produção de resíduos sólidos gerados no processamento de palmito em Santa Catarina, Brasil. **Educação Ambiental em Ação**, v.16, n.63, p.1-14, 2018.

SERBENT, M. P.; BORGES, A. G.; TAVARES, L. B. B.. Growth, enzymatic production and morphology of the white-rot fungi *Lentinus crinitus* (L.) Fr. upon 2,4-D herbicide exposition.

**International Journal of Environmental Science and Technology**, v.17, p.2995-3012, 2020. DOI:

<http://doi.org/10.1007/s13762-020-02693-1>

SILVA, D. H. S.; TIMM, T. G.; COSTA, T. M.; HELM, C. V.; TAVARES, L. B. B.. Secagem de cogumelos comestíveis como prática sustentável. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v.9, p.803-846, 2020. DOI:

<http://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020830-846>

TIMM, T. G.. **Obtenção de um suplemento alimentar tipo shake contendo micélio de fungos comestíveis e casca de**

**palmito pupunha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2020.

TIMM, T. G.; HELM, C. V.; ALBERTON, M. D.; HENRIQUES, G. S.; TAVARES, L. B. B.. Cascas de pupunha colonizadas por *L. edodes* como ingrediente para suplemento alimentar tipo shake. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 23. **Anais**. Gramado: Galoá, 2021.

TIMM, T. G.; LIMA, G. G.; MATOS, M.; MAGALHÃES, W. L. E.; TAVARES, L. B. B.; HELM, C. V.. Nanosuspension of pinhão seed coat development for a new high functional cereal bar. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.44, n.6, p.e14464, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1111/jfpp.14464>

TIMM, T. G.; PASKO, R. Z.; CAMPOS, C. S. G.; HELM, C. V.; TAVARES, L. B. B.. Drying Process of *Lentinula edodes*: The Influence of Temperature on the Beta-glucan Content and Mathematical Modeling. **Ciência e Agrotecnologia**, v.43, n.1, p.e025719, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1590/1413-7054201943025719>

TONINI, R. C. G.. **Utilização da bainha mediana de palmito (*Euterpe edulis* Mart. *Arecaceae*) como substrato para cultivo de *Lentinula edodes* (Beck) Pegler**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

TONINI, R. C. G.; SANTOS, F.; ISHIKAWA, N. K.; TAVARES, L. B. B.. Utilização de Bainha Mediana de palmito (*Euterpe edulis*) Mart. *Arecaceae* como Substrato de Frutificação para o Cultivo Axênico de *Lentinula edodes* (Beck.) Pegler. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.S2, p.204-206, 2007.

TULEK, Y.. Drying kinetics of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in a convective hot air dryer. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.13, n.1, p.655-664, 2011.

VIANA, M. R.; NEVES, A. S.; CAMARGO, K. R.; PRADO, S. D.; MENDONÇA, A. L. O.. A racionalidade nutricional e sua influência na medicalização da comida no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.22, n.2, p.447-456, 2017. DOI:

<http://doi.org/10.1590/1413-81232017222.25432015>

WANG, H.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S.. Comparison of three new drying methods for drying characteristics and quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). **Dry Technology**, v.32, n.15, p.1791-1802, 2014. DOI:

<http://doi.org/10.1080/07373937.2014.947426>

WIRIYAUMPAIWONG, S.; RAIKHAM, K.; YANGVO, P.; SOPONRONNARIT, S.. Moisture desorption of paddy by two different porous media: mathematical models and experimental data. **Journal of Food Process Engineering**, v.32, n.3, p.319-337, 2009. DOI:

<http://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00218.x>

WISNIEWSKI, A. C.; ALMEIDA, M. Â. L.; PALMA, M. B.; TAVARES, L. B. B.. Produção de enzimas amilolíticas por *Macroclybe titans* em resíduo do processamento de cerveja. **Revista Brasileira de Biociências**, v.8, n.3, p.285-293, 2010.

ZHANG, Z.; LIU, Z.; LIU, C.; LI, D.; JIANG, N.; LIU, C.. Effects of ultrasound pretreatment on drying kinetics and quality parameters of button mushroom slices. **Dry Technology**,

v.34, n.15, p.1791-1800, 2016. DOI:

<http://doi.org/10.1080/07373937.2015.1117486>

ZIED, D. C.; PENACHIO, S. M.; DIAS, E. S.; MINHONI, M. T. A.;  
FERRAZ, R. L. V.. Influence of productivity and processing

method on physicochemical characteristics of white button mushrooms in Brazil. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v.94, n.14, p.2850-2855, 2014. DOI:  
<http://doi.org/10.1002/jsfa.6624>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea ([https://opensea.io/HUB\\_CBPC](https://opensea.io/HUB_CBPC)), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

*The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).*



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157862677429616641/>