

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA**

**MARIANA ANDRADE ALVES DA SILVA**

**SECAGEM E PROCESSAMENTO DAS CASCAS DE MARACUJÁ: UMA REVISÃO**

**Buri  
2024**

MARIANA ANDRADE ALVES DA SILVA

**SECAGEM E PROCESSAMENTO DAS CASCAS DE MARACUJÁ: UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme de Figueiredo Furtado

**Buri  
2024**

Silva, Mariana Andrade Alves da

Secagem e processamento das cascas de maracujá: Uma  
revisão / Mariana Andrade Alves da Silva -- 2024.  
49f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,  
campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Guilherme de Figueiredo Furtado

Banca Examinadora: Isabele Cristina de Oliveira Neves,  
Thaís Jordânia Silva

Bibliografia

1. Uma revisão bibliográfica sobre a farinha da casca do  
maracujá e seus diferentes métodos de secagem.. I.  
Silva, Mariana Andrade Alves da. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539


MARIANA ANDRADE ALVES DA SILVA

SECAGEM E PROCESSAMENTO DAS CASCAS DE MARACUJÁ: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de São Carlos.  
Aprovado em: 10/09/2024.


Aprovado em: 10/09/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **GUILHERME DE FIGUEIREDO FURTADO**  
Data: 11/09/2024 08:42:43-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof. Dr. Guilherme de Figueiredo Furtado (Orientador)  
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Documento assinado digitalmente  
 **ISABELLE CRISTINA OLIVEIRA NEVES**  
Data: 11/09/2024 10:33:39-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Isabelle Cristina Oliveira Neves  
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Documento assinado digitalmente  
 **THAIS JORDANIA SILVA**  
Data: 11/09/2024 10:28:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Thais Jordania Silva  
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

**Buri  
2024**

## RESUMO

Atualmente, o aproveitamento de resíduos orgânicos é um tópico muito discutido nas indústrias alimentícias, sendo o maracujá considerado uma matéria-prima que gera grandes quantidades do mesmo, além disso, existem diversas formas de destino para os resíduos gerados no processamento do maracujá. A secagem das cascas para a produção de farinha de casca de maracujá é uma forma de reaproveitamento muito comentada na literatura hoje em dia, dessa forma, o presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica focada no aproveitamento da casca do maracujá para a produção de farinha, avaliando diferentes métodos e equipamentos de secagem, bem como suas vantagens e desvantagens. Outros pontos citados são a teoria da cinética de secagem, a modelagem matemática do processo e a comparação de resultados de diferentes estudos para tal produção que englobam os processos de secagem da casca de maracujá em: estufa de bandeja com recirculação de ar, liofilizador, secador convectivo assistido de ultrassom e secadores solar. A casca, que é habitualmente descartada, mostra-se uma grande fonte de nutrientes, o que justifica a sua destinação para produzir farinha. O estudo identificou que todos os métodos mencionados podem ter sua aplicação justificada e cada um apresenta vantagens em diferentes âmbitos, o que torna recomendável o entendimento global do projeto. Dos métodos observados, o mais indicado foi a secagem em secadores de bandejas com recirculação de ar, pois a farinha produzida foi de qualidade e os custos adicionalmente ao tempo foram apropriados para diversos tipos de processos, englobando orçamentos menores e mantendo a qualidade esperada.

**Palavras-chave:** Maracujá. Casca. Secagem. Tratamento. Resíduos. Processamento. Farinha. Bandejas. Secadores. Convecção. Condução. Tambor. Liofilização. Radiação. Evaporação. Desidratação. Pulverizadores. Passiflora.

## ABSTRACT

Nowadays, waste recovery is a much discussed topic in food industries, being the passion fruit known as a big waste generator raw material, furthermore, there are lots of different options of destination for the generated waste on the passion fruit process. The passion fruit peel drying turned into flour is a well commented way of its destination, that way, the present final course project presents a literature review focused on the utilization of passion fruit peel on flour production, evaluating different drying methods and equipments, as well as their advantages and disadvantages. Other mentioned points are the drying kinetics theory, process mathematical modeling and the comparison of the results of different studies for such production that encompass the passion fruit drying process using: tray dryers with recirculated air; freeze dryer; ultrasound assisted convective dryer and solar dryer. The usually discarded peel, exhibit a big source of nutrients that justifies its destinations to flour production. The study identified that every method mentioned could have its application justified and presented advantages and disadvantages in different aspects, turning the global project understanding a recommendable thing. Between the observed methods, the most recommended was tray dryers with air recirculation, as the flour produced was high quality and the costs, in addition to time, were appropriate for different types of processes, encompassing smaller budgets and maintaining the expected quality.

**Keywords:** Passion-fruit. Peel. Drying. Waste. Process. Residue. Flour. Tray. Dryers. Convection. Conduction. Drum. Freeze-Drying. Radiation. Evaporation. Dehydration. Spray-Drying. Passiflora.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	9
2.	OBJETIVO.....	10
3.	METODOLOGIA .....	10
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
4.1	PROCESSAMENTO DE FRUTAS.....	11
4.2	MARACUJÁ .....	12
4.3	CASCA DO MARACUJÁ.....	14
4.4	FARINHA DA CASCA DO MARACUJÁ.....	15
4.5	SECAGEM.....	18
4.5.1	<i>Secagem por convecção</i> .....	19
4.5.2	<i>Secagem por condução</i> .....	19
4.5.3	<i>Secagem dielétrica</i> .....	20
4.5.4	<i>Secagem por liofilização</i> .....	20
4.5.5	<i>Secagem por radiação</i> .....	21
4.5.6	<i>Secagem natural</i> .....	21
4.5.7	<i>Conclusão sobre a secagem</i> .....	22
4.6	CINÉTICA DE SECAGEM .....	22
4.6.1	<i>Modelagem matemática</i> .....	24
4.7	EQUIPAMENTOS MAIS UTILIZADOS .....	28
4.7.1	<i>Secador de bandejas</i> .....	28
4.7.2	<i>Secador de leito fluidizado</i> .....	30
4.7.3	<i>Torres de secagem (Secadores pulverizadores)</i> .....	31
4.7.4	<i>Secador de tambor rotativo</i> .....	32
4.7.5	<i>Liofilizador</i> .....	33
4.7.6	<i>Secador de túnel</i> .....	34
4.8	APLICAÇÃO DE SECAGEM NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.....	35
4.8.1	<i>Produção de farinha de maracujá por secagem em estufa de bandeja com recirculação de ar (Estudo 1)</i> .....	36
4.8.2	<i>Produção de farinha de maracujá por secagem por liofilização (Estudo 2)</i> .....	38
4.8.3	<i>Produção de farinha de maracujá por secagem assistida por ultrassom (Estudo 3)</i> 40	
4.8.4	<i>Produção de farinha de maracujá por secagem em secador solar (Estudo 4)</i> .....	44

4.9	COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS .....	45
5.	CONCLUSÃO .....	50



## 1. INTRODUÇÃO

A agroindústria, em termos amplos, configura-se como um setor produtivo encarregado da transformação de matéria-prima, seja esta de origem agropecuária ou manufaturada, destinada tanto ao consumo final quanto a estágios intermediários (Favro; Alves, 2020). Nesse contexto, este segmento desempenha um papel preponderante na geração de resíduos orgânicos, emergindo como uma das principais fontes desse tipo de resíduo no cenário contemporâneo brasileiro (Gaspar *et al.*, 2020). É de imperativo significado a implementação de práticas adequadas de descarte desses resíduos, uma vez que tal procedimento é essencial para mitigar o impacto ambiental e prevenir a contaminação do ecossistema circunvizinho (Ricardino *et al.*, 2020).

