

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS CENTRAL - CET
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
KARINA AZEVEDO FONSECA

**MÉTODOS DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA EM TUBÉRCULOS
DE BATATAS**

ANÁPOLIS, GOIÁS

2023

KARINA AZEVEDO FONSECA

**MÉTODOS DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA EM TUBÉRCULOS
DE BATATAS**

Orientador Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás - UEG, Câmpus Central Sede Anápolis – CET, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ANÁPOLIS, GOIÁS

2023

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG com os dados
fornecidos pelo(a) autor(a).

FF676c Fonseca, Karina Azevedo
MÉTODOS DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA em
TUBÉRCULOS DE BATATA / Karina Azevedo Fonseca;
orientador Ivano Alessandro Devilla. -- Anápolis,
2023.
74 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola) --
Câmpus Central - Sede: Anápolis - CET,

1. Cinética de secagem. 2. Leito fluidizado. 3.
Modelos matemáticos. 4. Solanum tuberosum L.. 5.
Karina Azevedo Fonseca. I. Devilla, Ivano Alessandro
, orient.

KARINA AZEVEDO FONSECA

**MÉTODOS DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA EM TUBÉRCULOS
DE BATATAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Central de Ciências Exatas e Tecnológicas – Sede: Anápolis, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovado em: 20 de Outubro de 2023.

Banca Examinadora

**Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla – UEG /Campus Central
Orientador**

**Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira – UEG /Campus Central
Membro**

**Prof. Dra. Renata Cunha dos Reis – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Goiás.
Membro**

ANÁPOLIS – GO
2023

Dedicatória

A minha amada mãe avó Maria Domingas Martins (*In memorium*), que não mediu esforços para que a educação fosse prioridade em minha vida. É pela senhora que não desisti. Gratidão por toda força que emana de onde quer que esteja.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Gratidão por me permitir errar, aprender e crescer, por Sua eterna compreensão e tolerância, por Seu infinito amor, pela Sua voz “invisível” que não me permitiu desistir e principalmente por ter me dado uma família tão acolhedora.

Ao meu orientador, Prof^o Dr. Ivano A. Devilla por toda contribuição e auxílio no desenvolvimento deste projeto.

As minhas colegas Ana Maria, Alessandra Félix e Sabrina por todo apoio e por sempre segurar minha mão nos momentos onde o desejo era desistência, gratidão por todas as palavras. Vou levar vocês sempre no meu coração.

Aos meus pais Maria Inês e Eduardo Monteiro por todo apoio mesmo a 2.150 km de distância, o amor de vocês é meu combustível.

Aos meus irmãos, Eduardo Felipe, Eddie Myller, Maria Eduarda, Valentina e a pequena Lorena por toda força.

Ao meu amado filho que chegou em meio a esse desafio, você ressignificou minha vida e se tornou o motivo mais belo para que eu não desista de nada nessa vida.

Ao meu melhor amigo e marido Breno Azevedo, por todo cuidado, afeto, amor e auxílio em todas as etapas desse processo. Obrigada por sempre me reerguer, por todas as noites em claro e por ser minha rede de apoio nesse lugar tão longe de nossos familiares.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola da UEG que, contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

A CAPES, pelo fomento.

À Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Central e ao Programa de Mestrado *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola.

Enfim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

Sem vocês nada disso seria possível!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos matemáticos usados para prever a cinética de secagem de produtos agrícolas.....	38
Tabela 2. Análise de variância para o tempo de secagem de chips de batatas Monalisa e Asterix submetidas a diferentes temperatura e métodos de secagem.....	39
Tabela 3. Desdobramento da interação da temperatura dentro de cada método de secagem...	40
Tabela 4. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre temperatura e método de secagem.	40
Tabela 5. Desdobramento da interação dos métodos dentro de cada temperatura de secagem.	40
Tabela 6. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre método de secagem e temperatura.	41
Tabela 7. Desdobramento da interação da temperatura de secagem dentro das variedades estudadas.....	41
Tabela 8. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre temperatura e variedade.	42
Tabela 9. Desdobramento da interação das variedades de batata dentro das temperatura de secagem estudadas para a variável tempo de secagem.....	42
Tabela 10. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre variedade e temperatura.	43
Tabela 11. Desdobramento da interação do método de secagem dentro de cada variedade de batata estudada, em relação a variável tempo de secagem.	43
Tabela 12. Resultados médios do tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre método de secagem e variedades de batatas.....	43
Tabela 13. Desdobramento da interação variedade de batata estudada dentro de cada do método de secagem, em relação a variável tempo de secagem.	44
Tabela 14. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre variedade e temperatura	44
Tabela 15. Análise de variância para o teor de água (%) de chips de batatas Monalisa e Asterix submetidas a diferentes temperatura e métodos de secagem.....	45
Tabela 16 - Desdobramento da interação do fator temperatura dentro de cada método de secagem.	45

Tabela 17. Comparação múltipla das médias de teor de água (%b.u.), considerando a interação entre temperatura e método de secagem.....	46
Tabela 18. Desdobramento da interação do fator método de secagem dentro de cada temperatura de secagem.....	46
Tabela 19. Comparação múltipla das médias de teor de água (%b.u.), considerando a interação entre método e temperatura.	47
Tabela 20. Parâmetros estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2); Erro médio estimado (SE) e Erro médio relativo (P), calculados para verificação do ajuste dos modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem dos chips de batata variedade Asterix obtidos nas temperaturas de 35 a 65 °C, para cada modelo avaliado.	49
Tabela 21. Valores dos coeficientes dos modelos ajustados para chips de batata Asterix na estufa de circulação forçada.	50
Tabela 22. Parâmetros estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2); Erro médio estimado (SE) e Erro médio relativo (P), estimados para o ajuste dos modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem dos chips de batata Monalisa obtidos nas temperaturas de 35 a 65 °C, para cada modelo avaliado na estufa de circulação forçada.....	51
Tabela 23. Valores dos coeficientes dos modelos ajustados para chips de batata Monalisa na estufa de circulação forçada.	53
Tabela 24. Parâmetros estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2); Erro médio estimado (SE) e Erro médio relativo (P), estimados para seleção dos modelos dos chips de batata Asterix obtidos nas temperaturas de 35 à 65 °C.....	56
Tabela 25. Valores dos coeficientes dos modelos ajustados para chips de batata Asterix no secador de leito fluidizado.....	57
Tabela 26. Parâmetros estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2), Erro médio relativo (P) e Erro médio estimado (SE); calculados para verificação do ajuste dos modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem dos chips de batata Monalisa obtidos nas temperaturas de 35 à 65 °C, para cada modelo avaliado.	59
Tabela 27. Valores dos coeficientes dos modelos ajustados para chips de batata Monalisa no secador de leito fluidizado.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Umidade do alimento durante a secagem	25
Figura 2 - Desenho esquemático do equipamento utilizado para a determinação da velocidade terminal dos chips de batata Monalisa e Asterix.	35
Figura 3 - Diagrama esquemático do secador de leito fluidizado experimental.	36
Figura 4 - Curvas de secagem estimadas e experimentais de Chips de batata Asterix em estufa de circulação forçada nas temperaturas de 35, 55 e 65°C.....	50
Figura 5 - Curvas de secagem estimadas e experimentais de Chips de batata Monalisa em estufa de circulação forçada nas temperaturas de 35, 45, 55 e 65°C.....	54
Figura 6 - Curvas de secagem estimadas e experimentais de Chips de batata Asterix em secador de leito fluidizado nas temperaturas: 45 a 65°C.	58
Figura 7 - Curvas de secagem estimadas e experimentais de Chips de batata Monalisa em secador de leito fluidizado nas temperaturas: 35, 45, 55 e 65°C.	61

RESUMO

A batata é considerada uma das olerícolas com alta taxa de perecibilidade, e o aumento da vida de prateleira é fundamental para ampliar a sua comercialização e elevar a qualidade pós-colheita. Nesse sentido, o objetivo do estudo comparar a secagem de chips de batata Asterix e Monalisa submetidas a diferentes temperaturas de secagem em estufa de circulação forçada de ar e secador de leito fluidizado. O experimento foi realizado em esquema fatorial $2 \times 2 \times 4$, no qual os tratamentos foram constituídos de dois métodos de secagem (estufa de circulação forçada e secador de leito fluidizado), duas variedades de batata (Asterix e Monalisa) e quatro temperaturas de secagem (35, 45, 55 e 65°C), com três repetições. Os modelos matemáticos testados para prever a cinética de secagem foram: Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis, Logarítmico, Newton, Page, Midilli, Thompson e Wang e Sing. Para os resultados obtidos foi aplicada análise de Variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância e as variáveis de saída foram: tempo de secagem e teor de água do produto. Concluiu-se que na temperatura de 65°C o método de secagem com leito fluidizado é mais eficiente para a secagem dos chips de batata Asterix e Monalisa em relação à estufa de circulação forçada, no qual levou 96,6 minutos para que os chips atingissem o equilíbrio higroscópico, se tornando mais eficiente sua aplicabilidade. Para a seleção da modelagem matemática: Secagem em estufa de circulação forçada, variedade Asterix o melhor modelo que se adequou às temperaturas de 35 a 65°C foram Wang e Singh, Logarítmico e Henderson e Pabis, respectivamente. Com exceção da temperatura de 45°C que não obteve ajuste satisfatório. Para a variedade Monalisa, o modelo matemático que se ajustou às temperaturas foram, em 50% das temperaturas Wang e Singh (35 e 45°C), para as demais temperaturas Thompson e Midilli, respectivamente. Já para o método de secagem com secador de leito fluidizado, para variedade Asterix os modelos matemáticos ajustados foram, para 35°C não houve ajuste, para a temperatura de 45°C Wang e Singh e 55 e 65°C Exponencial de Dois Termos. Para a batata Monalisa, os modelos adequados para temperatura de 35 e 65°C Wang e Singh, para 45°C Exponencial de Dois Termos e para 55°C Page.

Palavras-chave: Cinética de secagem; Leito fluidizado, Modelos matemáticos; *Solanum tuberosum* L.

ABSTRACT

A potato is considered one of the perishable vegetables, and increasing its shelf life is essential to expand its commercialization and improve post-harvest quality. In this regard, the study aimed to compare the drying of Asterix and Monalisa potato chips subjected to different drying temperatures in a forced-air circulation oven and a fluidized bed dryer. The experiment was conducted in a 2 x 2 x 4 factorial scheme, where treatments consisted of two drying methods (forced-air circulation oven and fluidized bed dryer), two potato varieties (Asterix and Monalisa), and four drying temperatures (35, 45, 55, and 65°C), with three replications. The mathematical models tested to predict the drying kinetics were: Two-term Exponential, Henderson and Pabis, Logarithmic, Newton, Page, Midilli, Thompson, Wang, and Singh. Analysis of Variance and comparison of means using Tukey's test at 5% significance level were applied to the obtained results, with the output variables being drying time and product moisture content. It was concluded that at 65°C, the fluidized bed drying method is more efficient for drying Asterix and Monalisa potato chips compared to forced-air circulation oven, taking 96.6 minutes for the chips to reach hygroscopic equilibrium, thus enhancing its applicability. For the selection of the mathematical model: For forced-air circulation oven drying, Asterix variety, the best-fitting models for temperatures ranging from 35 to 65°C were Wang and Singh, Logarithmic, and Henderson and Pabis, respectively, except for 45°C which did not achieve satisfactory adjustment. For the Monalisa variety, the mathematical model that fitted the temperatures were, at 50% of the temperatures Wang and Singh (35 and 45°C), and for the remaining temperatures Thompson and Midilli, respectively. As for the fluidized bed drying method, for the Asterix variety, the adjusted mathematical models were, at 35°C, no adjustment was observed, at 45°C Wang and Sing, and at 55 and 65°C Two-Term Exponential. For the Monalisa potato, the appropriate models for temperatures of 35 and 65°C were Wang and Sing, for 45°C Two-Term Exponential, and for 55°C Page.

Keywords: Drying kinetics; Fluidized bed, Mathematical models; *Solanum tuberosum* L.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE FIGURAS	12
RESUMO	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO TEÓRICA	19
2.1 Importância da secagem	19
2.2 Métodos de secagem.....	20
2.3 Cinética da secagem	23
2.4 Modelagem matemática.....	26
2.5 Seleção de secadores	27
2.5.1 Estufa de circulação forçada.....	28
2.5.2 Leito fluidizado	30
2.6 BATATA (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	31
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Caracterização da área de estudo.....	32
3.2 Aquisição e preparo das amostras	32
3.2.1 Recepção e seleção das batatas Asterix e Monalisa	32
3.2.2 Higienização dos tubérculos.....	32
3.2.3 Fatiamento das amostras.....	32
3.2.4 Tratamento pré-secagem: Branqueamento	33
3.2.5 Pesagem	33
3.3 Delineamento experimental e tratamentos	33
3.4 Procedimento de secagem	33
3.4.1. Secagem em estufa circulação de ar	33
3.4.2 Secagem em secador de leito fluidizado.....	34
3.4.2.1 Descrição do processo de secagem.....	36
3.5 Procedimentos específicos para os métodos de secagem	37
3.5.1 Curvas de secagem	37
3.5.2 Modelagem matemática.....	37
3.5.3 Teor de água inicial	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Variável tempo	39
4.1.1 Desdobramento da interação Temperatura*Método de Secagem	39

4.1.2	<i>Desdobramento da interação Método de Secagem*temperatura</i>	40
4.1.3	<i>Desdobramento da interação Temperatura de Secagem*Variedade das batatas ..</i>	41
4.1.4	<i>Desdobramento da interação Variedade das batatas*Temperatura de Secagem ..</i>	42
4.1.5	<i>Desdobramento da interação Método de Secagem*Variedade das batatas</i>	43
4.1.6	<i>Desdobramento da interação Variedade das batatas*Método de secagem</i>	44
4.2	<i>Variável teor de água</i>	44
4.2.1	<i>Desdobramento da interação Temperatura*Método de Secagem</i>	45
4.2.2	<i>Desdobramento da interação Método de Secagem* Temperatura</i>	46
4.3	<i>Modelagem matemática da secagem de chips de batatas asterix e monaliza em diferentes secadores.....</i>	47
4.3.1	<i>Estufa de circulação forçada.....</i>	47
4.3.1	<i>Secador de leito fluidizado</i>	55
5	CONCLUSÕES	62
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

A introdução da batata (*Solanum tuberosum* L.) no Brasil veio pelos imigrantes europeus no final do século XIX pela região sul, local em que as condições climáticas eram mais propícias para a produção (VIEIRA, 2019). Atualmente a cultura da batata é a terceira mais consumida no mundo e a quinta commodity mais produzida. No Brasil a cultura é de grande relevância, atingindo uma produção anual de 3,5 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2023; FAOSTAT, 2023).

Ademais, o mercado da cultura da batata tornou-se competitivo impactando no desenvolvimento da indústria e consequentemente na diversidade de produtos disponíveis no mercado, como: batata pré-cozida, batata palito pré-frita congelada, batata chips, batata palha, batata em cubo desidratada, fécula, flocos de batata, dentre outros (PEDRESCHI, 2012). Além disso, no Brasil a maior parte do que é produzido é para consumo *in natura*, todavia a industrialização vem crescendo em todo o mundo (SANTOS, 2009).

Durante o armazenamento *in natura* ocorre diversas alterações de qualidade que podem implicar na depreciação do produto, como esverdeamento, brotamento e perda de água que faz com que a batata murche e reduza de peso, além da redução de amido e consequentemente o acúmulo de glicose (KOBELITZ, 2011). A batata também é susceptível as atividades microbianas que implicam na degradação e deterioração pelo seu elevado teor de umidade. E por ser sazonal não mantém a qualidade ideal por um período maior de armazenamento após a colheita (ONWUDE et al., 2019).

Nesse sentido, é necessário o uso de técnicas pós-colheitas que possibilite longos períodos de armazenamento, redução das perdas de produção e agregação de valor do produto agrícola (BARRETO, 2016). Assim, o uso de secagem vem sendo bastante estudada e utilizada para se obter produtos de qualidade em menos tempo de processamento, além de preservar a qualidade do produto agrícola (KOTOVICZ, 2011). Outra vantagem da secagem, é que a técnica também é aplicada para facilitar o transporte e o armazenamento dos produtos, reduzindo assim os custos dessas etapas (SANTOS JÚNIOR, 2021).

A secagem dos produtos agrícolas, como frutas e hortaliças tem o intuito de eliminar um líquido volátil contido num corpo não volátil por meio da evaporação, sendo realizado através do fornecimento de calor para evaporar a umidade do produto (PARK

et al., 2007). Ou seja, a secagem é bastante usada para preservar os alimentos e consiste na aplicação de calor e remoção de umidade.

Os principais parâmetros que controlam a taxa de secagem dos alimentos são temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, que alteram de acordo com o tipo do produto e método de secagem (RAMALHO, 2018; SIVAKUMAR et al., 2016 e CELESTINO, 2010). É uma prática antiga que se iniciou com a secagem ao sol com a finalidade de preservar os excedentes das colheitas para serem consumidas nos períodos de escassez (PALACIN et al., 2005; AGUIRRE, 2002).

Dessa maneira, a tecnologia empregada nos métodos de secagem vem otimizando o processo cada vez mais (QUEIROZ et al., 2011). A secagem convectiva com ar quente vem sendo o método mais empregado nas culturas agrícolas (AN et al., 2016). A técnica se baseia no aquecimento do alimento a partir da exposição a uma corrente de ar com temperatura elevada e em períodos que alteram de acordo com o teor de água final desejado e o tipo do produto a ser seco (SANTOS JÚNIOR, 2021).

Existem diversos tipos de secadores aptos para uso na indústria alimentícia como os secadores de leito fixo (batelada) e secadores móvel (contínuo). O mais comum de leito fixo são as estufas de circulação de ar e o secador mais comum móvel é o de leito fluidizado. A secagem realizada por estufa de circulação de ar é considerado o mais simples, pois se trata de uma câmara em que o produto a ser desidratado é colocado em bandejas ou tabuleiros. Já o leito fluidizado atua de forma que o ar de secagem se mova por uma placa perfurada ocasionando a agitação no produto que está sobre a placa. A força do fluxo do ar deve superar a velocidade terminal do produto, provocando turbulência (TUNNERMANN, 2018).