Uma perspectiva sustentável diante desse panorama consiste na reconfiguração desses resíduos como insumos viáveis para outros processos produtivos. Sob essa ótica, os resíduos agroindustriais têm sido conceituados como coprodutos, revelando uma abordagem proativa na gestão desses subprodutos, que transcende o tradicional paradigma de descarte.

O Brasil é considerado o maior produtor e consumidor de maracujá do mundo nos dias de hoje, gerando uma produção de mais de 500 milhões de toneladas ao ano de um fruto muito versátil, que pode ser utilizado na produção de diversos produtos, alimentícios ou medicinais, e tem grande importância social gerando empregos (EMBRAPA, 2016; EMBRAPA, 2019; Brasil, 2023). O componente mais expressivo do maracujá, em termos de massa, é a casca, que geralmente é descartada juntamente com as sementes (EMBRAPA, 2016; Silva, 2006). Os descartes variam com o modo de utilização do fruto, e podem ser destinados a diferentes aplicações. Um deles é a produção de farinha da casca de maracujá, que é uma farinha naturalmente rica em vitamina C e fibras, muito utilizada no enriquecimento de produtos alimentícios (Souza *et al.*, 2008).

O processamento das cascas de maracujá para o processo de produção da farinha envolve, necessariamente, uma etapa de secagem. Nesta etapa, existem diversos métodos e equipamentos que podem ser empregados para sua obtenção, como a secagem em bandejas de recirculação de ar, liofilizadores, *spray dryers*, ultrassom etc. Cada método pode atender determinados setores, variando conforme a necessidade da produção (Lima, 2021).

Portanto, o intuito deste estudo consistiu em explorar os variados métodos de secagem empregados na produção de farinha a partir de cascas de maracujá, considerando os princípios

fundamentais de transferência de massa subjacentes. O propósito primordial foi fornecer informações abrangentes que possam servir como guia para o setor industrial na seleção criteriosa do processo tecnológico mais apropriado para a valorização eficiente desse coproduto.

## **2. OBJETIVO**

O escopo do presente trabalho teve como objetivo central efetuar uma revisão bibliográfica abrangente sobre a farinha de casca de maracujá, elucidando suas funcionalidades e características físico-químicas e bioquímicas. Ademais, conduziu-se uma análise minuciosa e uma comparação crítica dos distintos métodos e equipamentos empregados no processo de fabricação dessa farinha, com foco específico na etapa de secagem, destacando a influência das taxas de transferência de massa nesse contexto. Este estudo visa contribuir para o entendimento aprofundado da produção de farinha de casca de maracujá, oferecendo *insights* relevantes para aprimoramentos na eficiência do processo e na qualidade do produto final.

## **3. METODOLOGIA**

Este estudo envolveu uma revisão bibliográfica sobre a farinha da casca de maracujá da espécie *Passiflora Edulis*, utilizando como método a busca criteriosa de publicações científicas que proporcionaram os dados necessários para fundamentar as discussões propostas. As plataformas utilizadas para a pesquisa incluíram SCIELO, Science Direct, Portal de Periódicos da Capes e repositórios de teses de instituições, como USP e UNICAMP. A priorização foi dada às publicações veiculadas em periódicos voltados para as áreas de Ciência e Tecnologia de Alimentos, bem como Engenharias.

Para otimizar a busca, foram utilizados palavras-chave e termos específicos, tais como "Maracujá", "Casca de maracujá", "Secagem", "Secagem da casca de maracujá", "Farinha de casca de maracujá", "Tratamento de resíduos" e "Processamento da farinha de casca de maracujá". No âmbito de plataformas em língua inglesa, os mesmos termos foram aplicados, devidamente traduzidos. Inicialmente, a seleção foi direcionada para publicações dos últimos 5 anos (2018 – 2023); entretanto, o período de abrangência precisou ser expandido para os últimos 10 anos (2013 – 2023) e em alguns casos específicos a expansão foi um pouco além.

Este enfoque visou garantir a atualidade e relevância das referências utilizadas na análise e discussão do presente trabalho.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Processamento de frutas**

O processamento de frutas exerce um papel essencial na indústria alimentícia, gerando uma variedade de produtos que vão desde sucos e geleias até polpas e desidratados. Essa atividade engloba uma série de etapas, incluindo o pré-processamento, que engloba a seleção cuidadosa das matérias-primas, a lavagem, o descascamento, o corte e, em alguns casos, a cocção (Oliveira, 2018).

A aplicação de técnicas específicas, como pasteurização, secagem e congelamento contribui para a preservação da qualidade sensorial e a ampliação do prazo de validade dos produtos (Cara, 2019). Além disso, o processamento de frutas também possibilita a criação de novos produtos que atendam às demandas do mercado consumidor, promovendo a diversificação da oferta alimentar (Oliveira, 2018). Dessa forma, a indústria de processamento de frutas desempenha um papel vital na promoção da sustentabilidade ao aproveitar excedentes sazonais e reduzir desperdícios, ao mesmo tempo em que proporciona opções convenientes e saudáveis aos consumidores.

O processamento do maracujá inicia-se com a seleção das frutas maduras, que para corresponder a tal estado devem apresentar coloração amarelo alaranjada, seguida pela lavagem cuidadosa para remover impurezas e então realiza-se a extração da polpa (Lago, 2016). O principal produto obtido no processo, é o suco, que é popular por seu sabor tropical e propriedades nutricionais relacionadas ao consumo da fruta *in natura* que é uma fonte rica de compostos bioativos, como flavonoides e vitaminas A, C e do complexo B, além de ser uma fonte significativa de fibras, sais minerais e antioxidantes, conferindo benefícios à saúde (Freitas, 2018). A produção de polpa também é comum, sendo utilizada em uma variedade de produtos, desde sorvetes até doces (Fidélis, 2018).

No que diz respeito ao desperdício, sua cadeia de processamento pode gerar resíduos, como cascas e sementes, sendo que 70% de seu peso estão presentes na casca (Arias, 2020). Entretanto, esses subprodutos têm potencial de aproveitamento, seja na produção de alimentos, como é o caso da farinha de casca de maracujá, na fabricação de suplementos ou

até mesmo na indústria farmacêutica devido a sua grande quantidade de ácidos graxos (Balthar, 2021; Silva, 2022). Moreira, Silva e Almeida (2012), destacaram os principais usos medicinais da espécie *Passiflora* ao redor do mundo, esses usos variam de acordo com região e espécie, porém seu uso como ansiolítico se destaca, além de outros componentes presentes na fruta que terão sua ação destacada nos próximos tópicos.

## 4.2 Maracujá

O termo "maracujá" refere-se genericamente a diversas espécies do gênero *Passiflora*, nome originado da expressão indígena “Mara-Cuia” que significa comida preparada em cuia. Existem cerca de 500 variedades distribuídas em regiões de clima tropical e subtropical ao redor do mundo. O Brasil destaca-se como o principal produtor, abrigando mais de 79 espécies desse gênero (Ribeiro et al., 2018). O *Passiflora edulis*, popularmente conhecido como maracujá azedo ou amarelo, destaca-se como a variedade mais cultivada e comercializada, compreendendo aproximadamente 95% dos pomares (Freitas, 2018).

A aceitabilidade do maracujá no mercado brasileiro é influenciada por diversos fatores que abrangem características sensoriais, aspectos nutricionais e demanda do consumidor. A fruta possui um sabor cítrico e azedo, conferindo-lhe uma identidade gustativa única (Machado, 2020).

Outro fator intrinsecamente ligado à aceitabilidade do mercado, é a diversidade de produtos derivados do maracujá, como sucos, polpas, doces e alimentos processados (Freitas, 2018). A versatilidade de aplicação do maracujá na indústria alimentícia tem contribuído para a sua popularidade, proporcionando opções atrativas aos consumidores. O perfil funcional da fruta, associado a possíveis benefícios à saúde, amplifica seu apelo no mercado, especialmente em um contexto em que a busca por alimentos saudáveis e naturais ganha relevância (Araújo, 2019).

É crucial destacar que a aceitabilidade do maracujá no mercado brasileiro está sujeita às dinâmicas sazonais, qualidade do produto oferecido, estratégias de *marketing* e às preferências regionais (Souza, 2021). Estratégias de valor agregado, como o lançamento de produtos inovadores e campanhas de conscientização sobre os benefícios do consumo de maracujá, podem desempenhar um papel significativo na promoção e sustentação da aceitação dessa fruta no mercado brasileiro.

A análise da composição centesimal do maracujá constitui um aspecto de notável relevância para a compreensão do seu valor nutricional e das possibilidades de aplicação na indústria alimentícia, sendo a polpa a parte mais visada para uso na indústria. A Tabela 1 apresenta de maneira sistemática as proporções de água, fibras, carboidratos, proteínas, lipídios e outros componentes da polpa do maracujá, proporcionando uma base fundamentada para uma apreciação mais aprofundada do valor nutricional ao maracujá. Esta abordagem analítica se mostra de extrema importância ao fornecer informações cruciais para orientar a indústria alimentícia na formulação de produtos, bem como para o reconhecimento das variadas potencialidades nutricionais associadas a esta fruta (Pita, 2012).

Tabela 1: Composição Centesimal da polpa do maracujá *Passiflora Edulis*.

<b>Macronutrientes</b>	<b>Polpa de Maracujá</b>	<b>Valores Diários Recomendados</b>
<b>(g/100g)</b>	<b>(g/100g)</b>	<b>(%)</b>
Água	75,6	3,8
Glicídios (Carboidratos)	21,2	7,1
Proteínas	2,2	2,9
Lipídios	0,7	1,3
Fibras	1,1	4,4
Cálcio	0,013	1,3
Fósforo	0,017	2,4
Ferro	0,0016	11,4
Potássio	0,36	-
Vitamina A	0,00007	11,7
Vitamina B1	0,00015	-
Vitamina B2	0,00010	-
Vitamina C	0,0000156	34,7

Fonte: Tabela formatada de PITA, 2012.

Apesar de rica em nutrientes essenciais, a polpa do maracujá representa apenas 30% do seu conteúdo mássico. O restante, se encontra na casca e nas sementes do fruto, se fazendo então necessária a análise desta parte para aproveitamento desse resíduo do processamento do maracujá (Araújo *et al.*, 2019).

### 4.3 Casca do maracujá

No contexto brasileiro, aproximadamente 90% das cascas de maracujá são descartadas, sendo que os 10% não descartado já são redirecionadas para outros tipos de processo visando o reaproveitamento. Entretanto essa porção da fruta revela-se abundante em componentes bioativos. Sua estrutura é caracterizada pelo flavedo, compreendendo a camada externa com coloração que varia de verde à amarela, notabilizando-se pela presença de fibras insolúveis, e pelo albedo, situado na camada interna de tonalidade branca, que é ricamente dotada de fibras solúveis, com destaque para a pectina e quantidades reduzidas de mucilagens. Adicionalmente, a casca do maracujá *Passiflora edulis* apresenta uma composição rica em compostos fenólicos, conferindo-lhe propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, exemplificadas pela presença de isoorientina e orientina. Essa análise ressalta a relevância da valorização integral das cascas de maracujá, não apenas como medida de redução de desperdício, mas também como uma fonte potencialmente valiosa de ingredientes com propriedades nutricionais e funcionais, alinhando-se a práticas sustentáveis e a potenciais aplicações na indústria alimentícia e farmacêutica (Costa et al., 2021).

As fibras alimentares, são descritas por Tavares e Terra (2018) como materiais complexos de origem vegetal, que apresentam resistência à digestão enzimática que ocorre no trato gastrointestinal dos seres humanos. Existem diversos estudos mostrando a sua importância e atuação para a saúde, sendo que seu consumo adequado está sendo diretamente relacionado à diminuição do risco de doenças crônico-degenerativas, como doenças gastrointestinais, cardiovasculares, diabetes, hipercolesterolemia e obesidade.

As fibras podem ser classificadas como solúveis ou insolúveis, sendo estas caracterizadas pela solubilidade em água. Fibras solúveis apresentam alta fermentação no intestino e incluem em sua composição substâncias pécticas, gomas e mucilagens. Quanto às fibras insolúveis, são caracterizadas pela insolubilidade em água, passagem quase intacta pela flora intestinal por apresentarem aproximadamente nenhuma fermentação no intestino. Seus principais componentes são a celulose, hemicelulose e lignina (Tavares e Terra, 2018).