Existem diversos trabalhos que estudam o comportamento de cada alimento durante a redução do teor de água, pois é relevante para o desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos de secagem. A secagem dos produtos agrícolas pode ser entendida por meio de modelos matemáticos.

A temperatura de secagem, embora seja um dos critérios estabelecidos nas normas ou caracterização de determinados ensaios, difere de ensaio para ensaio. Mais ainda, por vezes, na execução dos ensaios é prática laboratorial o recurso a temperaturas de secagem mais elevadas de forma a atingir mais rapidamente a condição de massa constante. No entanto, apesar da secagem industrial reduzir consideravelmente o tempo necessário ao

condicionamento, as temperaturas altas podem causar uma secagem indesejada, afetando a estrutura do produto.

Nesse sentido, o objetivo do estudo foi comparar a secagem de chips de batata Asterix e Monalisa submetidas a diferentes temperaturas de secagem em estufa de circulação forçada de ar e secador de leito fluidizado, além de ajustar modelos matemáticos de secagem.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 Importância da secagem

A secagem é uma técnica antiga relatada desde os primórdios da história da civilização humana, com o objetivo de conservar os alimentos como frutas, hortaliças, nozes e carnes por mais tempo. Desse modo, o método arcaico mais utilizado era a secagem utilizando a energia solar, onde estes alimentos eram expostos a radiação solar até que atingissem o ponto de desidratação pré-determinadas, de forma totalmente empírica (ALVES, 2014). Com isso, a secagem tornou-se uma tecnologia que vem sendo amplamente estudada e aperfeiçoada para se obter produtos com qualidade em menor tempo de processamento (KOTOVICZ, 2011).

A secagem pode ser definida como uma operação na qual a água ou qualquer outro líquido é retirado de um material, resultando na desidratação de um alimento sólido na forma de vapor por meio de um mecanismo de vaporização térmica com uma temperatura inferior à de ebulição da água. Esse conceito também se aplica a operação de evaporação, que é a concentração de soluções líquidas (BRITO, 2022; LIMA, 2013).

Nesse contexto, a desidratação tem como objetivo reduzir a umidade por meio da evaporação da água nela contida, resultando em uma melhor conservação do produto por períodos maiores. A perda de umidade desencadeia na diminuição do crescimento de microrganismos ou outras reações, pois é partir da água que os microrganismos conseguem se desenvolver e consequentemente acelerar processos de deterioração (OLIVEIRA et al., 2015; ORDOÑEZ, 2005).

O processo de secagem também proporciona outras vantagens, como por exemplo: facilidade no transporte e comercialização, baixo custo de armazenagem devido à economia de energia por não necessitar de refrigeração, redução das perdas pós-colheita, estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente em longos

períodos de armazenamento e, disponibilidade do produto em qualquer época do ano (FARIA, 2023; PARK et al. 2001).

Os alimentos são compostos basicamente por macro e micronutrientes que necessitam de água para manter características de textura, disponibilidade orgânica, palatabilidade, estabilidade e maior peso, embora a água seja essencial, é vista como o principal responsável pela deterioração dos alimentos (MCCABE et al., 2004). Dessa forma, há uma preocupação sobre o conhecimento da caracterização dos alimentos e da dinâmica da atividade de água (A_w), pois é essencial para tomada de decisão quanto aos processos e métodos de secagem. Neste contexto, a diminuição ou remoção de água pode causar e/ou acelerar reações físicas e químicas que podem ocasionar o escurecimento não enzimático, caramelização, oxidação lipídica, perda de nutrientes, perda de voláteis e desnaturação das proteínas no produto (MUJUMDAR, 2006; SMITH e HUI, 2004).

O estudo do processo de secagem fornece informações relativas ao comportamento do fenômeno de transferência de calor e massa entre o material biológico e o elemento de secagem, normalmente o ar atmosférico aquecido ou não. Essas informações são fundamentais para o projeto, operação e simulação de sistemas e métodos de secagem e secadores (CORRÊA et al., 2003).

2.2 Métodos de secagem

É sabido a importância da secagem dentro da etapa de pré-processamento de produtos agrícolas, uma vez que tem por finalidade a retirada de parte da água contida nos alimentos. Assim, pode ser definida por um processo simultâneo de retirada de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem (MCCABE et al., 2004). Ainda, de acordo com Martinazzo et al. (2007a), esse processo de remoção de umidade no produto a determinado nível desfavorece a continuidade das atividades metabólicas e ao desenvolvimento de microrganismos.

Os sistemas de secagem podem ser divididos em sistema natural e sistema artificial. A secagem natural ocorre no campo e na própria planta sem a interferência do homem, já o sistema de secagem artificial classifica-se em ventilação natural, ventilação forçada e convecção, todas com suas subdivisões respectivamente.

O emprego da secagem natural é bastante utilizado em regiões tropicais subdesenvolvidas ou em desenvolvimento, uma vez que as condições climáticas nessas regiões permitem o uso do sistema e não precisa de investimentos para ser utilizada. O

processo de secagem ocorre logo após a maturação fisiológica do produto pela ação do vento e a energia para evaporação da umidade provém do potencial de secagem do ar e da incidência direta da energia solar (SILVA, 2008). No entanto, o produto fica sujeito ao ataque de pragas, tombamento de plantas e as condições climáticas adversas que podem afetar a qualidade do produto.

A secagem artificial caracteriza-se pela utilização de processos manuais ou mecânicos no manejo do produto ou na passagem do ar através da massa de grãos por exemplo. No processo de ventilação natural pode ocorrer em terreiros e paióis ou secagem solar. Este sistema geralmente é empregado em regiões com temperatura média de 35°C a 40°C e umidade entre 50% a 70% ao sol, e após isso é realizado a secagem continuada a sombra para manter cor e aroma natural (CELESTINO, 2010). A secagem em terreiro difere da secagem natural pelo produto ser retirado da planta e espalhado em um pátio (construído de concreto, asfalto, tijolo, chão batido, leito suspenso ou lama asfáltica), tendo o revolvimento do produto de forma manual, mecânica ou tração animal e sendo bastante empregado na cultura do café (CASÉ, 2022). Ainda, o produto é exposto a luz solar que é utilizada para a remoção da umidade e a circulação natural do vento (entalpia do ar).

O sistema de secagem artificial com ventilação forçada, pode ser feito a baixas e altas temperaturas ou por secagem combinada. Assim, existem diversos tipos de secadores aptos para uso na indústria alimentícia, podendo ser classificados de acordo com a forma que o calor é fornecido, modo de operação, temperatura e pressão da operação (CAVARIANI, 1996). Esses métodos de secagem podem ser classificados, como: secagem em bandeja, leito fluidizado, secador do tipo túnel, liofilização, estufa de circulação forçada, *refractance window*, secador por atomização (“*spray dryer*”), micro-ondas, entre outros.

Em uma secagem usando o secador de bandeja, o produto sólido é colocado sobre uma bandeja uniformemente que possui o fundo do tipo tela. A circulação de ar dentro do secador é feita por um ventilador localizado atrás das resistências elétricas que fornecem o aquecimento do ar de entrada. Esse tipo de secador também pode ser encontrado com operação a vácuo, o que possibilita o uso de temperaturas mais baixas de secagem em produtos que são facilmente oxidados com o calor (ZAMBRANO et al., 2019).

No secador de leito fluidizado, o ar de secagem atravessa uma placa perfurada provocando uma turbulência no produto que está sobre ela, esse ar quente é capaz de fluidizar esse alimento. Essa técnica proporciona um excelente grau de mistura e eficiente contato entre o fluido e o material sólido, favorecendo altas taxas de transferência de calor e massa (SOUZA, 2009). É bastante utilizado em ervilhas, farinha, café, sal, açúcar e em produtos em que se deseja obter uma granulometria mais fina e uniforme.

Os secadores do tipo túnel são bastantes utilizados em frutas e hortaliças. Esses secadores recebem bandejas em uma câmara que tem um compartimento que é realizado o condicionamento do ar de secagem que é impulsionado por um ventilador, passando por um sistema de aquecimento que entra em contato com o alimento e ocorrendo o processo de secagem (CORNEJO et al., 2003). A velocidade de evaporação é maior do que ocorre em secador de bandeja. As bandejas com o alimento úmido são carregadas de um lado do túnel e as bandejas com o alimento seco é descarregado do outro lado do túnel (GEANKOPLIS, 1993).

No liofilizado, a água é eliminada do alimento por sublimação. O alimento é congelado e no equipamento ocorre um vácuo que permite a desidratação. Esse sistema de vácuo reduz a pressão para 1 mmHg até o final da secagem. A vantagem nesse processo de secagem é a reduzida perda de nutrientes, propriedades químicas e propriedades organoléticas dos alimentos que são pouco inalteradas, além de uma rápida reidratação do produto seco (LOURENÇO, 2014).

Em estufas de circulação forçada, o sólido é exposto a secagem por ar quente e é exposto continuamente a uma corrente de ar aquecida em que a umidade evapora (RATTI, 2001). Dentro do processo de secagem por fluxo de ar aquecido, existe um sistema fechado em que a ventilação forçada suga o ar através de um purificador de ar, que é um sistema de filtro acoplado ao sistema de ventilação. O ar passa por uma tubulação de conexão através da ventilação de ar forçado até a câmara de aquecimento (TEBCHERANI et al., 2010).

Na secagem por *refractance window* (RW) há um secador contínuo em que o produto fica espalhado sobre uma esteira plástica que flutua em uma superfície de água quente circulante. Nesse processo, utiliza-se energia térmica a partir da água quente em temperaturas muito próximas a de ebulição para secar uma fina camada de material através da condução, convecção e radiação (NINDO et al., 2004). Esse equipamento tem

capacidade em lidar com produtos líquidos e tem por finalidade transformar frutas, legumes e ervas em pó concentrados com alto valor agregado (NINDO; TANG, 2007).

O secador por atomização (“*spray dryer*”) é usado na secagem de alimentos na forma líquida e o produto resultante é um pó. O produto líquido é introduzido na câmara de secagem na forma de gotículas por bicos atomizadores, que aumenta a superfície de contato com o ar quente que percorre uma câmara com fluxo contracorrente, concorrente ou mista, que é uma combinação dos dois (CELESTINO, 2010).

Diferente do ar quente convectivo em que o fluxo de calor é orientado das bordas para o centro do alimento, a absorção das micro-ondas gera um aquecimento volumétrico (SONG et al., 2017). Esse aquecimento é possível pela capacidade de penetração das micro-ondas, por induzir movimentos de rotação e translação sobre as moléculas de água como resposta a presença do campo eletromagnético que as circunda. O atrito que é gerado pela movimentação dissipa energia na forma de calor instantaneamente sobre o alimento, que dá início ao processo de evaporação da água (SANTOS JÚNIOR, 2021). A frequência das ondas eletromagnéticas permitida para a indústria alimentícia é de 2,45 GHz, que corresponde a 12,2 cm de comprimento de onda no vácuo (DROUZAS; SCHUBERT, 1996).

O uso de secagem por sistema de convecção abrange o uso de secadores que são alimentados em sistemas de alta temperatura, sendo necessários trocadores de calor entre o ar de combustão e o ar de secagem. Nesses secadores não são usados ventiladores e o ar atravessa a massa de grãos por diferença de densidade.

Ao realizar o estudo da secagem de produtos agrícolas, foi possível realizar a análise da cinética de secagem que proporciona uma melhor compreensão sobre o processo e podem estimar o tempo de secagem de determinada quantidade de produção (SOUSA et al., 2021).

2.3 Cinética da secagem

A secagem é um dos processos mais complexos e menos compreendidos no nível microscópico devido às dificuldades e deficiências, pois envolve fenômenos simultâneos e muitas vezes acoplados e multifásicos, como calor, massa e transferência de momento (YILBAS et al., 2003; KUDRA e MUJUMDAR, 2002).

Desse modo, estudos da cinética de secagem têm despertado o interesse de vários pesquisadores para os mais diferentes produtos, onde visa avaliar de maneira geral o

comportamento de um alimento quando exposto à secagem, fornecendo informações sobre o comportamento da transferência de calor e massa entre o produto e o agente de secagem (SANTOS JÚNIOR, 2021; SOUSA et al., 2011; JAIN e PATHARE, 2007; GUEDES et al., 2000).

A cinética de secagem é definida como a rapidez que o alimento perde umidade, sendo controlada pelas características da matriz do alimento e pelas variáveis temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (CELESTINO, 2010). Embora os alimentos apresentem características distintas, esse processo pode apresentar uma curva genérica, a qual geralmente é dividida em três fases (PRACHAYAWARAKORN et al., 2008; ZHANG et al., 2006).

A primeira fase da cinética de secagem é marcada pelo aquecimento inicial (NUTHONG et al., 2011). Esta fase tem como objetivo alcançar a temperatura do bulbo úmido. Como a superfície do produto é mais fria que a temperatura do meio, há um rápido aumento da temperatura superficial do alimento até que atinja uma temperatura próxima à temperatura do bulbo úmido, esse processo é classificado como a mínima temperatura, que deve ser atingida para que haja o resfriamento do ar circundante a partir da evaporação de água a uma pressão constante (SANTOS JÚNIOR, 2021).

Ao atingir a temperatura do bulbo úmido, ocorre o início da segunda fase ocorrendo a evaporação da água da superfície do alimento e, conforme isso acontece, há a imigração de água do interior para o exterior do alimento (PRACHAYAWARAKORN et al., 2008) através de forças capilares. A taxa de secagem pode ainda ser constante, condições externas como temperatura, velocidade do ar de secagem, direção do fluxo de ar, umidade relativa do meio, forma física do produto, conveniência da agitação e o método de suporte do produto durante a secagem são essenciais, e o mecanismo de difusão dominante é a difusão superficial (ERBAY & ICIER, 2010). Esta fase é caracterizada pela maior redução no seu conteúdo de água.

Por fim, na terceira fase o filme de superfície do líquido é totalmente evaporado e o período da taxa de queda subsequente inicia (ERBAY & ICIER, 2010). Quando o produto atinge a temperatura próximo à temperatura do bulbo seco (temperatura de secagem), é então estabelecido o equilíbrio entre os processos de evaporação e condensação e o produto alcança o conteúdo de água de equilíbrio para as condições da operação (ROVEDO et al., 1995). A umidade de equilíbrio é alcançada quando o alimento é exposto por tempo longo em condições de temperatura e umidade relativa do ar que o

envolve (CELESTINO, 2010), conforme Figura 3. Nessa condição, a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é igual à pressão parcial de vapor de água contida no ar (CELESTINO, 1998).

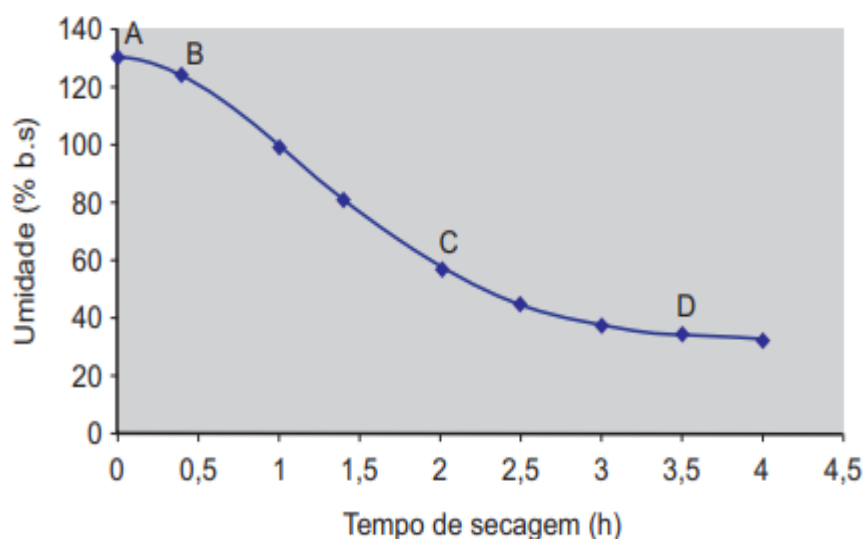


Figura 1 - Umidade do alimento durante a secagem

Fonte: Celestino, 2010.

Na Figura 3, o ponto AB se refere ao período que o produto se adapta às condições de secagem e sua temperatura atinge um valor constante. No período BC, a água não possui resistência a ser eliminada, se trata da etapa mais longa do processo de secagem (PARK et al., 2014). O ponto C está relacionado ao final do processo de secagem constante, essa etapa, é conhecida como umidade crítica. No último período D, a umidade do produto diminui até alcançar o equilíbrio, nesse processo encerra a secagem (CELESTINO, 2010).

Estudos sobre a cinética de secagem, podem ser aplicados a uma gama de produtos, como sementes, grãos, frutos, espécies de plantas medicinais, aromáticas e condimentares, utilizando ajustes de diferentes modelos matemáticos. Essa prática proporciona maior controle sobre as variáveis envolvidas nas curvas de cinética conforme o produto e as condições do processo de secagem (MARTINAZZO et al., 2007b). O ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem e as características de cada espécie, são de grande importância na tomada de decisão e contribuem na melhoria da eficiência do processo de secagem (RADÜNZ et al., 2011). Desse modo, é possível propor uma ou mais equações que sejam capazes de prever com certa precisão, o valor

do conteúdo de água associado a um determinado tempo de secagem ou vice-versa (SANTOS JÚNIOR, 2021).

2.4 Modelagem matemática

As curvas de secagem se comportam diferente para cada espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores. Assim, o uso de modelos matemáticos tem sido relevante nesses estudos para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas (RESENDE et al., 2008). Ainda, o ensaio simulando o comportamento de cada alimento durante a redução do teor de água é relevante para o desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos de secagem, e para tal utilizam-se de modelos matemáticos que predizem com assertividade a perda de água durante o período de secagem em função da espessura de camadas do material (BERBERT et al., 1995).

O perfil de distribuição de água no interior dos produtos, ou seja, a secagem dos produtos agrícolas pode ser descrito por meio de modelos matemáticos teóricos, sem teóricos e empíricos (MOTTA LIMA, 1999). Os modelos teóricos consideram a transferência de calor e massa na interface produto – ar de secagem e no interior do produto, além de que, quando a resistência convectiva é nula comparada com a resistência difusiva, é possível considerar transferências somente no interior do produto (difusão), (SANTOS et al, 2019).

Os modelos sem teóricos e empíricos consideram a resistência externa à temperatura e a umidade relativa do ar de secagem (MIDILLI et al., 2002; PANCHARIYA et al., 2002). Ainda, nesses modelos sem teóricos normalmente usa-se derivações da segunda Lei de Fick ou de modificações de modelos simplificados se restringindo apenas para a faixa de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e teor de água trabalhada (ARAÚJO et al., 2017; PANCHARIYA et al., 2002).

O conhecimento da movimentação das moléculas de água dentro do produto é importante para o correto estudo das interações entre água e componentes do produto (CORRÊA et al., 2010). A umidade se movimenta no interior dos produtos agrícolas durante a secagem de diversas formas, como: difusão líquida, difusão capilar, difusão na superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e difusão térmica (MARTINAZZO et al., 2007b). No entanto, o mecanismo pelo qual ocorre a difusão da água nos produtos agrícolas é muito complexo, devido as diversidades da composição química e estrutura física dos produtos (GONELI et al., 2009).

Diversos pesquisadores estudaram o coeficiente de difusão por meio da modelagem matemática e simulação dos processos de secagem de produtos agrícolas, porém esses coeficientes se diferem muito devido a complexidade dos produtos, mas também dos diferentes métodos de estimação, tipo de matéria, teor de água, processo de secagem e metodologia adotada (ZOGZAS et al., 1996).

Assim, o estudo e a modelagem matemática da cinética de secagem tem sido investigado em várias pesquisas. Esses modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever a cinética de secagem em pupunha (SOUZA et al., 2021), em grãos de quinoa (MOSCON et al., 2017), sementes de crambe (FARIA et al., 2012), em pimenta cumari (REIS et al., 2011), nozes de pistache (KASHANINEJAD et al., 2007), feijão-vermelho (CORRÊA et al., 2007), entre outros produtos agrícolas.

2.5 Seleção de secadores

A seleção do secador é uma etapa muito importante e para proceder com a seleção é recomendável realizar o levantamento de informações referentes ao processo em que estará inserida a etapa de secagem, assim como o produto final desejado comparando-se as vantagens e desvantagens dentre as várias alternativas disponíveis, assim tomando em conta tanto o ponto de vista técnico como o econômico (ALONSO e PARK, 2005). Uma má escolha do sistema de secagem e/ou condições de secagem pode ter um efeito adverso nas propriedades físicas e nutricionais do produto seco (JANGAM, 2011). Assim, a secagem pode ser realizada de forma natural ou artificial.

O uso desse sistema de secagem depende da quantidade e o tipo de produto processado, das condições climáticas da região produtora e outros fatores (GARCIA et al., 2021).

A secagem artificial é caracterizada pela utilização de equipamentos em que o alimento é exposto ao processo de desidratação por um período pré-determinado (CELESTINO, 2010). Desse modo, o tipo de secador a ser utilizado deve ser selecionado baseado em informações sobre o produto a ser processado e volume de processamento. Os secadores artificiais são classificados em modo batelada e modo contínuo e deve ser selecionado baseado nas suas diferenças. Para escolher corretamente entre diferentes secadores é importante classificá-los corretamente e identificar claramente as suas diferenças (ALONSO e PARK, 2005).

De acordo com Kemp e Bahu (1995), o secador deve ser escolhido baseado em três critérios: modo de operação (batelada, contínuo ou semi- contínuo), forma de alimentação do produto (partículas, filme ou lâminas, blocos, placas, pastas e líquidos) e o modo de aquecimento (condução ou contato, circulação forçada ou dispersão convectiva, radiação, dielétrica e combinadas). Para Jangam (2011), a seleção de um secador depende principalmente do tipo de alimento, quantidade e tipo de umidade, cinética de secagem, sensibilidade ao calor, estrutura física do material a ser seco, requisitos de qualidade de um alimento seco e outros fatores.

Em outro estudo realizado por Van't Land (1991), sugere que a seleção entre um secador com processo de fluxo contínuo ou batelada, deve-se priorizar os equipamentos que precedem e que seguem à etapa de secagem. Nesta situação, alguns fatores foram pontuados como principais: informações gerais (capacidade de produção (kg/h), umidade inicial do material, dimensão da partícula, curva de secagem, temperatura máxima suportada pelo produto, aspectos de corrosão, entre outras) e critérios sobre o produto seco (conteúdo de umidade, dimensões da partícula, densidade aparente, rigidez, cor, odor, sabor, aparência, dispersão, comportamento de readsorção e adsorção, tendência a aglomeração e segregação do produto).

De acordo com Gonçalves (2011), não há um sistema específico de testes laboratoriais que usem equipamentos que gerem informações acerca das características de secagem dos materiais. Desse modo, a mecânica de extração de líquidos de um sólido não está totalmente elucidada, assim como o funcionamento de muitos secadores. Neste contexto, é impossível indicar um sistema que seja abrangente para englobar todos os secadores, onde a decisão final deve ser em função das seguintes considerações: custo total da operação, qualidade do produto final, segurança dos operadores e a conveniência da instalação.

2.5.1 Estufa de circulação forçada

Na indústria alimentícia existem diversos equipamentos para a secagem, como secadores de leito fixo (batelada) e secadores móvel (contínuo). Os mais comuns de leito fixo são as estufas de circulação de ar, conhecido também por secagem convectiva por ar quente. Além de que, é uma das técnicas mais bem consolidadas na indústria alimentícia (PU e SUN, 2017).

Os secadores convectivos têm grande potencial em pequenas áreas agrícolas onde a eletricidade pode ser disponibilizada e mesmo que não tenha energia elétrica, geradores a diesel pode ser uma alternativa viável (CHUA e CHOU, 2003). Ainda, uma das maiores vantagens da secagem convectiva é o controle do processo que o operador tem, como a temperatura e tempo de secagem e velocidade do ar (THAMKAEW et al., 2021). Esses parâmetros podem ser ajustados de acordo com as propriedades desejadas do produto (ORPHANIDES et al., 2016), além disso, é um dos processos mais intensivos em energia, sendo assim, estudos têm se concentrado em reduzir o consumo de energia e tempo de secagem, além de aumentar a eficiência do processo (WON et al., 2015).

Esse tipo de secagem é geralmente empregada para secar frutas e vegetais em pedaços, como fatias de banana, manga, abacaxi e folhas de ervas (CHUA e CHOU, 2003). Esses secadores são constituídos por ventiladores centrífugos, câmara de secagem, sistema de bandeja de alimentos e uma unidade de aquecimento (NWANKWO et al., 2021). O funcionamento se baseia no aquecimento do produto a partir da exposição deste a uma corrente de ar com alta temperatura em períodos que alteram segundo o teor de água final desejado e o tipo de produto a ser seco (SANTOS JÚNIOR, 2021; BELL, 2020).

Além disso, esses secadores têm espaço para 20 ou mais bandejas que podem ter o fundo inteiriço com o ar circulando entre o topo de uma e o fundo da outra, ou ter o fundo telado com circulação do ar (JORGE, 2014). Para uma ótima eficiência no processo de secagem, a distribuição uniforme do fluxo de ar sobre as bandejas é fundamental (MISHA et al., 2013). No entanto, existem problemas de secagem desigual dentro desse equipamento devido a circulação insuficiente do fluxo de ar na câmara de secagem (NWANKWO et al., 2021).

Em alguns trabalhos na literatura é relatado a influência desses fatores sob a perspectiva de melhoria sobre a qualidade do produto e eficiência do processo, como afirma Silva (2011) que a secagem de estufa com circulação forçada de ar a 60° durante 24 horas pode ser aplicada para obtenção de batata chips desidratados. Ainda, o método de desidratação na estufa de circulação forçada é recomendado para o processamento de chips de batata doce alaranjada por reter maior quantidade de carotenoides totais, aumentando o teor nutricional e/ou funcional da cultura (BORGES et al., 2017). Dessa forma, as pesquisas vêm afirmando que a aplicação do processo de secagem preserva as qualidades nutricionais dos alimentos.

2.5.2 Leito fluidizado

Secador de leito fluidizado é um equipamento amplamente utilizado na indústria para a secagem de sólidos particulados. Este processo (fluidização) ocorre ao suspender os sólidos em um fluxo contínuo de gás, fluido ou líquido, sem o arraste das partículas garantindo uma distribuição uniforme do material e uma eficiente transferência de calor (PRIETO, 2014), resultando em tempos de secagem mais curtos em comparação com outros métodos convencionais (SCATENA, 2018).

Os secadores de leito fluidizado são comumente utilizados para a secagem de partículas úmidas, sólidas e granulares que podem ser fluidizados (GONÇALVES, 2011). A eficiência na utilização de um leito fluidizado necessita primordialmente do conhecimento da velocidade mínima de fluidização. A velocidade muito baixa o leito não fluidiza, ou seja, o fluido perde energia e pressão fazendo com que as partículas fiquem estacionárias. E com o aumento da velocidade inadequada os sólidos são carregados para o topo do leito (NITZ e GUARDANI, 2008; ARROTEIA et al., 2017).

Estes secadores apresentam inúmeras vantagens, como: baixo custo; alto nível de secagem devido ao bom contato gás-partícula levando a ótimas taxas de transferência de calor e massa garantindo a distribuição homogênea; área de fluxo menor; alta eficiência térmica; menores custos de manutenção e; facilidade de controle e manuseio; Operação automática contínua facilmente controlada; (FERNANDO, 2018; SILVA, 2016; SILVA 2008; MUJUMDAR e DEVAHASTIN, 2000). Esses benefícios consolidam a posição do secador de leito fluidizado como uma tecnologia versátil e eficaz para a secagem de uma ampla gama de materiais, com aplicabilidade em diversas indústrias, desde a farmacêutica até a de alimentos, produtos agrícolas, engenharia e química.

Devido seu alto potencial para secagem de partículas úmidas, este secador é indicado para secagem de culturas com elevado teor de água, a exemplo da batata que apresenta alto teor de umidade que é aproximadamente 76% de água (SABLANI; MUJUMDAR, 2006).

São encontrados na literatura diversos trabalhos que ressaltam vantagens significativas na operação de leitos fluidizados. Oliveira (2009) em seu estudo avaliando os parâmetros operacionais e comportamento do material seco de grãos de milho em secador vibro-fluidizado, verificou a partir de suas observações a definição da faixa de valores dos parâmetros operacionais que deverão ser utilizados em trabalhos de secagem

com milho. Além disso, pode-se obter uma visão mais detalhada do funcionamento do sistema de controle de temperatura, possibilitando um ajuste que deverá proporcionar condições propícias ao processo de secagem.

Luccas e Kieckbush (1997), estudaram a cinética de secagem de banana prata em um processo à alta temperatura e curto tempo em secador de leito fluidizado e obtiveram resultados favoráveis para a secagem da cultura. Andrade et al. (2020), avaliando a caracterização física, fisiológica e análise fluidodinâmica dos grãos de cevada em leito fluidizado, constataram ser promissor o uso deste sistema para processos de secagem de grãos de cevada. Tan et al. (2001), verificaram reduções no tempo de secagem em até 50% para produtos agrícolas, utilizando secadores com sistema de leito fluidizado. Sagar e Suresh (2010), sugerem que a secagem em leito fluidizado pode ser efetivamente usada para muitos produtos como amido de milho, amido de batata e para outros subprodutos.

2.6 BATATA (*Solanum tuberosum* L.)

A batata, pertencente à família das Solanaceae, ocupa uma posição de destaque global como a terceira fonte primária de alimento para a humanidade (BRAUN, 2007). É cultivada globalmente devido à sua notável produtividade e à qualidade nutricional de seus tubérculos (EVANGELISTA et al., 2011). Destaca-se como um dos cinco alimentos mais produzidos no mundo (FAOSTAT, 2023).

De acordo com César Augusto (2001), as variedades de batata cultivadas no Brasil têm origem em países como Holanda, Alemanha e Estados Unidos, o mercado brasileiro é suprido por diversas variedades de batata, incluindo Ágata, Asterix, Atlantic, Monalisa, entre dezenas de outras. A batata representa uma das principais hortaliças cultivadas e, especialmente, consumidas pelos brasileiros. Ela desempenha um papel significativo na dieta humana devido à sua ampla disponibilidade e características nutricionais destacadas (MACHADO e TOLEDO, 2004).

No Brasil, o consumo de batata industrializada aumentou nos últimos anos. Os principais produtos derivados da batata na indústria incluem as variedades desidratadas e congeladas. Resultantes do processo de desidratação, como fécula, flocos e farinha, são extensivamente empregados pela indústria alimentícia na produção de pães, bolos, como agentes espessantes em sopas e molhos, e na composição de produtos instantâneos, como pudins e macarrões, entre outros. Outros exemplos de produtos desidratados englobam cubos de batata desidratados e a conhecida batata em formato de chips ou palha.

De acordo com Berbari e Aquirre, 2002, no Brasil, a grande maioria da batata industrializada passa por esse tipo de processamento, realizado em fábricas de diversos portes. As batatas em formato de chips são especialmente bem recebidas no mercado nacional, ganhando destaque entre os consumidores diretos. Essa ampla gama de produtos processados atende às demandas de diferentes segmentos de mercado, demonstrando a versatilidade e popularidade da batata como um ingrediente industrializado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás, Campus Central – Sede Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas, no Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais.

3.2 Aquisição e preparo das amostras

3.2.1 Recepção e seleção das batatas Asterix e Monalisa

Os tubérculos foram adquiridos na Central Estadual de Abastecimento (CEASA) no município de Anápolis, Goiás. Foram utilizadas duas variedades de batata: Asterix e Monalisa.

As batatas foram selecionadas partir da classificação da CEAGESP (2021) por tamanho e categoria. Após a classificação, os tubérculos foram levados até o Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais, onde realizou-se a seleção manual e visual quanto à ausência de defeitos e injúrias (CEAGESP, 2021), visando homogeneizar o lote. As batatas foram mantidas sob refrigeração a 10°C em B.O.D até o momento da sua utilização.

3.2.2 Higienização dos tubérculos

Os mesmos foram lavados com água corrente e imersos, por 10 minutos, em solução de hipoclorito de sódio a 1%, para desinfecção. Após o procedimento de lavagem, os tubérculos foram transferidos para uma superfície limpa e seca, em uma armação elevada com superfície perfurada, onde os tubérculos secaram em temperatura ambiente (CTA, 2008).

3.2.3 Fatiamento das amostras

O fatiamento dos tubérculos foi realizado com o auxílio de um multiprocessador de alimentos, modelo Philips Walita® Linha Viva Ri7630, com o intuito de uniformizar

as fatias em 1,4 mm de espessura. Visando homogeneizar o diâmetro das fatias em 3 cm utilizou-se um molde de PVC.

3.2.4 Tratamento pré-secagem: Branqueamento

Após a etapa de fatiamento (formato de chips) os mesmos passaram por pré tratamento por meio do processo de branqueamento. O branqueamento é necessário para evitar o escurecimento do produto, devido a presença de enzimas polifenoloxadase (PPO), que após o fatiamento é ativada devido a exposição interna da amostra l com o oxigênio.

Dessa forma, os chips foram imersos em um recipiente com água quente (60°C durante 1 minuto), em seguida passaram por uma imersão em um recipiente com água gelada (durante 1 minuto) com o intuito de causar choque térmico e inativar as enzimas e impedir, o escurecimento imediato das fatias dos tubérculos (ANDRADE, 2017). As amostras foram feitas suficientemente para serem utilizadas no mesmo dia, para cada repetição.

3.2.5 Pesagem

Logo após a etapa de branqueamento, as fatias dos tubérculos foram colocadas em três bandejas para determinação do peso inicial, com o auxílio de uma balança analítica digital do modelo Tepron Mark500, com capacidade de 500g e precisão de 0,001g.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento empregado foi em esquema fatorial 2 x 2 x 4, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois métodos de secagem (estufa de circulação de ar e secador de leito fluidizado), duas variedades de batata (Asterix e Monalisa) e quatro temperaturas de secagem (35, 45, 55 e 65°C) em triplicata, a espessura referente a cada chips consistiu em aproximadamente 1,4 mm.

3.4 Procedimento de secagem

3.4.1. *Secagem em estufa circulação de ar*

A secagem dos chips de batata Asterix e Monalisa ocorreu em estufa de circulação forçada de ar, com controle de temperatura e precisão de ± 1 °C. Nesta técnica de secagem, inicialmente, o secador foi ligado até que se atingisse a temperatura de secagem prevista para cada tratamento. Após a estufa atingir a temperatura almejada, o processo de secagem teve início. Os chips das batatas foram espalhados uniformemente no interior da estufa em bandejas perfuradas (34 unidades de chips). O acompanhamento da perda de água dos chips de batata foi realizado por meio de pesagens utilizando uma balança semi-

analítica com precisão de 0,01g. O procedimento de secagem consistiu em retirar as amostras do secador em intervalos de 5 minutos, nas primeiras horas e posteriormente, aumentou-se o intervalo de pesagem até que o equilíbrio higroscópico fosse atingido. O equilíbrio higroscópico entre o produto e o ar de secagem se deu quando, após três pesagens consecutivas a massa permaneceu constante. As variáveis analisadas foram o tempo de secagem e o teor de água final dos chips de batata para cada temperatura de secagem.

3.4.2 Secagem em secador de leito fluidizado

Para a realização da secagem dos chips das batatas em secador de leito fluidizado, inicialmente foi necessário determinar a velocidade terminal dos chips de batata.

O secador é um equipamento com circulação e renovação de ar forçado em leito fluidizado, possui controle da temperatura do ar e formato circular, obtendo melhor fluidização. As condições de secagens foram as mesmas utilizadas na estufa de circulação forçada.

Para determinar a velocidade terminal experimental dos chips tubérculos foi utilizado o equipamento mostrado na Figura 1. O equipamento é composto por um ventilador centrífugo, conectado a um tubo de acrílico transparente, com diâmetro de 0,15 e 2,0 metros de comprimento. A 1,0 m da parte superior foi instalada uma tela perfurada onde o produto foi alocado, e a 1,75 metros acoplou-se o reticulador para uniformizar a distribuição da velocidade do ar na seção transversal do tubo. O ventilador foi acionado por um motor trifásico de 0,735 Kw e o controle da vazão do fluxo de ar foi realizado por meio de um inversor de frequência.