O principal atributo da fibra solúvel é a formação de gel sobre a mucosa do intestino, o que propicia o retardamento do esvaziamento gástrico, contribuindo para a sensação de saciedade. A fibra insolúvel proporciona principalmente o fornecimento de massa requerido para que ocorra a ação peristáltica do intestino, o que influencia o trânsito intestinal e previne constipação (Tavares e Terra, 2018).

Chagas (2018) descreve isoorientina e orientina como flavonoides C-glicosídicos da classe das flavonas e são os marcadores químicos da espécie *Passiflora edulis var. flavicarpa Degener*. Segundo o mesmo autor, esses marcadores destacam-se devido a seu potencial antioxidante e anti-inflamatório. Estudos comprovaram eficaz efeito da orientina contra doenças como o câncer colorretal, proteção de lesões cerebrais e doença de Alzheimer. Propriedades antivirais, antibacterianas, cardioprotetoras, antinociceptivas, antidepressivas e neuroprotetora também se destacam para a orientina. A isoorientina também se destaca devido a suas propriedades quimioterápicas, que induzem a apoptose em células da linha celular de carcinoma hepatocelular.

#### 4.4 Farinha da casca do maracujá

A farinha da casca de maracujá é uma opção para agregar valor a esse resíduo, sendo assim, se faz necessário conhecer o processamento que engloba a sua produção. De acordo com um estudo desenvolvido por Cazarin *et al.* (2018) as principais etapas para a produção dessa farinha se deram através da lavagem dos frutos e posteriormente separação entre polpa e casca. As cascas então, foram destinadas para a secagem, que ocorreu em estufa com circulação de ar a 50 °C até que o teor de umidade menor ou igual a 10% fosse atingido, seguindo depois para um moinho de martelos para serem moídas até a granulometria desejada. A composição centesimal e atividade de água da farinha de casca de maracujá obtida pelos mencionados autores é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Composição centesimal e atividade de água da farinha da casca do maracujá (g / 100g, base seca).

Componente	Média ± DP (g/100g)
Atividade de Água ( $a_w$ )	0,43 ± 0,02
Umidade	9,48 ± 0,26
Cinzas	6,88 ± 0,02
Proteínas	3,94 ± 0,18
Lipídeos	0,31 ± 0,01

---

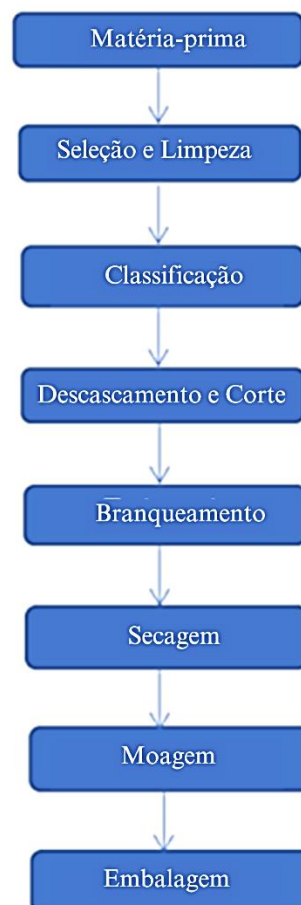
Fibra Dietética Total	65,22 ± 0,27
Fibra Insolúvel	48,12 ± 1,10
Fibra Solúvel	17,11 ± 1,36
Carboidratos	79,39

---

Fonte: Tabela formatada de Cazarin *et al.*, 2018.

Existem diversas sequências possíveis de processamento para a obtenção da farinha da casca do maracujá, isso depende da situação global do processo, mas geralmente os passos descritos na figura 1 são seguidos:

Figura 1: Fluxograma geral do processamento da farinha da casca de maracujá



Fonte: Adaptado de Almeida e Machado, 2021



De acordo com o fluxograma apresentado, o processo de fabricação da farinha de casca de maracujá inicia-se com a recepção da matéria-prima no local designado para processamento. Após a chegada, a matéria-prima é armazenada ou segue para a etapa de seleção, que consiste na separação das partes da casca de maracujá aptas para uso daquelas inadequadas, com base no estado de maturação, que pode se encontrar no seu ponto ótimo de maturação, ou ter passado dele. Na etapa de limpeza, a lavagem é realizada em água corrente clorada, seguida por um segundo enxágue para remoção do cloro, conforme descrito por Almeida e Machado (2021).

A fase de classificação envolve o descarte ou armazenamento das matérias-primas que não atendem às características padronizadas, com a seleção ocorrendo novamente após a higienização, permitindo uma melhor visualização do material. O descascamento é a etapa que separa a casca da polpa, enquanto o corte reduz a superfície de contato das partículas, conforme discutido por Farias (2021).

O branqueamento tem como objetivo preservar a qualidade do produto, conservando a cor, textura, sabor e algumas vitaminas, como A e C. Essa operação promove a desinfecção parcial e a inativação enzimática, além de oferecer proteção contra a oxidação. A seguir, o material passa pela etapa de secagem ou desidratação, que será detalhada em seções posteriores. A moagem subsequente reduz as partículas até alcançar a granulometria desejada. Finalmente, o processamento é concluído com o acondicionamento e envase do produto, que são então direcionados para o armazenamento em estoque ou distribuição, conforme Almeida e Machado (2021).

Reconhecendo que essa farinha pode ser obtida por diferentes processos, esses métodos diferentes devem ser conhecidos, estudados e comparados, para que a escolha do responsável de produção seja a mais eficiente o possível para a realidade que se enquadrar. A Tabela 3 exhibe exemplos de estudos que utilizaram a farinha da casca de maracujá na elaboração de produtos destinados a alimentação humana, demonstrando assim o potencial de aplicação dessa farinha.

Tabela 3: Estudos de aplicação da farinha da casca de maracujá em produtos alimentares

Aplicação	Título da pesquisa	Fonte
Barra de cereal	Barra de cereal formulada com farinha da casca de maracujá e casca de banana	Mendes (2023)
<i>Sorbet</i>	<i>Sorbet</i> funcional sabor maracujá	Marques (2023)

funcional		
Massa fresca sem glúten	Physicochemical and sensory characterization of gluten-free fresh pasta with addition of passion fruit peel flour	Ribeiro (2018)
Geléia de Maracujá	Geleia de maracujá com diferentes concentrações de pimenta biquinho, enriquecida com farinha da casca do maracujá	Oliveira (2023)
Biscoito	Desenvolvimento e análise sensorial de biscoito enriquecido com farinha de casca de maracujá ( <i>Passiflora Edulis</i> )	Santos (2021)
Pães	Elaboração de farinha da casca de maracujá e utilização em pães	Silva (2019)
Biscoito recheado	Adaptação de um biscoito recheado com a utilização de farinha de casca de maracujá para diabéticos	Patez (2022)
Sorvete de Mangaba	Sorvete sabor mangaba ( <i>Hancornia Speciosa Gomes</i> ) adicionado de farinha da casca do maracujá ( <i>Passiflora Edulis</i> )	Barbosa (2023)
Mistura para omelete em pó	Desenvolvimento, caracterização e vida de prateleira de mistura para omelete em pó enriquecida com farinha da casca de maracujá	Assis (2020)

#### 4.5 Secagem

O processo de secagem, também conhecido como desidratação, consiste na remoção significativa da água presente no alimento através do uso de calor, que proporciona a evaporação de água, reduzindo assim, a atividade de água e aumentando sua vida útil. A secagem, tem a capacidade de proporcionar positivamente a redução do crescimento microbiano e a atividade enzimática, porém, pode ocasionar danos a aspectos sensoriais e nutricionais. Dessa forma, se faz necessário o conhecimento do melhor e mais eficiente método de desidratação, calculando o dimensionamento dos parâmetros e equipamentos (Ramos, 2017).