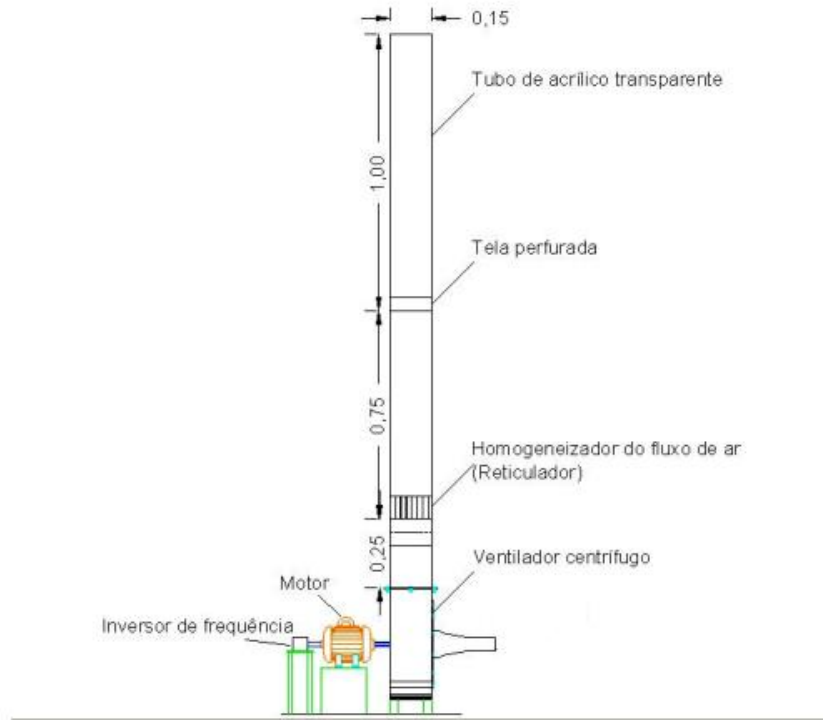


Figura 2 - Desenho esquemático do equipamento utilizado para a determinação da velocidade terminal dos chips de batata Monalisa e Asterix.
Fonte: Nunes (2009).

As amostras de chips dos tubérculos foram inseridas na parte central da tela perfurada posteriormente, sendo o fluxo de ar regulado até o início da flutuação do produto. Em seguida, foi mensurada a velocidade do ar por meio de um anemômetro digital modelo Gm-815, disposto na parte superior e central do cilindro de acrílico, no qual a velocidade foi determinada. A velocidade terminal foi determinada por meio das Equação 1, utilizando-se a velocidade terminal experimental e as propriedades do produto e do sistema.

$$V_t = \left[\frac{2 \cdot W \cdot (\rho_p - \rho_f)}{C \cdot \rho_f \cdot \rho_p \cdot A_p} \right] \quad (1)$$

Em que:

V_t = Velocidade terminal, m s^{-1} ;

W = Peso da partícula, N;

ρ_p = Massa específica da partícula, Kg m^{-3} ;

ρ_f = Massa específica do fluido, Kg m^{-3} ;

C = Coeficiente de arraste, adimensional;

A_p = Área projetada da partícula, normal ao seu movimento em relação ao fluido, m^2 .

3.4.2.1 Descrição do processo de secagem

Foi utilizado um secador em leito fluidizado com processo de secagem convectivo (Figura 3). O secador possui circulação e renovação de ar forçado em leito fluidizado, com controle da temperatura do ar.

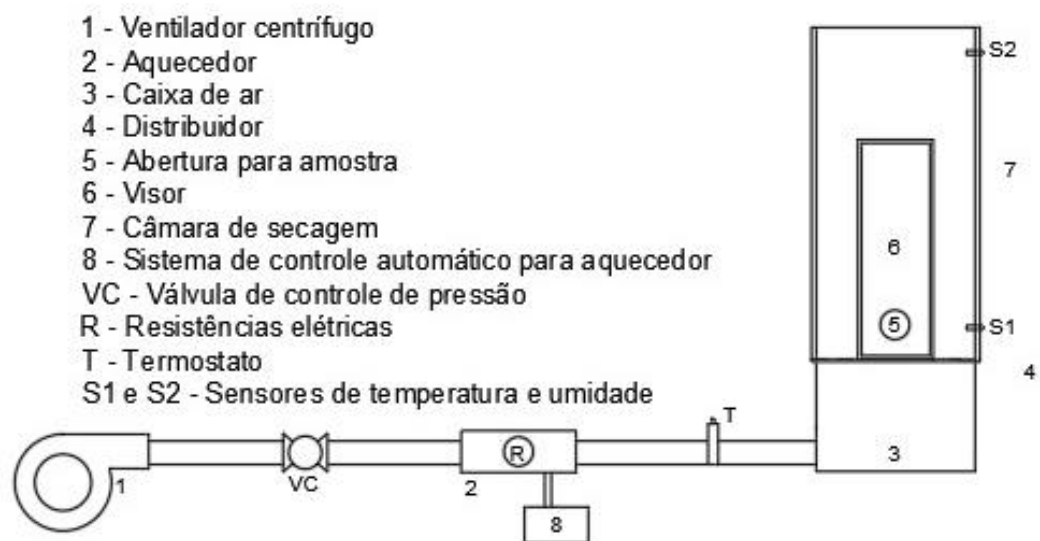


Figura 3 - Diagrama esquemático do secador de leito fluidizado experimental.

Fonte: Guilherme Gonçalves Costa (2022).

Para a secagem, o secador fluidizado foi ligado, a temperatura a ser analisada foi selecionada. As amostras (34 chips) foram inseridas na câmara no qual a base é uma tela perfurada para que a passagem do ar seja fluida. Posteriormente, foi aplicada a velocidade terminal definida anteriormente para que haja a elevação das amostras proporcionando a passagem do ar de secagem pela área exposta da amostra. Conforme o tempo de secagem a fluxo de ar foi reduzido para que os chips fossem secados por fluidificação, ao invés de secagem convectiva. Caso não haja a redução do fluxo de ar os chips ficariam fixados no topo da câmara de secagem.

A determinação do equilíbrio higroscópico foi definida com as mesmas condições utilizadas na estufa de circulação forçada.

3.5 Procedimentos específicos para os métodos de secagem

3.5.1 Curvas de secagem

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água (Figura 3) para ambos métodos de secagem. Para o cálculo da razão de umidade (RU), durante as secagens nas diferentes temperaturas, utilizou-se a Equação 2.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (2)$$

Em que:

RU – razão de umidade do produto (adimensional);

U – Teor de água do produto em determinado tempo (b. s.);

U_i – Teor de água inicial do produto (b. s.) e;

U_e – Teor de água de equilíbrio do produto (b. s.).

Posteriormente, foram plotadas as curvas de cinética de secagem (razão de umidade em função do tempo de secagem).

3.5.2 Modelagem matemática

Na modelagem matemática da cinética de secagem, foram empregados os modelos matemáticos mostrados na Tabela 1. O software Statística v. 12.0 foi utilizado para ajuste dos modelos aos dados experimentais.

Tabela 1 - Modelos matemáticos usados para prever a cinética de secagem de produtos agrícolas.

Modelo	Equação	No.
Exponencial de dois termos	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	(1)
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(2)
Logarítmico	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	(3)
Newton	$RU = \exp(-k \cdot t)$	(4)
Page	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$	(5)
Midilli	$RU = a \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(6)
Thompson	$RU = \exp((-a - (a^2 + 4b \cdot t)^{0.5}) / 2 \cdot b)$	(7)
Wang e Sing	$RU = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	(8)

Em que: RU – proporção de água do produto adimensional; t – tempo de secagem k, k0, k1, constantes de secagem; e a, b, c, n – parâmetros dos modelos.

Os critérios utilizados para escolha do melhor modelo que se ajustou a secagem de *chips* das batatas foram: o coeficiente de determinação (R^2), o desvio padrão da estimativa (SE), e o erro relativo (P). Os valores de P e SE para cada modelo foram estimados pelas Equações 3 e 4, respectivamente.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (3)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{Y - Y_0}{Y} \quad (4)$$

Em que,

Y = valor observado experimentalmente;

Y_0 = valor estimado pelo modelo;

n = número de dados observados; e

GLR = graus de liberdade do modelo.

3.5.3 Teor de água inicial

O teor de água inicial foi determinado pelo método-padrão da estufa, 105 ± 3 °C, durante 24 horas, com três repetições (BRASIL, 2009).

3.5.4 Análise estatística

As variáveis tempo e o teor de água foram submetidas ao teste de normalidade e homogeneidade após transformação para log (x). Quando atendida as pressuposições,

foram submetida a análise de variância para os fatores temperatura (35, 45, 55 e 65°C), variedade (Monalisa e Asterix) e métodos de secagem (estufa de circulação forçada e secador de leito fluidizado). As comparações de médias foram realizadas com o teste Tukey a 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do programa Sisvar (FERREIRA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variável tempo

Na Tabela 2 têm-se a análise de variância para o tempo de secagem dos chips de batatas Monalisa e Asterix. Nota-se que para os tratamentos: temperatura de secagem, método de secagem, e variedades houveram diferenças significativas. Ainda, houveram diferenças significativas para as interações duplas. Já para a interação tripla não houve significância a 5% de probabilidade. Em face do exposto, optou-se por fazer as análises levando em consideração as interações duplas.

Tabela 2. Análise de variância para o tempo de secagem de chips de batatas Monalisa e Asterix submetidas a diferentes temperatura e métodos de secagem.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
TEMPERATURA	3	146735,41	48911,81	94.29*	0,00
MÉTODO	1	143008,33	143008,33	275.68*	0,00
VARIEDADE	1	2268,75	2268,75	4.37*	0,04
TEMP*MET	3	8429,16	2809,72	5.42*	0,00
TEMP*VAR	3	9643,75	3214,58	6.19*	0,00
MET*VAR	1	3008,33	3008,33	5.79*	0,02
TEMP*MET*VAR	3	2054,17	684,72	1.32 ^{n.s.}	0,28
Erro	32	16600,00	518,75		
Total corrigido	47	331.747,92			
CV(%)			10,97		
Média geral	207,71		Número de observações	48	

TEMP= temperatura; MET=método; VAR= variedade

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

n.s. Não Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

4.1.1 Desdobramento da interação Temperatura*Método de Secagem

Na Tabela 3 têm-se o desdobramento da interação da temperatura dentro de cada método de secagem.

Tabela 3. Desdobramento da interação da temperatura dentro de cada método de secagem.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
TEMPERATURA*ESTUFA	3,00	112028,13	37342,71	71,99	0,00
TEMPERATURA* SECADOR	3,00	43136,46	14378,82	27,72	0,00
Erro	32,00	16600,00	518,75		

A influência da temperatura, como é esperado, foi significativa, pois à medida que esta aumenta, o tempo de secagem reduz. Este comportamento está relacionado ao princípio básico da cinética de secagem, onde o aumento da temperatura geralmente acelera os processos de transferência de massa, como a evaporação da água presente no material a ser seco (ARAL e BEŞE, 2016; UDOMKUN et al., 2015 e NIAMNUY et al., 2011). A temperatura de 65°C em ambos métodos avaliados foi mais eficaz, resultando no menor tempo de secagem, conforme apresentado no teste de média, tabela 4.

Tabela 4. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre temperatura e método de secagem.

TEMPERATURA	ESTUFA	SECADOR
65°C	170,000a	96,667a
55°C	227,500b	133,333b
45°C	305,000c	172,500c
35°C	346,667d	210,000d

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

4.1.2 Desdobramento da interação Método de Secagem*temperatura

Na Tabela 5 tem-se o desdobramento da interação do método de secagem dentro de cada temperatura. Verificou-se que, para variável tempo de secagem, houve diferença significativa para todos os desdobramentos.

Tabela 5. Desdobramento da interação dos métodos dentro de cada temperatura de secagem.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
METÓDO*35°C	1	56033,33	56033,33	108,02	0,00
METÓDO*45°C	1	52668,75	52668,75	101,53	0,00
METÓDO*55°C	1	26602,08	26602,08	51,28	0,00
METÓDO*65°C	1	16133,33	16133,33	31,100	0,00
Erro	32	16600,00	518,75		

Conforme o teste de média, Tabela 6, o método de leito fluidizado demonstrou tempos de secagem mais curtos em comparação com a estufa de circulação forçada. Em

todas as temperaturas estudadas (35 a 65°C) houve redução média no tempo de secagem de 42%.

Tabela 6. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre método de secagem e temperatura.

MÉTODO	TEMPERATURA			
	35°C	45°C	55°C	65°C
Secador	210,00a	172,500a	133,333a	96,666a
Estufa	346,666b	305,000b	227,500b	170,000b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Conforme Mosken (2020), este resultado pode estar relacionado à capacidade única do leito fluidizado de manter partículas em suspensão, proporcionando um aumento na área de contato entre o ar de secagem e os produtos, maximizando assim a eficiência do processo.

A redução média do tempo de secagem em 42%, em todas as temperaturas estudadas, sugere uma consistência notável no desempenho do leito fluidizado em comparação com a estufa de circulação forçada. Este diferencial significativo pode ter implicações econômicas substanciais para a indústria, reduzindo os custos operacionais associados à energia e otimizando a produção.

4.1.3 Desdobramento da interação Temperatura de Secagem*Variedade das batatas

Na Tabela 7, destaca-se diferença estatisticamente significativa na resposta variável tempo de secagem em relação à temperatura, quando considera-se as variedades de batata Monalisa e Asterix.

Tabela 7. Desdobramento da interação da temperatura de secagem dentro das variedades estudadas.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
TEMPERATURA*ASTERIX	3	93504,17	31168,06	60,08	0,00
TEMPERATURA*MONALISA	3	62875,00	20958,33	40,40	0,00
Erro	32	16600,00	518,75		

No entanto estatisticamente, Tabela 8, verificou-se que para a variedade Asterix a temperatura que melhor gerou resultados foi a de 65°C, no qual a taxa de evaporação da água presente nos chips de batata pode ser mais elevada em comparação com as demais temperaturas. Isso resulta em um processo de secagem mais rápido. Já para a variedade Monalisa é indiferente se a secagem for realizada em 55 ou 65°C, pois

o tempo de secagem é o mesmo. Infere-se que os processos de secagem para a batata Monalisa atinjam uma eficiência máxima em 55°C, e não há vantagem ao aumentar a temperatura para 65°C. Os processos físicos e químicos necessários para a secagem podem já estar sendo totalmente ativados a 55°C. Paraizo & Rezende (2019), observou que a temperatura de secagem a 70°C apresentou a melhor condição se secagem para obtenção de farinha de batata-doce de polpa roxa.

Tabela 8. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre temperatura e variedade.

TEMPERATURA	VARIEDADE	
	ASTERIX	MONALISA
65°C	121,66a	145,00a
55°C	205,00b	155,83a
45°C	237,50b	240,00b
35°C	294,16c	262,50b

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

4.1.4 Desdobramento da interação Variedade das batatas*Temperatura de Secagem

Na Tabela 9 têm-se o desdobramento da interação das variedades de batata dentro das temperatura de secagem estudadas para a variável tempo de secagem. Nota-se que houve diferença significativa nas temperaturas 35 e 55°C.

Tabela 9. Desdobramento da interação das variedades de batata dentro das temperatura de secagem estudadas para a variável tempo de secagem.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
VARIEDADE*35°C	1	3008,33	3008,33	5,80	0,02
VARIEDADE*45°C	1	8,75	18,75	0,04	0,85
VARIEDADE*55°C	1	7252,08	7252,08	13,99	0,00
VARIEDADE*65°C	1	1633,33	1633,33	3,14	0,09
Erro	32	16600,00	518,75		

Conforme Tabela 10, o teste de média confirmou que as temperaturas 35 e 55° foram mais eficientes em relação tempo de secagem para a variedade Monalisa se comparado com a batata Asterix.

Tabela 10. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre variedade e temperatura.

VARIEDADE	TEMPERATURA			
	35°C	45°C	55°C	65°C
Monalisa	262,500a	240,000a	155,833a	145,000a
Asterix	294,167b	237,500a	205,000b	121,667a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.1.5 Desdobramento da interação Método de Secagem*Variedade das batatas

Na Tabela 11 encontra-se o desdobramento da interação do método de secagem dentro de cada variedade de batata estudada, em relação a variável tempo de secagem.

Tabela 11. Desdobramento da interação do método de secagem dentro de cada variedade de batata estudada, em relação a variável tempo de secagem.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
MÉTODO/ASTERIX	3	93750,00	93750,00	180,72	0,00
MÉTODO/MONALISA	3	52266,67	52266,67	100,76	0,00
Erro	32	1660,00	518,75		

Conforme evidenciado pelos dados estatísticos (Tabela 12), obtidos no presente estudo, o secador de leito fluidizado demonstrou consistentemente sua capacidade de acelerar significativamente o processo de secagem para ambas as variedades de batata (Asterix e Monalisa). Sendo que, o método com secador de leito fluidizado proporcionou economia de, aproximadamente, duas horas de secagem.

Tabela 12. Resultados médios do tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre método de secagem e variedades de batatas

MÉTODO	VARIEDADE	
	Asterix	Monalisa
Secador	152,083a	154,167a
Estufa	277,083b	247,500b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Luz (2015) destaca a importância da uniformidade na secagem, no qual a distribuição homogênea do calor e do fluxo de ar no leito fluidizado minimiza variações locais nas condições de secagem. Essa uniformidade pode ser um fator chave na explicação da diferença significativa, garantindo resultados consistentes para as batatas das variedades Monalisa e Asterix.

4.1.6 Desdobramento da interação Variedade das batatas*Método de secagem

Na Tabela 13 têm-se o desdobramento da interação da variedade de batata estudada dentro de cada do método de secagem, em relação a variável tempo de secagem. Verifica-se, nesta tabela, que as variedades não apresentaram diferença significativa no secador de leito fluidizado. Porém foi detectado diferença significativa no tempo de secagem quando foi utilizado a estufa de circulação forçada de ar.

Tabela 13. Desdobramento da interação variedade de batata estudada dentro de cada do método de secagem, em relação a variável tempo de secagem.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
VARIEDADE*ESTUFA	1	5251,04	5251.04	10,12	0,00
VARIEDADE*SECADOR	1	26,04	26.04	0,05	0,82
Erro	32	16600,00	518.75		

O teste de média, Tabela 14, demonstrou que é indiferente a secagem da variedade Asterix ou Monalisa no secador de leito fluidizado em relação ao tempo de secagem. Ambas variedades secaram em tempos de aproximadamente, duas horas e trinta minutos, sendo estatisticamente iguais. No entanto, para o método com estufa de circulação forçada, para realizar a secagem da batata Asterix leva-se em média trinta minutos a mais que a batata Monalisa, sendo 277,08 e 247,50 minutos, respectivamente.

Tabela 14. Resultados médios para comparação múltipla das médias de tempo de secagem (minutos), considerando a interação entre variedade e temperatura

VARIEDADE	MÉTODO	
	Secador	Estufa
Monalisa	154,16a	247,55a
Asterix	152,08a	277,08b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

4.2 Variável teor de água

Na Tabela 15 é mostrada a Análise de Variância para variável teor de água dos chips das batatas estudadas. Nota-se que houve diferença significativa nos tratamentos temperatura e método. Analisando as interações duplas, apenas a interação de temperatura e método apresentou diferença significativa. A interação tripla também apresentou significância, no entanto, para esta pesquisa levou-se em consideração apenas as interações duplas.

Tabela 15. Análise de variância para o teor de água (%) de chips de batatas Monalisa e Asterix submetidas a diferentes temperatura e métodos de secagem.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
TEMPERATURA	3	30,45	10,15	3,16	0,04
MÉTODO	1	53,12	53,12	16,56	0,00
VARIEDADE	1	0,05	0,05	0,02	0,90
TEMP*MET	3	58,04	19,35	6,03	0,00
TEMP*VAR	3	13,45	4,48	1,40	0,26
MET*VAR	1	6,32	6,31	1,97	0,17
TEMP*MET*VAR	3	46,75	15,58	4,86	0,01
Erro	32	102,68	3,81		
Total corrigido	47	310,85			
CV(%)			38,02		
Média geral	4,711		Nº de observações	48	

TEMP= temperatura; MET=método; VAR= variedade

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

n.s. Não Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

4.2.1 Desdobramento da interação Temperatura*Método de Secagem

Na Tabela 16 é mostrado o desdobramento da interação do fator temperatura dentro de cada método de secagem para variável teor de água.

Tabela 16 - Desdobramento da interação do fator temperatura dentro de cada método de secagem.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
TEMPERATURA*ESTUFA	3,00	47,18	15,73	4,90	0,01
TEMPERATURA* SECADOR	3,00	41,30	13,77	4,21	0,01
Erro	32,00	102,68	3,21		

Os resultados obtidos mostraram diferenças significativas no teor de água dos chips de batata quando submetidos diferentes temperaturas, no qual as temperaturas de 55°C e 65°C no secador de leito fluidizado apresentaram melhores resultados.

Esta inferência é fundamentada pelo Teste de Média, Tabela 17, onde a umidade dos chips elaborados no secador de leito fluidizado a 65 e 55°C variou de 2,4 a 2,7%b.u., respectivamente. Os valores são considerados padrão para chips conforme Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO (TACO, 2011) que é de 2,7% para batata chips. Já a estufa de circulação forçada de ar apresentou resultados acima do padrão, variando de 4,2 a 7,9%, Tabela 17.

Tabela 17. Comparação múltipla das médias de teor de água (%b.u.), considerando a interação entre temperatura e método de secagem.

TEMPERATURA	MÉTODO	
	Estufa	Secador
65°C	5,69b	2,43a
55°C	5,20ab	2,79a
45°C	4,16a	3,59ab
35°C	7,99	5,81b

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

O aumento da temperatura de secagem de 35°C para 65°C reduziu em mais de 55% no que diz respeito ao teor de água, corroborando com diversos estudos de secagem de frutas que atestaram influência da temperatura no processo, a exemplo: figo (XANTHOPOULOS et al., 2009), pera (DOYMAZ, 2013), maçã (CRUZ et al., 2015), morango (OLIVEIRA et al., 2015), araticum (BOTREL et al., 2016) e fruta do espinheiro (ARAL E BEŞE, 2016). O aumento da pressão de vapor no chips, acelera a remoção de água do seu interior para a superfície, o que por consequência diminui os tempos de secagem (ARAL e BEŞE, 2016; UDOMKUN et al., 2015).

4.2.2 Desdobramento da interação Método de Secagem* Temperatura

Na Tabela 18 têm-se o desdobramento da interação do fator método de secagem dentro de cada temperatura de secagem.

Tabela 18. Desdobramento da interação do fator método de secagem dentro de cada temperatura de secagem.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
METÓDO*35°C	1	0,04	0,04	0,01	0,91
METÓDO*45°C	1	0,95	0,95	0,30	0,59
METÓDO*55°C	1	17,35	17,35	5,41	0,27
METÓDO*65°C	1	92,81	92,81	28,93	0,00
Erro	32	102,68	3,21		

Os dados da tabela 18, demonstraram que apenas a interação entre o método de secagem e a temperatura 65°C apresentou diferença significativa.

Condizente com o resultado do desdobramento anterior (Tabela 17), as temperaturas de 55 e 65°C quando utilizado o secador de leito fluidizado apresentaram teores de água mais baixo (Tabela 19) que a estufa de circulação forçada.

Tabela 19. Comparação múltipla das médias de teor de água (%b.u.), considerando a interação entre método e temperatura.

MÉTODO	TEMPERATURA			
	35°C	45°C	55°C	65°C
Secador	5,81a	3,58a	2,79a	2,43a
Estufa	5,69a	4,16a	5,20b	7,99b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

O teor de água, um indicador crucial nos alimentos, é reconhecido como um dos índices mais importantes e frequentemente avaliados na indústria alimentícia. Sua significância econômica é notável, pois espelha diretamente o teor de sólidos de um produto e sua propensão à deterioração. A presença de umidade fora das recomendações técnicas pode acarretar em substanciais perdas, impactando a estabilidade química, favorecendo a deterioração microbiológica, induzindo alterações fisiológicas e comprometendo, em última instância, a qualidade global dos alimentos (VICENZI, 2008).

Os resultados obtidos enfatizam a necessidade de uma abordagem criteriosa na definição das condições de secagem, considerando não apenas a eficiência do processo, mas também o impacto nas características organolépticas e nutricionais do produto final. A otimização desses parâmetros, além de contribuir para a eficiência operacional, desempenha um papel crucial na manutenção da qualidade do produto, aspecto que ganha destaque na satisfação do consumidor e na competitividade do mercado.

4.3 Modelagem matemática da secagem de chips de batatas asterix e monaliza em diferentes secadores

4.3.1 Estufa de circulação forçada

Na Tabela 20, encontram-se os critérios de seleção utilizados para os oito modelos de secagem analisados, nas diferentes temperaturas de secagem para os chips de batata Asterix.

Os modelos ajustados para a técnica de secagem em estufa de circulação forçada para a variedade Asterix apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a

80%, exceto para os modelos: Henderson e Pabis, Thompson e Newton, que apresentaram menores coeficientes para a temperatura de 55°C; sendo que o modelo Henderson e Pabis teve menor desempenho para a temperatura de 45°C. Dessa forma, quanto mais próximo de 100% o valor de R^2 , melhor o modelo se ajusta aos dados experimentais (SOZZI & RAMOS, 2015). Ressalta-se que somente o R^2 sozinho não é um bom critério de seleção de modelos, dessa forma, é importante a avaliação de outros parâmetros (MADAMBÁ et al., 1996), por isso o erro médio estimado (SE) e o erro médio relativo (P) foram considerados.

Analisando a temperatura de secagem de 35°C, o modelo matemático Wang e Singh apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais da secagem, com erro médio relativo (P) de 4,2%, coeficiente de determinação acima de 98% e erro médio estimado (SE) de 0,08. A temperatura de 45°C não apresentou ajustes satisfatórios. Já a temperatura de 55°C, o melhor ajuste ocorreu para o modelo Logarítmico.

O modelo de Henderson e Pabis, para a temperatura de 65°C, foi o que melhor se ajustou. O modelo apresentou menor valor de SE (0,04), e com valor de P abaixo de 10% (0,521). Sendo assim, a seleção e a recomendação de um modelo estão na simplicidade de aplicação e no reduzido número de coeficientes (MOSCON et al., 2017; MELO et al., 2016).

Para todas as temperaturas de secagem, os modelos que não apresentaram ajustes satisfatórios foram: Exponencial de Dois Termos e Page com valores de P acima de 11 e 13%, respectivamente.

Para o modelo de Wang e Singh obteve-se bons ajustes para descrever a secagem de muitos alimentos e produtos agrícolas, como: resíduos de jaca (SOUSA et al., 2021a), polpa de bata-doce biofortificada (SOUZA et al., 2019) e grãos de girassol (SMANIOTTO et al., 2017).

Tabela 20. Parâmetros estatísticos: Coeficiente de determinação (R²); Erro médio estimado (SE) e Erro médio relativo (P), calculados para verificação do ajuste dos modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem dos chips de batata variedade Asterix obtidos nas temperaturas de 35 a 65 °C, para cada modelo avaliado.

Chips de batata Asterix – Estufa				
Modelo	T (°C)	R²	SE (decimal)	P
Exponencial de Dois Termos	35	0,8771	0,089209	25,7141
Exponencial de Dois Termos	45	0,9651	0,062041	51,3915
Exponencial de Dois Termos	55	0,9690	0,066000	59,4775
Exponencial de Dois Termos	65	0,8605	0,09487	11,1808
Henderson e Pabis	35	0,9476	0,085847	34,6924
Henderson e Pabis	45	0,7697	0,121908	62,4697
Henderson e Pabis	55	0,8128	0,110119	73,4193
Henderson e Pabis	65	0,8876	0,111305	0,2962
Logarítmico	35	NC	NC	NC
Logarítmico	45	NC	NC	NC
Logarítmico	55	0,9505	0,086865	7,6088
Logarítmico	65	NC	NC	NC
Midilli	35	NC	NC	NC
Midilli	45	NC	NC	NC
Midilli	55	NC	NC	NC
Midilli	65	NC	NC	NC
Newton	35	0,8509	0,125411	34,5908
Newton	45	0,9388	0,089416	64,0573
Newton	55	0,7294	0,128410	75,9215
Newton	65	0,7927	0,112776	2,0408
Page	35	0,9165	0,073421	13,7934
Page	45	0,9108	0,076013	38,5429
Page	55	0,9957	0,021780	39,4792
Page	65	0,9653	0,069847	13,8953
Thompson	35	0,8872	0,111519	34,7893
Thompson	45	0,9466	0,086649	62,5306
Thompson	55	0,7694	0,121979	73,4861
Thompson	65	0,8125	0,110190	1,1281
Wang e Singh	35	0,9484	0,085149	4,2434
Wang e Singh	45	0,9522	0,055523	21,7506
Wang e Singh	55	0,9598	0,051047	25,5612
Wang e Singh	65	0,9819	0,044704	5,2104

*NC= Não convergiu.

Dentro do processo de secagem durante qualquer etapa de remoção de água, fatores externos como temperatura, umidade relativa e a pressão de vapor são os que mais condicionam o resultado. Isso acontece porque a saída de água do produto é decorrente da diferença entre as características do ar de secagem e da estrutura molecular do produto submetido ao processo (RESENDE et al., 2011).

Os coeficientes dos modelos ajustados são mostrados na Tabela 21.

Tabela 21. Valores dos coeficientes dos modelos ajustados para chips de batata Asterix na estufa de circulação forçada.

Chips de batata Asterix – Estufa							
Modelo	T (°C)	a	k	n	b	k0	k1
Wang e Singh	35	-0,0140			0,0001		
Logarítmico	55	1,131	0,017		0,0906		
Henderson e Pabis	65	1,1093	0,0041				

O parâmetro “k” dos modelos estudados não tiveram o padrão de aumento com a elevação da temperatura de secagem, como observado por Hacıhafizoglu et al. (2008) e Araújo et al. (2017).

Na Figura 4 estão os valores de razão de umidade obtidos no experimento de secagem e pelos modelos de Wang e Singh, Logarítmico e Henderson e Pabis.

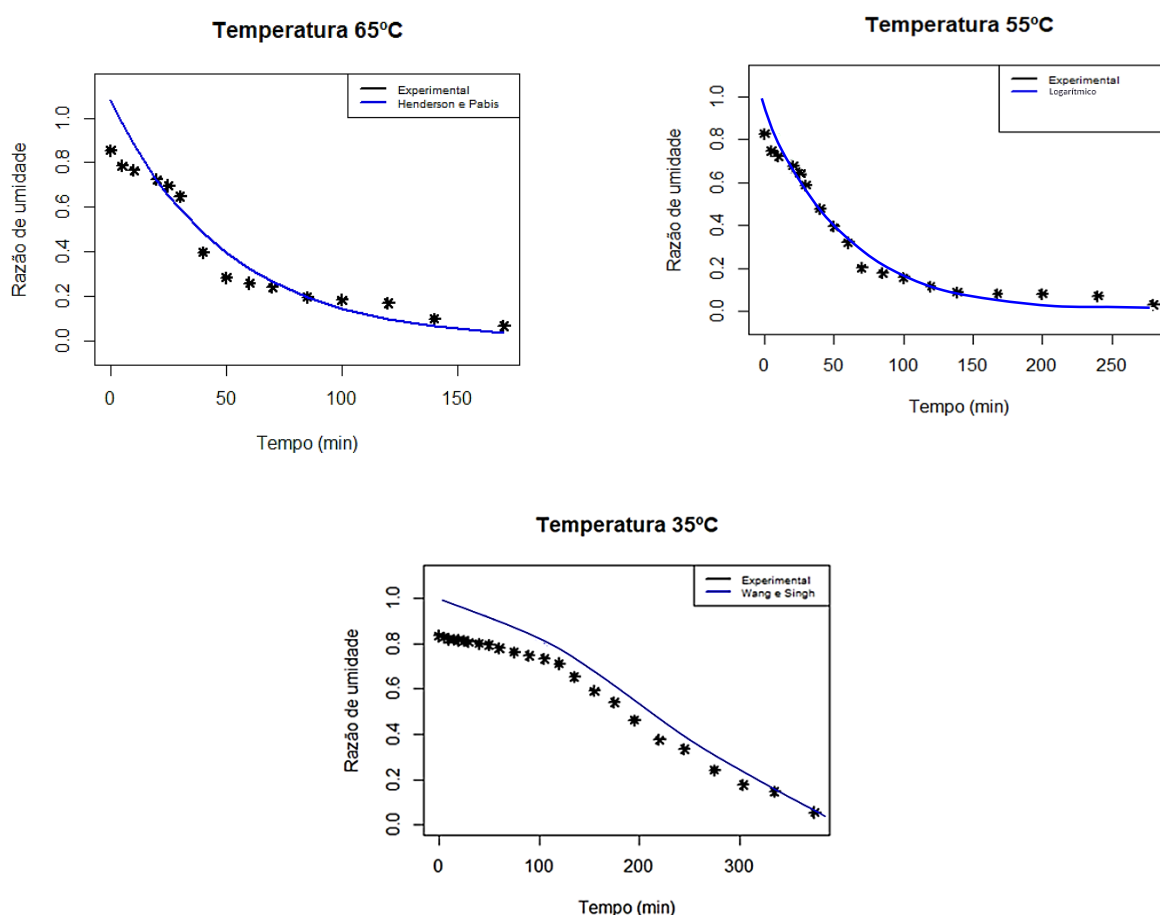


Figura 4 - Curvas de secagem estimadas e experimentais de Chips de batata Asterix em estufa de circulação forçada nas temperaturas de 35, 55 e 65°C.

Observa-se que os efeitos exponenciais da temperatura do ar de secagem promoveram maior taxa de remoção de água dos chips de batata Asterix, apresentando menor tempo, como obtidos em outros trabalhos (FARIA et al., 2012; CASTIGLIONI et al., 2013).

De acordo com Shivhare et al. (2004), as moléculas de água do produto fazem com que no processo de secagem seja exercido uma força pela temperatura, associado à energia cinética. Com o aumento da temperatura a energia cinética se eleva e isso ocorre diminuição das forças de atração entre as moléculas de água e os demais constituintes que compõe o material, fazendo com que ocorra diminuição da umidade.

Os critérios de seleção utilizados para os oito modelos de secagem analisados, nas diferentes temperaturas de secagem para os chips de batata Monalisa estão dispostos na Tabela 22.

Tabela 22. Parâmetros estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2); Erro médio estimado (SE) e Erro médio relativo (P), estimados para o ajuste dos modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem dos chips de batata Monalisa obtidos nas temperaturas de 35 a 65 °C, para cada modelo avaliado na estufa de circulação forçada.

Chips de batata Monalisa – Estufa				
Modelo	T (°C)	R²	S.E (decimal)	P
Exponencial de Dois Termos	35	0,9362	0,084244	60,5960
Exponencial de Dois Termos	45	0,9294	0,095679	30,8937
Exponencial de Dois Termos	55	0,9692	0,072601	10,0131
Exponencial de Dois Termos	65	0,9889	0,038093	3,4804
Henderson e Pabis	35	0,9262	0,112322	82,3869
Henderson e Pabis	45	0,9791	0,052232	43,8770
Henderson e Pabis	55	0,8871	0,112042	1,7005
Henderson e Pabis	65	0,8653	0,136472	15,4433
Logarítmico	35	NC	NC	NC
Logarítmico	45	NC	NC	NC
Logarítmico	55	0,9331	0,11099	0,6540
Logarítmico	65	0,9791	0,053855	5,7186
Midilli	35	NC	NC	NC
Midilli	45	NC	NC	NC
Midilli	55	NC	NC	NC
Midilli	65	0,9916	0,035326	4,0179
Newton	35	0,827	0,146445	87,5876
Newton	45	0,9076	0,121449	46,2341
Newton	55	0,9671	0,054131	3,7693
Newton	65	0,8746	0,115255	20,1686
Page	35	0,9876	0,040249	22,4435

Page	45	0,9599	0,06681	15,2252
Page	55	0,9811	0,049439	11,5318
Page	65	0,9839	0,052543	22,0145
Thompson	35	0,8558	0,136725	82,6800
Thompson	45	0,9243	0,113803	44,0949
Thompson	55	0,9786	0,052828	2,7365
Thompson	65	0,8866	0,112307	17,2334
Wang e Singh	35	0,9367	0,104015	1,4025
Wang e Singh	45	0,9481	0,08224	6,6151
Wang e Singh	55	0,9794	0,047879	11,1791
Wang e Singh	65	0,9638	0,068476	3,1174

*NC= Não convergiu;

Os modelos ajustados para a técnica de secagem em estufa de circulação forçada de ar para a variedade Monalisa apresentaram coeficientes de determinação (R^2) entre 82 e 98 %.