A classificação do processo de secagem pode ser realizada de duas maneiras distintas: secagem natural e secagem artificial. A secagem natural, que utiliza a exposição ao sol ou ao

vento, é considerada vantajosa devido ao seu baixo custo de investimento e à simplicidade operacional. Por outro lado, a secagem artificial, que requer a utilização de fontes de energia, oferece um controle mais preciso e seguro sobre a qualidade do produto final. Este método pode ser ainda subdividido em dois tipos principais: secagem contínua e secagem intermitente, conforme discutido por Almeida e Machado (2021).

O método artificial de secagem contínua se dá pelo ar aquecido agindo continuamente sobre um produto até que ele atinja o teor de umidade desejado, podendo variar a fonte de calor. Quanto ao método intermitente, consiste na duração mais curta do contato da matéria-prima com o ar aquecido, sendo intercalado a períodos sem exposição ao fluxo de ar quente (Silva, 2023).

Além disso, os processos de secagem natural ou artificial podem ser classificados de acordo com a condição física utilizada como fonte de calor, sendo os métodos mais comumente utilizados: convectivo, condutivo, dielétrico, liofilização e radiação (Silva, 2018).

#### 4.5.1 Secagem por convecção

A secagem convectiva é um método que consiste no envolvimento de dois fenômenos, a transferência de energia e transferência de massa entre o produto que será seco e o ar de secagem (fluido em movimento), que deve apresentar baixa umidade relativa. A elevação da temperatura ocasiona o crescimento na pressão parcial de vapor do produto e, conseqüentemente a remoção de água (Gomes *et al.*, 2024). Os principais parâmetros que podem ser controlados são a temperatura e o fluxo do ar e a alimentação de matéria prima (Skarbalius *et al.*, 2022)

Esse é um dos métodos mais utilizados por consequência de sua eficiência térmica e econômica, com uma construção simplificada, de fácil operação e baixo custo de investimento (Almeida e Machado, 2021; Kong, 2024). Os pontos negativos vinculados a esse método, são a baixa eficiência de secagem, períodos mais prolongados do processo, maior consumo de energia e degradação de qualidade significativa. Pensando em contornar essas desvantagens, foram desenvolvidos outros métodos, sendo a secagem convectiva muito utilizada para materiais porosos (Kong, 2024). Em aplicações industriais, os métodos mais comuns são a secagem em camada fina, leito fluidizado e aspersão (*spray drying*) (Ling *et al.*, 2022).

#### 4.5.2 Secagem por condução

A secagem por condução, se dá através da transferência de calor por meio de contato físico. Geralmente, esse processo é favorecido quando o objeto de secagem apresenta alto teor de umidade ou tem espessura reduzida, além de demandar temperaturas mais altas que as do processo convectivo (Morales *et al.*, 2024). Métodos de secagem condutiva compreendem a secagem com múltiplos estágios, água quente, superfícies aquecidas e pás (Link *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2021; Raj, 2022).

#### 4.5.3 Secagem dielétrica

Esse processo fundamenta-se no posicionamento do material em um campo eletromagnético de alta frequência na região de frequência de microondas ou de rádio. As rápidas mudanças na direção do campo eletromagnético ocasionam mudanças nas orientações dos dipolos dielétricos ou dos líquidos polares, como a água e essa fricção molecular gera calor no interior do material viabilizando a evaporação da água (Almeida e Machado, 2021). Esse processo pode contribuir com a redução de viabilidade de sobrevivência de bactérias como *Escherichia coli*, *Leclerciaadecarboxylata* e *Staphylococcus aureus*, pois muda suas estruturas molecular (Nuroğlu, 2019).

A desidratação por radiofrequência apresenta baixa eficiência, principalmente no momento inicial do processo, o que deixa a taxa de secagem relativamente menor. Para resolver problemas como esse, o método pode ser utilizado em conjunto a métodos convectivos (Jin *et al.*, 2024; Nasr, 2024).

#### 4.5.4 Secagem por liofilização

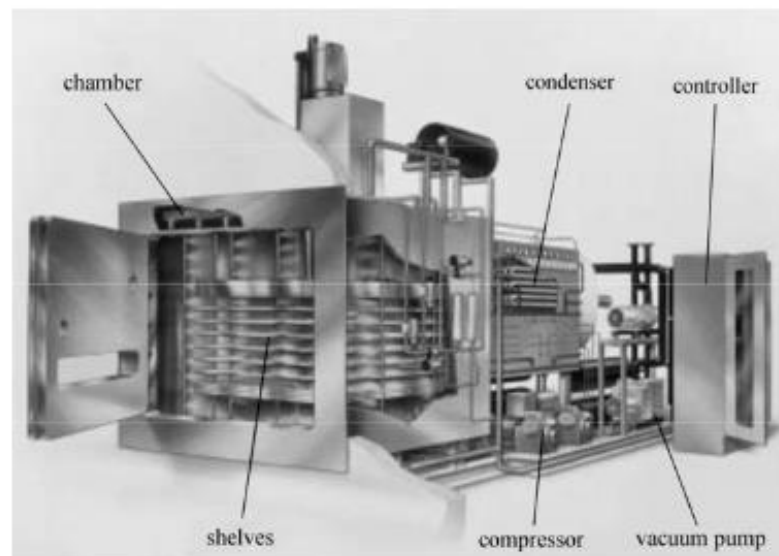
É um método embasado pela sublimação da água congelada presente no objeto de secagem, que é colocado em uma câmara de secagem com pressão abaixo do ponto tríplice da água. A fonte de calor se dá através de radiação ou condução (Assumpção e Crespo, 2018).

A liofilização é um processo considerado caro devido a baixas taxas de secagem e a utilização de vácuo, sendo então, apenas indicado para desidratar produtos que sejam sensíveis a altas temperaturas (Almeida e Machado, 2021; Różyło, 2020).