Nota-se, na Tabela 22, que entre os modelos matemáticos que apresentaram melhores valores para os parâmetros estatísticos, para 50% das temperaturas estudadas, o modelo de Wang e Singh foi o mais recomendado, apresentando: $R^2=93,67\%$, $P= 1,40\%$ e $SE= 1,40$ para 35°C ; $R^2 = 94,81\%$, $P= 6,62\%$ e $SE=0,08$, para 45°C . Já para a temperatura de 55°C o modelo que melhor se adequou foi de Thompson: $R^2=97,86\%$, $P=2,74\%$ e $SE=0,05$. E para a temperatura de 65°C o modelo Midilli com: $R^2= 97,91\%$, $P=5,71\%$ e $SE=0,05$. No entanto, outros modelos obtiveram destaque de forma isolada com bons ajustes quanto os observados para a temperatura de 55°C , como: Newton, e Henderson e Pabis e para 65°C Exponencial de Dois Termos.

Assim, em ajustes satisfatórios aos dados experimentais, corroboram os resultados verificados por Corrêa et al. (2010) ao constatarem que para os parâmetros estatísticos, os modelos Wang e Singh apresentam os melhores ajustes para descrição da cinética de secagem dos frutos de café cereja da espécie *Coffea canéfora*. Aos dados experimentais de secagem, feito por Martinazzo et al. (2007) para folhas de capim-limão, o ajuste da equação de Midilli sugere que ela foi capaz de representar adequadamente o processo de secagem dessas folhas nas temperaturas testadas.

Os valores dos coeficientes obtidos para cada modelo estão apresentados na Tabela 23, para as diferentes condições experimentais.

Tabela 23. Valores dos coeficientes dos modelos ajustados para chips de batata Monalisa na estufa de circulação forçada.

Chips de batata Monalisa – Estufa						
Modelo	T (°C)	a	k	n	b	k₀ k₁
Wang e Singh	35	-0,0017			-0,00000370	
Wang e Singh	45	-0,0026			-0,00000309	
Thompson	55	-55,114			0,4770	
Newton	55		0,01616			
Henderson e Pabis	55	1,04723	0,01713			
Midilli	65	0,9644	0,0022	1,4939	0,00001997	
Exponencial de Dois Termos	65	2,19883	0,03449			

Estão representadas na Figura 5, as curvas experimentais e as estimadas obtidas pelos modelos selecionados para prever a secagem dos Chips de batata Monalisa em estufa de circulação forçada para as temperaturas em estudo.

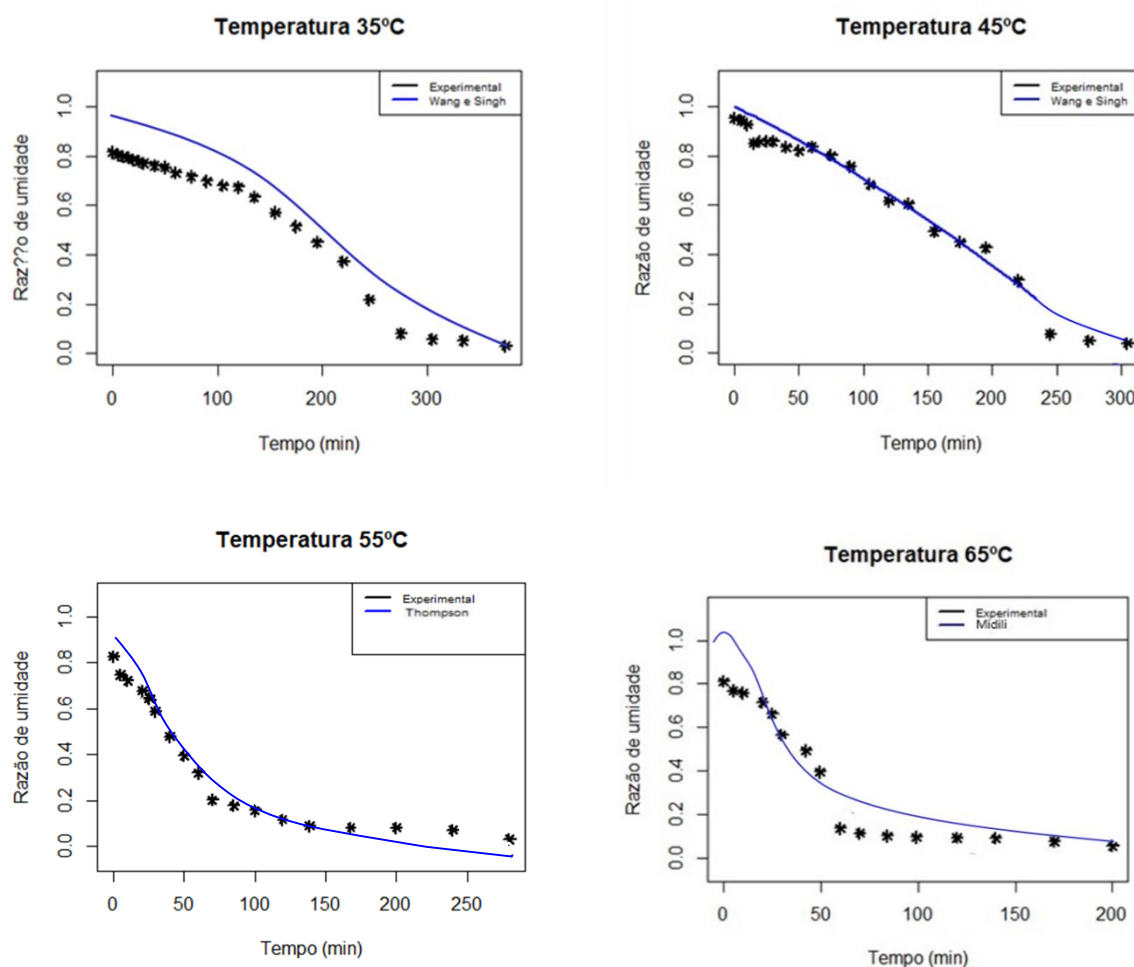


Figura 5 - Curvas de secagem estimadas e experimentais de Chips de batata Monalisa em estufa de circulação forçada nas temperaturas de 35, 45, 55 e 65°C.

Observa-se que, com o aumento da temperatura do ar de secagem, ocorre menor tempo de secagem do produto, como observado por diversos pesquisadores para diversos produtos agrícolas (MOHAPATRA & RAO, 2005; ERTEKIN & YALDIZ, 2004; LAHSASNI et al., 2004; AKPINAR et al., 2003; AZZOUZ et al., 2002).

Os perfis das curvas de secagem confirmam o melhor ajuste dos dados experimentais a temperatura de 35 e 45°C para Wang e Singh, Thompson para 55°C e Exponencial de dois termos para 65°C.

Estes resultados corroboram com os resultados obtidos por Menges e Ertekin (2006), e Gurjão (2006), no estudo da cinética de secagem de maçã variedade Ouro e

polpa de tamarindo, utilizando a estufa de circulação forçada como método de secagem e o modelo de Thompson como melhor ajuste.

4.3.1 Secador de leito fluidizado

Para todos os modelos matemáticos ajustados para o secador de leito fluidizado em chips de batata Asterix, os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 90% (Tabela 24). Com base nos parâmetros estatísticos avaliados, nenhum dos modelos apresentaram ajustes satisfatórios para a temperatura de 35°C pois, os valores de P foram acima de 23,06%. Já para 45°C, o modelo Wang e Sing apresentou melhor performance em relação aos demais modelos, com R^2 acima de 96%, SE com 0,06 e P de 5,37%.

Nas temperaturas de secagem de 55°C e 65°C, o melhor modelo ajustado foi o exponencial de dois termos com $R^2=97,63\%$, $SE=0,064$ e $P=1,769\%$ para 55°C e; $R^2=99,18\%$ $SE=0,038$ e $P=3,363\%$ para 65°C.

Dessa forma, observa-se que 50% das temperaturas tiveram melhor ajuste de modelo para Exponencial de Termos. Assim como, Araújo et al. (2020) obteve coeficientes satisfatórios de ajuste para diferentes espessuras de corte de alho, sendo, respectivamente, o coeficiente de determinação (R^2) 99,85% e erro médio relativo (P) 4,64%.

Tabela 24. Parâmetros estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2); Erro médio estimado (SE) e Erro médio relativo (P), estimados para seleção dos modelos dos chips de batata Asterix obtidos nas temperaturas de 35 à 65 °C.

Chips de batata Asterix – Secador de Leito Fluidizado				
Modelo	T (°C)	R²	S.E (decimal)	P
Exponencial de Dois Termos	35	0,9499	0,088116	26,6506
Exponencial de Dois Termos	45	0,9898	0,041754	20,8264
Exponencial de Dois Termos	55	0,9763	0,064034	1,7698
Exponencial de Dois Termos	65	0,9918	0,038461	3,3632
Henderson e Pabis	35	0,9538	0,089425	24,7118
Henderson e Pabis	45	0,9596	0,085626	30,1458
Henderson e Pabis	55	0,912	0,116803	21,0619
Henderson e Pabis	65	0,9898	0,0418949	22,6508
Logarítmico	35	NC	NC	NC
Logarítmico	45	0,9898	0,044685	26,2573
Logarítmico	55	0,9665	0,081318	21,5817
Logarítmico	65	0,9746	0,071612	13,7481
Midilli	35	NC		NC
Midilli	45	NC		NC
Midilli	55	NC		NC
Midilli	65	0,9986	0,017681	14,9960
Newton	35	0,9895	0,039952	24,1557
Newton	45	0,9458	0,091283	30,4765
Newton	55	0,9417	0,098018	28,0088
Newton	65	0,9087	0,11283	27,1492
Page	35	0,9981	0,018677	26,6605
Page	45	0,9686	0,069744	8,0258
Page	55	0,9899	0,041569	17,9250
Page	65	0,9817	0,056209	7,8561
Thompson	35	0,9895	0,042333	23,0665
Thompson	45	0,9504	0,092639	30,4889
Thompson	55	0,9185	0,121602	52,0299
Thompson	65	0,9111	0,117361	26,4658
Wang e Singh	35	0,9783	0,061196	28,5460
Wang e Singh	45	0,9772	0,064295	5,3740
Wang e Singh	55	0,9756	0,061477	16,8380
Wang e Singh	65	0,9082	0,125449	13,4744

*NC= Não convergiu;

Na tabela 25, encontram-se os parâmetros dos modelos selecionados.

Tabela 25. Valores dos coeficientes dos modelos ajustados para chips de batata Asterix no secador de leito fluidizado.

Chips de batata Asterix – Secador						
Modelo	T (°C)	a	k	n	b	k₀ k₁
Wang e Singh	45	-0,01629				
Exponencial de Dois Termos	55	1,9700	0,0597			
Exponencial de Dois Termos	65	2,10446	0,0367			

Observa-se que a constante de secagem “k” diminuiu com o aumento da temperatura. Isso é verificado na Figura 6, uma vez que o aumento da temperatura implica numa maior taxa de secagem, chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de exposição do produto ao ar de secagem. A constante “k” é usada como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e é relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e a difusão líquida que controla o processo (MADAMBA et al., 1996).

Na Figura 6, representa a comparação entre os resultados obtidos experimentalmente com os dados previstos pelos modelos ajustados nas temperaturas de secagem de 45, 55 e 65°C para descrever o comportamento de secagem para os chips de batata Asterix no secador de leito fluidizado. Para a os chips de batata Asterix 50% dos modelos ficou empregado o ajuste para o Exponencial de dois termos, nas temperaturas de 55 e 65°C.

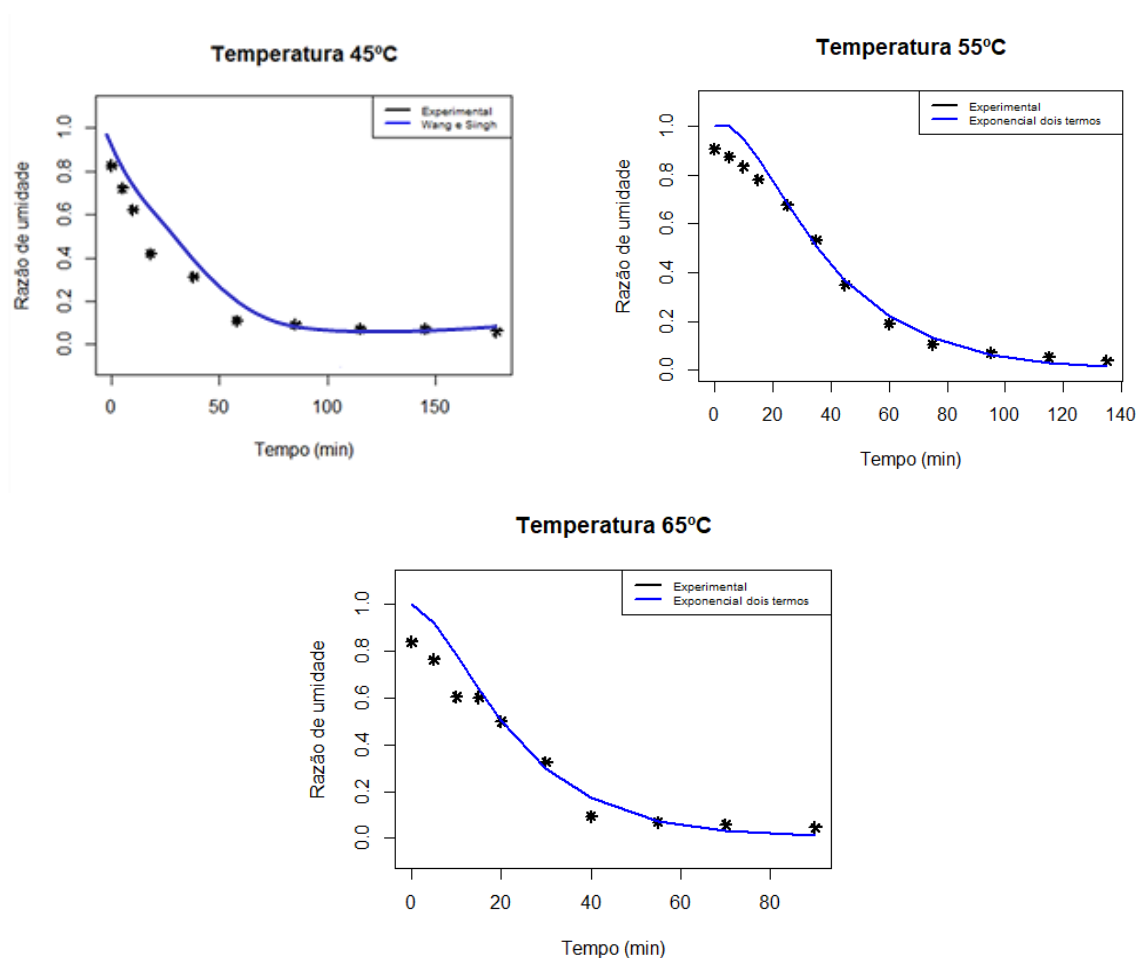


Figura 6 - Curvas de secagem estimadas e experimentais de Chips de batata Asterix em secador de leito fluidizado nas temperaturas: 45 a 65°C.

Na Figura 6, é evidente que o tempo de secagem varia conforme a temperatura. Quanto mais alta a temperatura, menor o tempo necessário para alcançar a umidade de equilíbrio (RIGUETO et al., 2020). Assim, quanto maior a temperatura, maior é a velocidade de secagem dos chips de batata Asterix. Também é possível notar que as curvas exibiram um comportamento semelhante para as diferentes temperaturas. Elas indicam que a perda de umidade é mais rápida no início da secagem, o que se deve à maior quantidade de água livre na superfície para ser removida.

Os critérios de seleção utilizados para os oitos modelos de secagem analisados, para as diferentes temperaturas de secagem utilizadas para os chips de batata Monalisa, no secador de leito fluidizado constam na Tabela 24.

Tabela 26. Parâmetros estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2), Erro médio relativo (P) e Erro médio estimado (SE); calculados para verificação do ajuste dos modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem dos chips de batata Monalisa obtidos nas temperaturas de 35 à 65 °C, para cada modelo avaliado.

Chips de batata Monalisa – Secador de Leito Fluidizado				
Modelo	T (°C)	R^2	S.E (decimal)	P
Exponencial de Dois Termos	35	0,9817	0,0519	40,4106
Exponencial de Dois Termos	45	0,9318	0,0905	7,1632
Exponencial de Dois Termos	55	NC	NC	NC
Exponencial de Dois Termos	65	0,9271	0,1139	55,0147
Henderson e Pabis	35	0,8977	0,1140	53,4613
Henderson e Pabis	45	0,9684	0,0682	15,2827
Henderson e Pabis	55	0,9684	0,0682	86,2206
Henderson e Pabis	65	0,8770	0,1257	83,7574
Logarítmico	35	0,9867	0,04639	12,7375
Logarítmico	45	NC	NC	NC
Logarítmico	55	NC	NC	NC
Logarítmico	65	NC	NC	NC
Midilli	35	NC	NC	NC
Midilli	45	NC	NC	NC
Midilli	55	NC	NC	NC
Midilli	65	NC	NC	NC
Newton	35	0,8592	0,124988	55,4577
Newton	45	0,8951	0,106824	15,9091
Newton	55	0,7845	0,186794	95,3018
Newton	65	0,9672	0,066441	86,0343
Page	35	NC	NC	NC
Page	45	0,9828	0,0503	23,7696
Page	55	0,9625	0,0671	3,5625
Page	65	0,9206	0,1004	59,8797
Thompson	35	0,8762	0,1220	53,7668
Thompson	45	0,8965	0,1146	15,6347
Thompson	55	0,8290	0,1745	87,4515
Thompson	65	0,9679	0,0687	84,6131
Wang e Singh	35	0,9690	0,0627	1,8384
Wang e Singh	45	0,9407	0,1027	8,5862
Wang e Singh	55	0,9908	0,0367	24,4999
Wang e Singh	65	0,9854	0,0418	9,7194

*NC= Não convergiu;

Os modelos ajustados para a técnica de secagem em secador de leito fluidizado para a variedade Monalisa, apresentou coeficientes de determinação acima de 82% exceto para o modelo de Newton, que em 55°C obteve 78%.

Nota –se, na Tabela 23, que para a temperatura de 35°C o modelo que propiciou o melhor ajuste foi Wang e Singh com os seguintes resultados: $R^2=96,90\%$; $SE=0,06$ e $P=1,838\%$. O modelo que melhor se ajustou para a temperatura de 45°C foi Exponencial de dois termos, com os seguintes dados: $R^2=94,07\%$; $SE=0,09$ e $P=7,16\%$. Todavia, o modelo Wang e Singh também obteve resultados satisfatórios e pode ser aplicado.

O modelo Page obteve melhor ajuste matemático se tratando da temperatura de 55°C, com $P=3,562\%$ e R^2 acima de 96%. Assim como Resende et al. (2011) entre os modelos analisados, Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais para a descrição das curvas de secagem do pinhão-mansão devido a sua simplicidade.

Para 65°C Wang e Singh obteve uma boa performance com os seguintes resultados: $R^2=98,54\%$; $SE=0,04$ e $P=9,719\%$. Para a batata Monalisa nesse método de secagem, assim como estufa verifica-se que o modelo Wang e Singh apresentou coeficiente de determinação acima de 93% para 75% as temperaturas. O modelo de Wang e Singh inclusive já foi recomendado para cinética de secagem de grãos de girassol (SMANIOTTO et al., 2017).

Na tabela 27, ao analisar os resultados para o modelo de Wang e Singh a 35°C, observa-se que os coeficientes a e b obtidos foram -0,0086 e -0,0000115, respectivamente. Esses valores indicam que a taxa de secagem (a) é negativa, o que é esperado durante o processo de secagem, pois a umidade diminui com o tempo. O coeficiente b também é negativo, o que sugere que a taxa de diminuição da umidade ao longo do tempo é acelerada.

Tabela 27. Valores dos coeficientes dos modelos ajustados para chips de batata Monalisa no secador de leito fluidizado.

Chips de batata Monalisa – Secador						
Modelo	T (°C)	a	K	n	b	k ₀ k ₁
Wang e Singh	35	-0,0086			-0,0000115	
Exponencial de Dois Termos	45	2,0581	0,01291			
Page	55		0,03786	2113,00		
Wang e Singh	65	-0,0033			-0,0000112	

A Figura 7 nos mostra os modelos que obtiveram melhor ajuste podem descrever o comportamento de secagem dos chips de batata Monalisa.

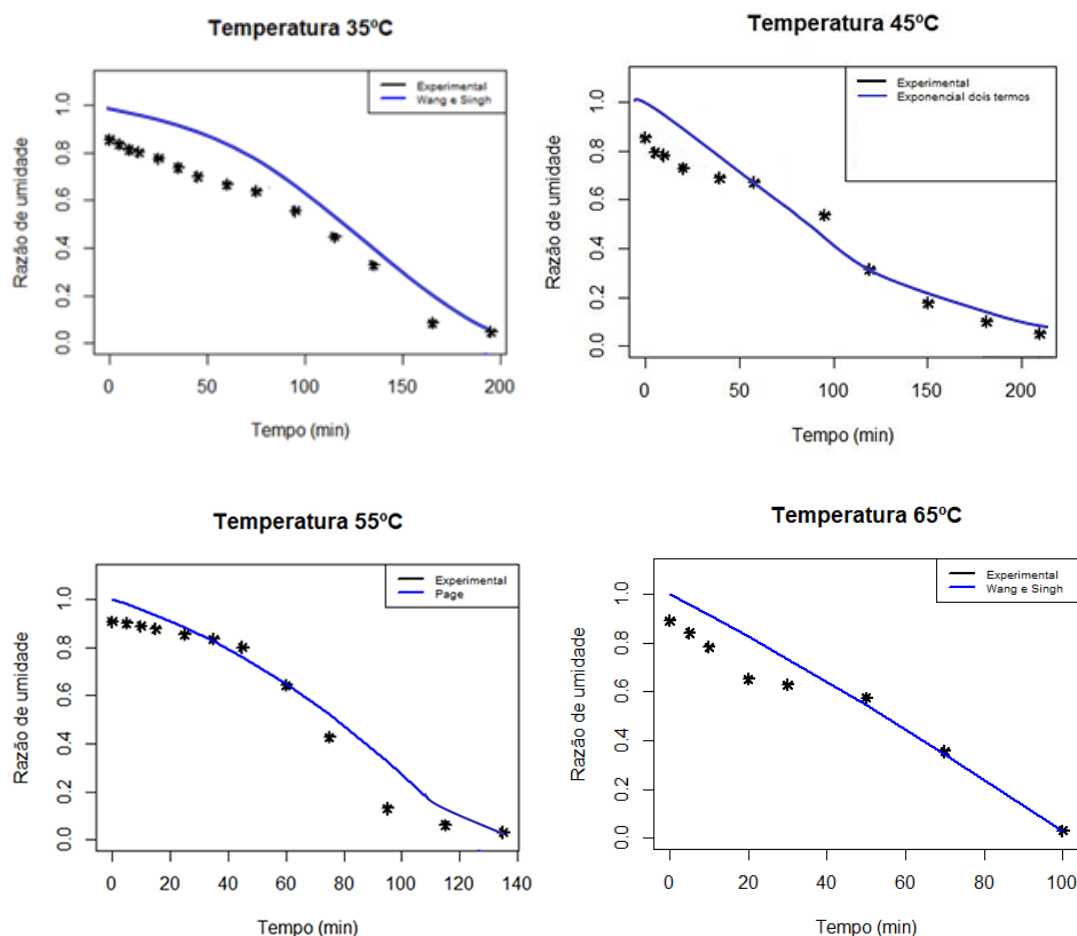


Figura 7 - Curvas de secagem estimadas e experimentais de Chips de batata Monalisa em secador de leito fluidizado nas temperaturas: 35, 45, 55 e 65°C.

Na secagem com leito fluidizado, para a batata Monalisa, o modelo de Wang e Singh foi selecionado em 50% das temperaturas (35 e 65°C). O modelo de Wang e Singh também foi recomendado para secagem de folhas de batata doce apresentando valores de R^2 mais próximos à unidade, indicando uma representação eficiente do comportamento do processo de secagem (GONELI et al., 2014).

O aumento da temperatura do ar de secagem demonstrou que houve maior taxa de remoção de água dos chips devido a uma maior pressão do vapor d'água entre os chips e o ar, corroborando para a redução do tempo gasto para a secagem do produto. Este resultado foi relatado por outros trabalhos, como rodela de limão (WANG et al., 2018) e casca de polpa de banana verde (GONÇALVES et al., 2017).

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, pode-se concluir:

Na temperatura de 65°C o método de secagem com leito fluidizado é mais eficiente para a secagem dos chips de batata Asterix e Monalisa em relação a estufa de circulação forçada., no qual levou 96,6 minutos para que os chips atingissem o equilíbrio higroscópico, se tornando mais eficiente sua aplicabilidade.

Na modelagem matemática da secagem em estufa de circulação forçada das batatas chips da variedade Asterix, os melhores modelos ajustados, nas temperaturas de 35 a 65°C foram Wang e Singh, Logarítmico e Henderson e Pabis, respectivamente; com exceção da temperatura de 45°C que não obteve ajuste satisfatório.

Na modelagem matemática da secagem em estufa de circulação forçada das batatas chips da variedade Monalisa, o modelo matemático que se ajustou as temperaturas foram Wang e Singh (35 e 45° C) e Thompson e Midilli (55 e 65°C), respectivamente.

Na modelagem matemática da secagem em secador de leito fluidizado, para variedade Asterix os modelos matemáticos ajustados foram: Wang e Sing (45°C), e 55 e 65°C Exponencial de Dois Termos.

Na modelagem matemática da secagem em secador de leito fluidizado, para a variedade Monalisa, os modelos matemáticos ajustados foram: Wang e Sing (35 e 65°C), Exponencial de Dois Termos (45°C), e Page (55°C).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. **Variedades**. 2023. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/abatata_variedades.htm> Acesso em: 20 dezembro de 2023.

AGUIRRE, J. M. Desidratação de hortaliças. In: AGUIRRE J. M.; GASPARINO, FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. (Manual Técnico). Campinas: ITAL, 2002. 205p.

AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, London, v.59, n.1, p.99-104, 2003.

ALONSO, L. F. T.; PARK, K. J. Métodos de seleção de secadores. **Food Science and Technology**, v. 25, n.2, p. 208-216, 2005.

ALVES, S. B. **Estudo teórico e experimental do processo de secagem do abacate (*Persea americana* Mill)**. 2014. 148p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2014.

AN, K.; ZHAO, D.; WANG, Z.; WU, J. XU, Y.; XIAO, G. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. **Food Chemistry**, v. 197, pp. 1292-1300, 2016.

ANDRADE, P. F. S. **Fruticultura—análise da conjuntura agropecuária—Safrá 2016/17**. Pará: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento Departamento de Economia Rural, 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2017/Fruticultura_2016_17.pdf> Acesso em: novembro de 2023.

ANDRADE, T. D.; BRESOLIN, S.; ALMEIDA, A. R. F. Estudo da caracterização física, fisiológica e análise fluidodinâmica dos grãos de cevada em leito fluidizado. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão...**, v.12, n.2, p.29, 2020.

ARAL, S., & BEŞE, A. V. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. **Food Chemistry**, v. 210, n.1, p. 577-584, 2016.

ARAÚJO, B. L. O.; ANDRADE, E. T. A.; OLIVEIRA, F. S.; MOREIRA, K. S.; RIOS, P. A.; Mathematical modeling of drying kinetics and its effect on Brazilian garlic (*Allium sativum* L.) color. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p.1-19, 2020,

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.

ARROTEIA, D. R.; BARBALHO, B. G.; CARA, G. C.; RIOLÉO, V.; SANTOS, F. A. G.; TESTA, F. A. G.; CONDOTTA, R. Study of flaxseed drying process in fluidized and

spouted bed. **The Journal of Engineering and Exact Sciences** - JCEC, v. 3, n. 2, p. 215–224, 2017.

AZZOUZ, S.; GUIZANI, A.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, London, v.55, n.4, p.323-30, 2002.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-58, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005>

BARRETO, I. M. A. **Obtenção de batatas chips crocantes e livres de óleo em secador de micro-ondas a vácuo**. 2016. 130p. Tese (Engenharia de alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

BELL, L. N. **Moisture Effects on Food's Chemical Stability**. In: Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications: Jonh Wiley & Sons, Inc. 2 ed., p. 227-253, 2020.

BERBARI, S. A. G.; AGUIRRE, J. M. Alternativas para o aproveitamento de Batata. **Batata Show**, Itapetininga, v. 2, n. 4, p. 27, 2002.

BERBERT, P. A.; QUEIROZ, D. M.; SILVA, J. S.; PINHEIRO FILHO, J. B. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 60, n. 3, p. 167-173, 1995.

BORGES, C.V.; BELIN, M.A.; SANTOS, T. R. P.; FERNANDES, D. S.; LEONEL, M.; LIMA, G. P. P. Influência do processamento térmico no teor de carotenoides totais em batata-doce de polpa alaranjada. In: I Simpósio de Batata-doce, Botucatu – SP, 2017. **Anais...** Botucatu, p.4, 2017.

BOTREL, D. A.; RODRIGUES, I. C. B.; SOUZA, H. J. B.; FERNANDES, R. V. B. Application of inulin in thin-layer drying process of araticum (*Annona crassiflora*) pulp. **Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie**, v.69, n.1, p.32-39, 2016

BRASIL. **Regra para análise de sementes**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, DF: MARA, 2009. 365p.

BRAUN, H. **Qualidade pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata influenciada por doses de nitrogênio**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). 2007. 84p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2007.

BRITO, T. de B. **Modelagem matemática de curvas típicas de secagem de frutas tropicais**. Trabalho de Conclusão do Curso de Química Tecnológica do Instituto de Química da Universidade de Brasília, 2022.

BROD, F.P.R. **Avaliação de um secador vibro-fluidizado**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, 2003, 335p.

CASÉ, I. N. **Processos alternativos de secagem do café arábica**. 2022. 61p. Monografia (Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2022.

CASTIGLIONI, G. L.; SILVA, F. A.; CALIARI, M.; SOARES JÚNIOR, M. S. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n.9, p. 987-994, 2013.

CAVALCANTE, A. M. M.; ALMEIDA, R. D.; MELO, A. M. de; MORAIS, B. A. de; SILVA, I. R. da; RIBEIRO, N. L.; ALEXANDRE, H. V.; SILVA, O. S. da. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba / Models of prediction of drying kinetics of algaroba grains. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 11192–11209, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n3-113. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7494>. Acesso em: 18 sep. 2023.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar**. 1996. 85f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Esalq-USP.

CEAGESP – Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. **Batata**. Normas de Classificação da Batata. São Paulo: CEAGESP, 2021. Acessado em: 05 de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/batata.pdf>>. Acesso em: 7 jun. 2021.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. 1.ed. Planaltina, Distrito Federal, Embrapa Cerrados, 2010. 49p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883845/1/doc276.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2022.

CELESTINO, S. M. C. **Transferência de calor e massa em leito deslizante e escoamentos concorrentes: secagem de sementes de soja**. 1998. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1998.

CÉSAR AUGUSTO. Desenvolvimento de novas cultivares de batata. **Batata Show – A revista da Batata**. Ano 01, n.2, julho,2001. 38p.

CHUA, K. J.; CHOU, S. K. Low-cost drying methods for developing countries. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, n. 12, p. 519-528, 2003.

CORNEJO, F. E. P.; NOGUEIRA, R. I.; WILBERG, V. C. **Secagem como Métodos de Conservação de Frutas**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2003. 14p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/415605/1/2003DOC0054.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2022.

CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de sementes de milho doce (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.110-119, 2003.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M. GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades

termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-507, 2007.

CORZO, O., BRACHO, N., ALVAREZ, C., RIVAS, V., & ROJAS, Y. Determining the moisture transfer parameters during the air drying of mango slices using biot-dincer numbers correlation. *Journal Food Process Engineering*, v. 31, p. 853-873, 2008.

COSTA, G. G. **Dimensionamento, construção e avaliação de um secador de leiteo fluidizado para secagem de produtos vegetais**. 55f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, Goiás, 2022.

CRUZ, A. C., GUINÉ, R. P. F., & GONÇALVES, J. C. Drying kinetics and product quality for convective drying of apples (cvs. Golden Delicious and Granny Smith). *International Journal of Fruit Science*, v.15, n.1, p.54-78. 2015. <http://dx.doi.org/10.1080/15538362.2014.931166>

CTA - CENTRO TÉCNICO DE COOPERAÇÃO AGRÍCOLA E RURAL. **Como fazer Chips e farinha de batata doce**. Hertfordshire, UK: CTA, 2008. (Coleção Guias Práticos, 6).

DOYMAZ, I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. **Journal of Food Engineering**, v.61, p. 359-364, 2004.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 712p.

DROUZAS, A. E.; SCHUBERT, H. Microwave application in vacuum drying of fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 28, n. 2, p. 203-209, 1996.

EMBRAPA. **Hortaliças**, 2023. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid5gmye02wyiv80z4s473ccvyhou.html>. Acesso em: 9 jul. 2023.

ERBAY, Z.; ICIER, F. A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 5, p. 441- 464, 2010.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, London, v.63, n.3, p.349-59, 2004.

EVANGELISTA, R. M.; NARDIM, I.; FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Qualidade nutricional e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 46, n.8, p.953-960, 2011.

FAOSTAT. The agricultural production domain covers. Online. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#compare>> . Acesso em: 21 de dezembro de 2023.

FARIA, D. S. G. Secagem convectiva de batata-doce enriquecida com isomaltulose (palatinose®) por desidratação osmótica: avaliação dos parâmetros cinéticos. 2023. 42p. Monografia (Engenharia Química). Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2023.

FARIA, R. Q.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p.573-583, 2012.

FERNANDO, A. L. **Análise Wavelet Aplicada a Sinais de Flutuação de Pressão em Leito Fluidizado**. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Processos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2008. v. 1. 662 p.

GARCIA, R. L.; OLIVEIRA, M. A. M.; CORDEIRO, M. N.; SERPA, D. Estudo experimental da secagem de alimentos: balanço térmico em um mini-secador de baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 405-421, 2021.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport process and unit operations**. 3 ed. New Jersey: Prattice Hall, 1993, 921p.

GONÇALVES, J. F. T. **Dimensionamento de um secador em leito fluidizado para secagem de cereais**. 2011. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2011.

GONÇALVES, J. Q.; SILVA, M. A. P.; PLÁCIDO, G. R.; CALIARI, M.; SILVA, R. M.; SOUZA, D. G.; MOURA, L. C. Cinética de secagem da casca e polpa da banana verde (*Musa acuminata*): Propriedades físicas e específicas da farinha. **Global Science e Technology**, v. 9, p. 62-72, 2017.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, p. 64-73, 2009.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.

GUEDES, A. M.; FARIA, L. J. G. Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 1, p. 73-86, 2000.

GURJÃO, K. C. O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (Tamarindus indica L.)**. 2006. 165 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

HACIHAFIZOGLU, O.; CIHAN, A.; KAHVECI, K. Mathematical modelling of drying of thin layer rough rice. **Food and Bioproducts Processing**, v. 86, n. 4, p. 268-275, 2008.

JAIN, D.; PATHARE, P. B. Study the drying kinetics of open sun drying of fish. **Journal of food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1315-1319, 2007

JANGAM, S. V. Uma visão geral dos desenvolvimentos recentes e alguns desafios de P&D relacionados à secagem de alimentos. **Tecnologia de Secagem**, v. 29, n. 12, p. 1343-1357, 2011.

JORGE, A. **Avaliação comparativa entre processos e secagem na produção de tomate em pó**. 2014. 70p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

KARASU, S.; KILICLI, M.; BASLAR, M.; ARICI, M.; SAGDIC, O.; KARAAGACLI, M. Dehydration kinetics and changes of bioactive compounds of tulip and poppy petals as a natural colorant under vacuum and oven conditions. **J. Food Process. Preserv**, v. 39, n. 6, p. 2096-2106, 2015.