Esse tipo de secagem possui algumas etapas, como o congelamento do material para separar os cristais de gelo da matriz do soluto, a desidratação primária, ou sublimação para remover os cristais de gelo que sai da forma sólida diretamente para a gasosa e a desidratação secundária que acontece para remover a umidade residual causada pelas moléculas de água

atreladas a matriz. É um processo realizado em um liofilizador, que tem sua representação expressa na Figura 2, e conta basicamente com câmara de secagem, bomba de vácuo, condensador, compressor e controlador (Esparza e Onyuksel, 2019; Wang *et al.*, 2012).

Figura 2: Diagrama esquemático de um liofilizador



Fonte: Wang *et al.*, 2012.

#### 4.5.5 Secagem por radiação

Quando comparado a processos tradicionais de secagem, esse método é considerado mais eficiente energeticamente, apresentando um baixo tempo de secagem, uniformidade no aquecimento dos materiais, fácil controle da temperatura, boa qualidade do produto final e baixos custos de energia (Huang *et al.*, 2021).

Esse processo consiste na inserção da energia térmica no material úmido por meio de radiação com ondas eletromagnéticas, com uma faixa de comprimento de onda situada entre 0,75 e 1000  $\mu\text{m}$ . A radiação infravermelha compõe a porção de maior comprimento de onda da luz solar. Embora a penetração dessa radiação seja limitada, ela consegue atravessar a área superficial do material, induzindo a vibração das moléculas e originando, assim, o efeito térmico (Almeida e Machado, 2021; Huang *et al.*, 2021).

#### 4.5.6 Secagem natural

A secagem natural, um dos métodos mais antigos e mais utilizados de secagem, em que geralmente ocorre em secadores solares, que atuam por meio de radiação solar e convecção natural. É um processo mais lento, porém, mais barato (Silva *et al.*, 2021). Ao empregar esse método, geralmente, existem maiores riscos de contaminação, o que resulta em produtos de qualidade inferior (Plabon, *et al.*, 2024).

#### 4.5.7 Conclusão sobre a secagem

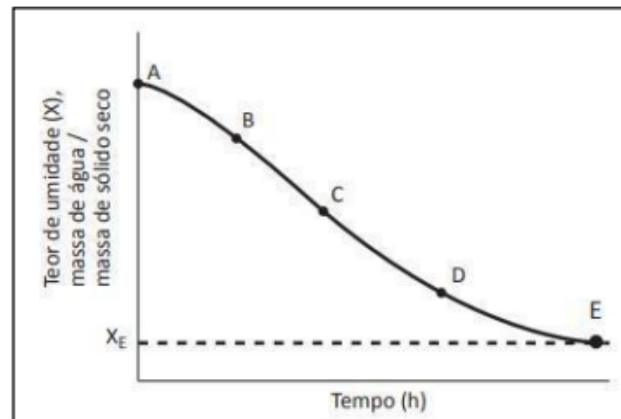
A secagem convectiva é frequentemente recomendada para a desidratação de produtos orgânicos. Apesar de apresentar algumas desvantagens, esse método é considerado um dos mais eficientes e economicamente viáveis, proporcionando resultados de secagem satisfatórios a um custo relativamente baixo. Além disso, a degradação sensorial do produto final, no caso da farinha, é menos relevante, uma vez que este não é destinado ao consumo puro.

### 4.6 Cinética de secagem

A cinética de secagem é caracterizada como a taxa na qual ocorre a remoção de umidade de um alimento, sendo representada por uma curva de secagem, ela é influenciada pelas propriedades intrínsecas da matriz alimentar, bem como por variáveis operacionais, notadamente temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. Este fenômeno destaca a interação complexa entre a composição do alimento e as condições do ambiente durante o processo de secagem (Almeida e Machado, 2021; Joo *et al.*, 2024).

A sua determinação se faz necessária para se obter uma maior eficiência dos secadores e ampliar o conhecimento sobre o comportamento de secagem em diferentes alimentos, pois através dela é possível determinar o tempo do processo (Joo *et al.*, 2024). A curva que representa o comportamento do conteúdo de umidade dentro de um alimento em relação ao tempo durante um processo de secagem está representada na Figura 3.

Figura 3: Umidade no alimento durante o processo de secagem.



Onde:  $X_E$  – Umidade de equilíbrio.

Fonte: Almeida & Machado, 2021.

As características das curvas que descrevem o processo de secagem são compostas por períodos de secagem que são divididos em regiões. Na Figura 3, a umidade livre inicial presente no alimento corresponde ao ponto A e segue até o ponto B, formando o período AB, que equivale ao estágio de aquecimento de um material, com a sua superfície sólida chegando ao equilíbrio com a temperatura do ar de secagem, sendo que essa seção AB representa o período de adaptação do alimento às condições de secagem e à temperatura de bulbo úmido do ar, ao mesmo tempo que a água livre evapora (Silva Junior, 2023; Almeida e Machado, 2021).

O segundo período de secagem é representado pela região BC, que apresenta uma redução do teor de umidade praticamente linear, o que leva essa fase a ser reconhecida como período de taxa constante, onde a água saturada na superfície do sólido diminui de forma gradual e a água não apresenta muita resistência para sair do material. Em grande parte dos produtos alimentícios essa seção de taxa constante não é encontrada, sendo mascarada como taxa pseudoconstante para alguns alimentos que apresentam um decréscimo constante da umidade devido ao encolhimento do produto (Silva Junior, 2023).

Em caso de alimentos não porosos, como a principal remoção da região BC seria a água superficial, no entanto para alimentos porosos como a casca do maracujá, essa etapa apresenta uma duração maior devido à substituição da água superficial que é evaporada pela água presente no interior do alimento, que não encontra dificuldade em escoar em razão dos poros presentes (Almeida e Machado, 2021). O ponto C, marca a finalização da secagem constante, e a umidade nesse ponto, é chamada de umidade crítica (Silva Junior, 2023).