KASHANINEJAD, M. et al Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

KEMP, I. C.; BAHU, R. E. A new algorithm for dryer selection. **Drying Technology**, v. 13, n. 5-7, p.1563-1578, 1995.

KOBLITZ, M. G. B. **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. Ed. Guanabara Koogan, 2011.

KOTOVICZ, V. 2011. 90p. **Otimização da desidratação osmótica e secagem do Yacon (*Polymnia sonchifolia*)**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2011.

KUDRA, T.; MUJUMDAR, A. S. **Part I. General Discussion: Conventional and Novel Drying Concepts**. In: Advanced Drying Technologies. p. 1–26, 2002.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M. Adsorption-desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Energy Conversion and Management**, v.45, n.2, p.249-26, 2004.

LIMA, R. A. B. Análise da secagem convectiva de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum L.*). 2013. 145f. Tese (Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2013.

LISBÔA, J. F.; SILVA, J. N.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, E. M. C. A.; GONÇALVES, M. C. Análise da hidratação de grãos de alpiste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 218-223, 2015.

LOURENÇO, B. R. **Estudo experimental da operação de secagem em secador elétrico tipo cabine**. 2014. 74p. Monografia (Engenharia de Materiais), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2014.

LUCCAS, V.; KIECKBUSH, T. G. Estudo cinético da secagem de banana-prata em secador de leito fluidizado e ajuste de modelos matemáticos aos dados

experimentais. **Coletânea Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v.5, n.2, p. 15-21, 1997.

LUZ, N. C. **Estudo da transferência de calor em leito fluidizado: análise numérica e experimental**. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande – RS, 2015.

MACHADO, R. M. D.; TOLEDO, M. C. F. Determinação de glicoalcalóides em batatas in natura (*Solanum Tuberosum* L.) comercializadas na cidade de Campinas, estado de São Paulo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.1, p. 047-052, 2004.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.75-97, 1996.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; MELO, E. C.; BARBOSA, F. F. Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.9, p.68-72, 2007a.

MARTINAZZO, A.P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 301–306, 2007b.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Unit operations of chemical engineering**. 7. ed. Boston, MA: McGraw-Hill/ /Engineering/Math, p. 836-888, 2004.

MCMINN, W. A. M.; AL-MUHTASEB, A. H.; MAGEE, T. R. A. Enthalpy-entropy compensation in sorption phenomena of starch materials. **Journal of Food Engineering**, v. 38, n. 5, p. 505-510, 2005.

MELO, P. C.; DEVILLA, I. A.; LISBOA, C. F.; SANTOS, M. M.; DUARTE, P. H. T. Kinetics drying pf *Spirulina platensis*. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 45, p. 4683-4691, 2016.

MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 77, n. 1, p. 119-125, 2006.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, p.1503-1513, 2002.

MISHA, S.; MAT, S.; RUSLAN, M. H.; SOPIAN, K.; SALLEH, E. Review on the application of a tray dryer system for agricultural products. **World Applied Sciences Journal**, v. 22, n. 3, p. 424-433, 2013.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, n.66, p.513-518, 2005

MOTTA LIMA, O.C. et al. Taxas de secagem na secagem condutiva/convectiva de papel com ar ambiente em convecção forçada. In: COBRASP, 27, 1999, Campos de Jordão-SP. *Proceedings...* Campos de Jordão: DEQEPUSP, 2000. p.525-532.

MOSCON, E. S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C. R.; DEVILLA, I. A.; RODOLFO JUNIOR, F. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 4, p. 318-328, 2017.

MOSKEN, G. M. **Adequação da Prática de Laboratório de Engenharia Química de Leito Fluidizado**. 52f. 2020. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2020.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 3th ed. New York: Taylor & Francis, 2006.

MUJUMDAR, A. S.; DEVAHASTIN, S. Fluidized bed drying. In A. S. Mujumdar, & S. Suvachittanont (Eds.), **Developments in drying vol. 1: food dehydration**, p.59–111, Bangkok: Kasetsart University Press, 2000.

NA, K.; ZHAO, D.; WANG, Z.; WU, J.; XU, Y.; XIAO, G. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidante properties, and microstructure. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1292-1300, 2016.

NIAMNUY, C.; NACHAISIN, M.; LAOHAVANICH, J.; DEVAHASTIN, S. Evaluation of bioactive compounds and bioactivities of soybean dried by different methods and conditions. **Food Chemistry**, v.129, n.3, p. 899-906, 2011.

NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance Window Dehydration Technology: A novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, v. 25, p. 37-48, 2007.

NINDO, C. I.; TANG, J.; POWERS, J. R.; BOLLAND, K. Energy consumption during Refractance Window evaporation of selected berry juices. **International Journal of Energy Research**, v.28, p. 1089-1100, 2004.

NUNES, D. M. C. **Propriedades físicas e térmicas de grãos de quinoa (Chenopodium quinoa Willd) em função do teor de água**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Câmpus Central - Sede: Anápolis - CET, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

NITZ, M.; GUARDANI, R. Fluidização gás-sólidos: fundamentos e avanços. **Revista Brasileira de Engenharia Química**, v.3, p. 52, 2008.

NUTHONG, P.; ACHARIYAVIRIYA, A.; NAMSANGUAN, K.; ACHARIYAVIRIYA, S. Kinetics and modeling of whole longan with combined infrared and hot air. **Journal of Food Engineering**, v. 102, n. 3, p. 233-239, 2011.

NWANKWO, S. C.; OSINACHI, U. F. JAMES, M. T.; OKOYEUZU, F. C.; DEREJE, B.; IRENE, C. E. Technological advancements in the drying of fruits and vegetables: A review. **African Journal of Food Science**, v. 15, n. 12, p. 367-379, 2021.

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C.; **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. 234p. 2015.

OLIVEIRA, G. H. H.; ARAGÃO, D. M. S.; OLIVEIRA, A. P. L. R.; SILVA, M. G.; GUSMÃO, A. C. A. Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 314-321, 2015.

OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C.; SANTOS, E. S.; TRETO, P. C.; DINIZ, M. D. M. S. Evaluation of thermodynamic properties using GAB model to describe the desorption process of cocoa beans. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 10, p. 2077-2084, 2011.

OLIVEIRA, R. A. 2009. 242p. **Estudo da secagem em dois tipos de secadores: Avaliação dos parâmetros operacionais e comportamento do material seco**. Tese (Doutor em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

ONWUDE, D. I.; HASHIM, N.; ABDAN, K.; JANIUS, R.; CHEN, G. The effectiveness of combined infrared and hot-air drying strategies for sweet potato. **Journal of Food Engineering**, v. 241, p. 75-87, 2019.

ORDOÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos- Componentes dos Alimentos e Processos**. V.I Trad. Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, 2005.

ORPHANIDES, A.; GOULAS, V.; GEKAS, V. Drying technologies: Vehicle to high-quality herbs. **Food Engineering Reviews**, v. 8, n. 2, p. 164–80, 2016.

PALACIN, J. J. F.; LACERDA FILHO, A. F.; CECON, P. R.; MONTES, E. J. M. Determinações das curvas de secagem de milho nas espigas (*Zea mays* L.). **Engenharia na agricultura**, v. 13, n. 4, p. 300-313, 2005.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v.52, p.349-357, 2002.

PARAIZO, W. B.; REZENDE, L. V; Estudo do Processo de Secagem de Batata-Doce de Polpa Roxa (*Ipomoea batatas* (L.) lam) em Leito de Jorro. 2019, 77f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, 2019.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processos equipamentos de secagem**. Campinas: UNICAMP, 2007. Disponível em: <<https://www.feagri.unicamp.br/cetea/projpesq.html>>. Acesso em: 08/10/2022.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D., 2014. Secagem: Fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, pp. 93-127.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PEDRESCHI, F. Frying of potatoes: physical, chemical, and microstructural changes. **Drying Technology**, v.30, p. 707-725, 2012.

PRACHAYAWARAKORN, S.; TIA, W.; PLYTO, N.; SOPONRONNARIT, S. Drying kinetics and quality attributes of low-fat banana slices dried at high temperature. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 4, p. 509- 517, 2008.

PRIETO, W. H. **Aplicação da teoria do caos em um leito fluidizado utilizando-se partículas a, b e d da classificação geldart**. 2014. 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) -Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2014.

PU, Y. Y.; SUN, D. W. Combined hot-air and microwave-vacuum drying for improving drying uniformity of mango slices based on hyperspectral imaging visualisation of moisture content distribution. **Biosystems Engineering**, v. 156, p. 108-119, 2017.

QUEIROZ, A. J. M.; DANTAS, H. J.; FIGUEIREDO, R. M. F.; MELO, K. S. Solar drying of Jack fruit almonds. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 66, p. 1150-1161, 2011.

R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 29 de agosto, 2023.

RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S.; MOSSI, A. J.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na agricultura**, v.19, n.1, p. 19-27, 2011.

RAMALHO, W. J. C. R. **Análise da cinética de secagem da batata-doce (*Ipomea batatas* L.) por diferentes técnicas de secagem**. 2018. 89p. Monografia (Engenharia de materiais), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

REIS, R. C.; BARBOSA, L.S.; LIMA, M. L.; REIS, J. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.347-353, 2011.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; BOTELHO, F.M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.1, p.17-26, 2008.

RESENDE, O.; ULLMANN, R.; SIQUEIRA, V. C.; CHAVES, T. H.; FERREIRA, L. U. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) durante a secagem. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6 p. 1123-1135, 2011.

RIGUETO, C.V.T., NAZARI, M.T., EVARISTO, L.M., ROSSETTO, M., DETTMER, A., GERALDI, C.A.Q. & PICCIN, J.S. Influence of foam-mat drying temperature of red jambo (*Syzygium malaccense*). **Research, Society and Development**, v.9, n.3, p. 1-14, 2020.

ROVEDO, C. O.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. Drying of foods: evaluation of a drying model. **Journal of Food Engineering**, v. 26, n. 1, p. 1-12, 1995

SABLANI, S. S.; MUJUMDAR, A. S. **Drying of Potato, Sweet Potato, and Other Roots**. In: Handbook of Industrial Drying. 3. ed. New York: A.S. Mujumdar, Taylor & Francis, n. 2, p. 647-646, 2006.

SAGAR, V. R.; SURESH, K. P. Recentes avanços na secagem e desidratação de frutas e hortaliças: uma revisão. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.47, n.1, p. 15-26, 2010.

SAHOO, M.; TITIKSHYA, S.; ARADWAD, P.; KUMAR, V.; NAIK, S. N. Study of the drying behaviour and color kinetics of convective drying of yam (*Dioscorea hispida*) slices. **Industrial Crops and Products**, v. 176, p. 114258, 2022.

SANTOS JÚNIOR, H. C. M. **Secagem de alimentos por micro-ondas: desenvolvimento de um protótipo de secador a vácuo, análise do processo e aplicação sobre diferentes tipos de alimentos**. 2021. 95p. Tese (Doutorado em Ciências na área de Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2021.

SANTOS, A. P. **Farinha de batata (*Solanum tuberosum* L.): obtenção caracterização físico-química, funcional, elaboração e caracterização de sopas desidratadas**. 2009. 105p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

SANTOS, D. C.; LEITE, D. D. F.; LISBÔA, J. F.; FERREIRA, J. P. L.; SANTOS, F. S.; LIMA, T. L. B.; FIGUEIREDO, R. M. F. COSTA, T. N. Modelagem e propriedades termodinâmicas da secagem de fatias de acuri. **Brazilian Journal of Food technology**, v. 22, n.2, p.18-31, 2019.

SANTOS, F. S.; LEITE, D. D. F.; FIGUEIRÊDO, QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem da romã. **Revista Spacios**, v. 28, n. 52, p. 27, 2017.

SCATENA, R. **Análise do caos em flutuações de pressão oriundas de modelagem CFD na condição de mínima fluidização em leito fluidizado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). 2018. 125f. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, São Paulo. 2018.

SHIVHARE, U. S.; ARORA, S.; AHMED, J.; RAGHAVAN, G. S. V. Moisture adsorption isotherms for mushroom. Lebensmittel. **Wissenschaftand Technologies**, v.37, p.133-137, 2004.

SILVA, C. M. Aplicação de tecnologias analíticas de processo e inteligência artificial para monitoramento e controle de processo de recobrimento de partículas em leito fluidizado. Campinas, UNICAMP, 2015.

SILVA, E. L. **Elaboração de batata chips desidratada**. 2011. 34p. Monografia (Técnica em Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of “Cabacinha” pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p.174–180, 2016.

SILVA, J. S. Secagem e Armazenagem de produtos agrícolas. **Viçosa: Aprenda Fácil**, 2008, 560p.

SILVA, P. L. Modelagem matemática aplicada ao estudo da transferência de calor na secagem de batata (*solanum tuberosum*). 2019. 70p. Dissertação, Universidade de Uberaba, Uberaba, 2019.

SIVAKUMAR, R.; SARAVANAN, R.; ELAYA PERUMAL, A.; INIYAN, S. Fluidized bed drying of some agro products - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **61**, v.61, p.280-301, 2016.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; OLIVEIRA, D. E. C.; CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 203-208, 2017.

SMITH, J. S.; HUI, Y. H. **Food processing: principles and applications**. Iowa: Blackwell, p.15, 2004.

SONG, J. et al. Degradation of carotenoids in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) slices as influenced by microwave vacuum drying. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 7, p. 1479-1487, 2017.

SOUSA, A. P. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P. G.; COSTA, J. D.; MACEDO, A. D. B.; SANTANA, R. A. C. Cinética de secagem de resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2021.

SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; SILVA, L. M. M.; MARTINS, J. J. A.; GOMES, J. P.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 26, n. 2, p. 108-112, 2011.

SOUSA, K. D.; COSTA, G. C.; CAPUCHINHO, F. F.; DOURADO, F. O.; FONSECA, K. R.; DEVILLA, I.A. Comparison of mathematical models to describe the drying kinetics of minimally processed ponkan tangerine. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.4, p.42475-42486, 2021a.

SOUZA, D. G.; RESENDE, O.; MOURA, L. C.; FERREIRA JUNIOR, W. N.; ANDRADE, J. W. S. Drying kinetics of the sliced pulp of biofortified sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 2, p. 176-181, 2019.

SOUZA, J. S. **Secagem de misturas de polpa de frutas tropicais em leito de jorro**. 2009. 178p. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2009.

SOUZA, T. T. C.; RIBEIRO, C. T.; MONTEIRO, E. R.; SOUZA, D. S.; SANTOS, T. T.; LIMA, P. M.; CAVALCANTE, R. F. Modelagem matemática e determinação de propriedades termodinâmicas do epicarpo, mesocarpo e endocarpo de Pupunha (*Bactris gasipaes*) durante o processo de secagem. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p.71217-71235, 2021.

SOZZI, G.; RAMOS, D. S. Avaliação do ágio no preço da energia convencional no mercado brasileiro de contratos de curto prazo: metodologia e aplicação. **Revista Espaço Ciência**, v.22, n.1, p.24-32, 2015.

TACO, **Tabela brasileira de composição de alimentos** / NEPA – UNICAMP.- 4. ed. rev. e ampl.. Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p.

TAN, M.; CHUA, K. J.; MAJUMDER, A. S.; CHOU, S. K. Effect of osmotic pre treatment and infra red radiation on drying and colour changes during drying of potato and pineapple. **Drying Technology**, v. 19, p. 2193–2207, 2001.

TEBCHERANI, S.M.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G.; VIEIRA, R.G.; CAVA, S.S.; SEQUINEL, T. Itajara Minérios Ltda. **Sistema de secagem de bagaço de maçã**. PI0806012-6, 2010.

TELIS, V. R. N. et al. Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. **Thermochimica Acta**, v. 343, n. 1/2, p. 49-56, 2000.

THAMKAEW, G.; SJÖHOLM, I.; GALINDO, F. G. A review of drying methods for improving the quality of dried herbs. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 11, p. 1763-1786, 2021.

TUDREI, B. B. **Modelagem matemática de curvas típicas de secagem de frutas tropicais**. Trabalho de Conclusão do Curso de Química Tecnológica do Instituto de Química da Universidade de Brasília, 2022.

TUNNERMANN, H. **Metodologia para dimensionamento de um equipamento para secagem da vagem da soja e seus resíduos**. 2018. 85p. Dissertação (Processos de Fabricação), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

UDOMKUN P.; NAGLE, M.; MAHAYOTHEE, B.; NOHR, D.; KOZA, A.; MÜLLER, J. Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. **Food Sci technol**. v. 25, n.60, p. 914–922, 2015

VAN'T LAND, C. M. **Industrial Drying Equipment: selection and application**. NewYork: Marcel Dekker Inc, 1991. p.19-39.

VICENZI, R. **Apostila tecnologia de alimentos**. DCSA – UNIJUÍ. 107p. 2008. Disponível em: . Acesso em: 05 de janeiro de 2024.

VIEIRA, E. L. Apontamentos e práticas de fisiologia pós-colheita de frutos e hortaliças (apostila). Cruz das Almas, Bahia. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas – CCAAB. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, 2019, 131p.

WANG, J.; LAW, C.; NEMA, P. K.; ZHAO, J.; LIU, Z.; DENG, L.; GAO, Z.; XIAO, H. Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. **Journal of Food Engineering**, v. 224, n. 5, p. 129-138, 2018.

WON, Y. C.; MIN, S. C.; LEE, D. U. Accelerated drying and improved color properties of red pepper by pretreatment of pulsed electric fields. **Drying Technology**, v. 33 n. 8, p. 926–32, 2015.

XANTHOPOULOS, G., YANNIOTIS, S., & LAMBRINOS, G. R. Water diffusivity and drying kinetics of air drying of figs. **Drying Technology**, v.27, n.3, p.502-512. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930802686149>

YILBAS, B. S.; HUSSAIN, M. M.; DINCER, I. Heat and moisture diffusion in slab products to convective boundary conditions. **Heat and Mass Transfer**, v. 39, p. 471–476, 2003.

ZAMBRANO, M. C., PAWLAK, J. J., DAYSTAR, J., ANKENY, M., CHENG, J. J., VENDITTI, R. A. Microfibers generated from the laundering of cotton, rayon and polyester based fabrics and their aquatic biodegradation. **Marine Pollution Bulletin**, v. 142, p. 394–407, 2019.

ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A. S. WANG, S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 10, p. 524-534, 2006.

ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v.14, n.10, p.2225–2253, 1996.