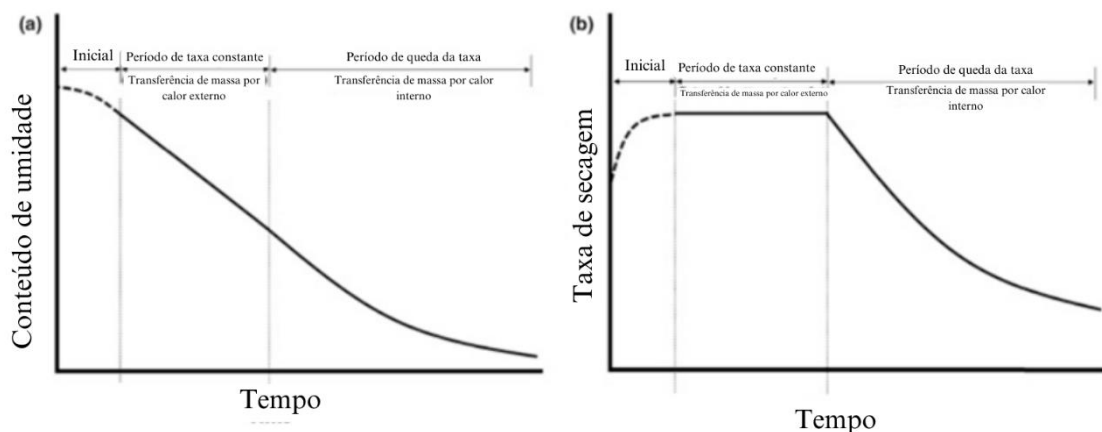
A partir do ponto C, a secagem se caracteriza pelo crescimento da resistência interna, o que resulta no início do período decrescente, representado pela região CD, que tem a

diminuição da quantidade de água na superfície com o tempo, o que pode culminar em rachaduras na superfície do alimento (Almeida e Machado, 2021).

A partir do ponto D, observa-se o segundo período de velocidade decrescente, onde o teor de umidade diminui até o alcance do teor mínimo de umidade (umidade de equilíbrio) referente às condições de temperatura e umidade relativa do ar. Atingido essa umidade, a secagem é encerrada. A condição de umidade de equilíbrio é atingida quando o alimento é exposto por um período prolongado a uma temperatura e umidade relativa do ar específicas, resultando em uma pressão parcial do vapor d'água na superfície do produto igual à pressão parcial do vapor d'água presente no ar circundante (Almeida e Machado, 2021).

Na Figura 4 (a) é possível observar de forma mais intuitiva cada fase presente na curva de secagem, e na Figura 4 (b), é possível verificar a taxa de secagem em relação ao tempo destacando as mesmas etapas, facilitando dessa forma a comparação das curvas.

Figura 4: Curvas de secagem



Fonte: Adaptado de Knoerzer e Sabarez, 2016.

O conhecimento da cinética de qualquer processo de secagem, é de extrema importância para um processo otimizado e eficiente. Para isso é preciso determinar algumas modelagens matemáticas (Odahara *et al.*, 2023).

#### 4.6.1 Modelagem matemática

Modelagem matemática de um sistema é definida por Castiglioni *et al.* (2013) como um composto de equações que tem o potencial de indicar a precisão de um processo. Contudo, existem diversos modelos matemáticos apresentados pela literatura para analisar o processo



de secagem, devendo dessa forma, ser selecionado o melhor modelo para o sistema considerado e suas circunstâncias particulares. Os modelos de Lewis (Newton), Page, Henderson, logarítmico etc., são amplamente utilizados para acompanhar a secagem de produtos agrícolas, principalmente de vegetais e frutas (Ye *et al.*, 2024).

A desidratação é considerada um processo complexo, pois envolve transferência simultânea de calor e massa entre o sistema e a vizinhança. Essa complexidade dificulta a compreensão da relação entre os parâmetros conhecidos e o processo de desidratação, o que é simplificado através da modelagem matemática. Essa etapa crucial contribui para a descrição do processo, auxiliando na seleção, desenvolvimento e dimensionamento de equipamentos, bem como com a previsão dos tempos de secagem e na avaliação da qualidade do processo (Jimoh *et al.*, 2024; Ye *et al.*, 2024).

Existem dois tipos de abordagens utilizadas na modelagem de processos de secagem. O primeiro corresponde a abordagem teórica, que utiliza princípios físicos e matemáticos, onde se faz necessário o conhecimento das propriedades do fluido de secagem e do material a ser seco, pensando no estabelecimento das condições de contorno relacionadas aos fenômenos de transporte de calor e massa. Isso pode demandar algumas suposições que se forem incorretas podem prejudicar todo o conhecimento sobre o processo. A maior parte da modelagem teórica é baseada na variação da segunda lei de Fick e sua variação simplificada a lei de resfriamento de Newton (Baidhe, 2024; Silva Junior, 2023).

A segunda modelagem, se baseia em uma abordagem empírica ou semiempírica, que são baseadas nos experimentos existentes, e amplamente utilizados para estudos devido a sua maior facilidade de cálculo e interpretação, e fornecem uma relação direta entre o teor médio de umidade e o tempo empregado no processo (Silva Junior, 2023). Existem alguns métodos que misturam modelos empíricos e teóricos para ter um resultado mais preciso e certo (Baidhe, 2024).

O processo de desidratação pode ser simulado e previsto pela teoria da lei de difusão de Fick e pela lei do resfriamento de Newton. O desenvolvimento do modelo é obtido pela informação da quantidade de umidade presente em relação ao tempo transformada em uma taxa normalizada, que utiliza a técnica de curvas ajustadas e funções matemáticas adaptadas aos dados fornecidos (Jimoh *et al.*, 2024).

Em 1855, Fick estabeleceu-se como pioneiro na formulação de equações que descrevem a cinética de secagem de materiais ao propor uma correlação entre a transferência de massa e o calor por difusão, baseando-se no fato de que a transferência de calor por difusão é caracterizada pelo movimento molecular aleatório (Almeida e Machado, 2021). Difusão, é

uma palavra que se origina do verbo latino *diffundere*, que significa espalhar em várias direções, e ela pode se aplicar a diversas áreas de conhecimento. Relacionando a difusão ao processo de secagem, estabelece-se que existe difusão de massa e calor, ou seja, o transporte dessas grandezas (Cremasco, 2019).

Entende-se por coeficiente de difusão, um índice que possibilita avaliação e comparação da velocidade de secagem. Ele pode ser obtido através de soluções numéricas ou analíticas com dados experimentais (Botelho *et al.*, 2015; Corzo e Bracho, 2007)

A lei de Fick se aplica a diversos objetos planos com coeficientes de difusão constantes, o que não compreende todas as formas de materiais, então Crank apresentou soluções analíticas que aumentaram a gama de representação da lei para diferentes formas geométricas e condições de contorno diversas (Franco *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2023)

O modelo matemático de Fick descreve a teoria de difusão em substâncias isotrópicas, fundamentando-se na suposição de que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração do composto (Almeida e Machado, 2021).

A maior parte dos modelos matemáticos existentes até o momento são uma derivação da simplificação de uma solução em série da segunda lei de Fick, tomando considerações que embasem o sistema abordado, com suas condições características. Em resumo, é aconselhável avaliar vários modelos empíricos para identificar qual deles é mais apropriado para cada processo de secagem (Almeida & Machado, 2021).

A secagem que utiliza a fluidodinâmica computacional (CFD), é uma modelagem que apresenta certas vantagens quando comparada aos modelos empíricos, pois existe a possibilidade da quantificação do fluxo de calor e de massa, e facilidade na detecção de mudanças nas condições de operação, esses modelos têm a capacidade de fornecer uma visão mais profunda do processo de secagem devido a configuração 3D. O desenvolvimento desse modelo requer uma definição precisa das variáveis utilizadas, como a seleção das equações matemáticas e métodos numéricos, limites, condições iniciais, condições de contorno e possíveis correlações empíricas (Silva Junior, 2023).

Existem diversas equações utilizadas para descrever os processos de secagem para modelos empíricos, sendo necessário avaliar métodos e resultados, geralmente para a escolha do modelo, utiliza-se o coeficiente de determinação  $R^2$ , e a distribuição  $\chi^2$ , sendo que o modelo selecionado é procurado pelo maior  $R^2$  e menor  $\chi^2$ . Tabela 4, apresenta esses modelos, junto as equações e as fonte que utilizaram tal método (Gomez, 2023).

Tabela 4: Equações que descrevem a secagem de diferentes produtos

<b>Modelo</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Estudo</b>	<b>Fonte</b>
Newton	$MR = \exp(-kt)$	<i>Effective drying processes for Taikor (Garcinia pedunculata Roxb.) fruit by ultrasound-assisted osmotic pretreatment: Analysis of quality and kinetic models</i>	Hossain et al. (2024)
Page	$MR = \exp(-k_1 t^n)$	<i>Comprehensive study on potato drying in convective air dryer: experimental observations, mathematical modeling, and model validation</i>	Faik et al. (2024)
Page modificado	$MR = \exp(-k_1 t)^n$	<i>Experimental evaluation of performance, drying and thermal parameters of guava slabs dried in a forced convection indirect solar dryer without and with thermal energy storage</i>	Mugi et al. (2024)
Henderson-Pabis	$MR = a \cdot \exp(-k_1 t)$	<i>Integrated drying model of lychee as a function of temperature and relative humidity</i>	Ahmed et al. (2024)
Logaritimico	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$	<i>Comparison of equilibrium and logarithmic models for grain drying</i>	Lopes (2014)
Difusão de Fick simplificada	$MR = a \cdot \exp(-c(t/L^2))$	<i>Concentration-dependent diffusion kinetics of Ti-Al binary system at elevated temperatures: Experiments and modeling</i>	Wu et al. (2019)
Henderson-Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt) +$	<i>Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer</i>	Younis (2018)

$$\text{Modificado} \quad b \exp(-gt) + \quad \text{drying of garlic slices} \\ c \exp(-ht)$$

MR: teor de umidade médio adimensional; exp: exponencial; k e k1: constantes de secagem ( $\text{h}^{-1}$ ); t: tempo de secagem (h); n: coeficientes de secagem; a, b, c, g e h: constantes empíricas; L: espessura da amostra.

Cada processo de secagem, pode demandar um modelo diferente que se enquadra melhor ao processo, por isso, existe a necessidade de experimentação para escolher o modelo a ser utilizado, logo recomenda-se a utilização de um conjunto de modelos para a obtenção de um resultado com maior precisão. Dessa forma, a escolha da modelagem dependerá do experimentador (Gomez, 2023).

#### 4.7 Equipamentos mais utilizados

A operação de secagem pode ser conduzida através de dois tipos distintos de processos: batelada e contínuo. No método de secagem por batelada, o material é inserido no equipamento de secagem por um período determinado, com intervalos nos quais não ocorre o processo de secagem. Por outro lado, no método contínuo, há um fluxo contínuo de material sendo adicionado ao equipamento de secagem, enquanto o produto seco é removido de forma ininterrupta, sem interrupções deliberadas durante o processo (Martins *et al.*, 2020).

A escolha do equipamento também depende do processo, existem métodos onde sólidos são agitados, alguns em que o material deve ficar em movimento, além de existir a possibilidade de empregar uma operação a vácuo com a intenção de reduzir a temperatura de secagem. Alguns equipamentos ainda podem ser destinados para desidratar vários tipos de material ou algum específico, sendo assim necessária a avaliação para escolher o modelo ideal. A seguir, são descritos os principais tipos de secadores empregados em indústrias alimentícias (Londe, 2020).

##### 4.7.1 Secador de bandejas

O secador de bandejas é frequentemente utilizado em indústrias, sendo caracterizado como um tipo de secador mais simples e não poluente, que consiste na disposição do material a ser seco sob uma bandeja, que pode apresentar diferentes configurações: há bandejas com fundo telado, onde o ar é direcionado através do material que está disposto na bandeja, e as

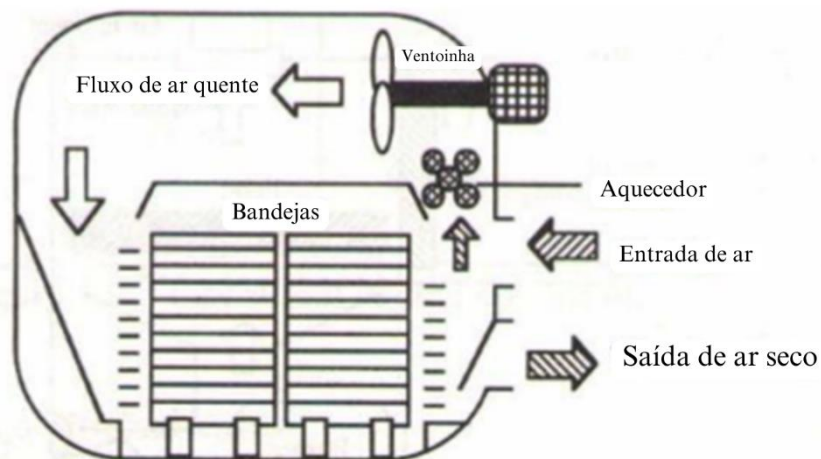
bandejas com fundo inteiriço, onde o ar circula entre o topo de uma bandeja e o fundo da bandeja adjacente posicionada acima (Martins *et al.*, 2020).

Para este modelo de secador, os métodos de condução e convecção para secagem são aplicados. O equipamento conta com uma hélice paralela a bandeja, que é incumbido a reciclar o vapor quente, sendo que a quantidade de ar seco fresco que passa pela bandeja representa cerca de 10% a 20%, o restante é referente ao ar recirculado, o que possibilita o controle da umidade do ar no nível desejado e uma certa conservação de energia. Também é possível empregar o aquecimento elétrico caso o aquecimento convencional não seja adequado. A temperatura pode ser controlada por um termostato e pode-se encontrar esse equipamento com operação a vácuo, o que permite que a secagem seja realizada em menores temperaturas (Martins *et al.*, 2020; Cosmo *et al.*, 2017).

Devido a um perfil de ar heterogêneo e uma distribuição de energia térmica irregular para diferentes localidades do equipamento, a secagem pode ficar não uniforme. Além disso, outras desvantagens de utilizar esse equipamento estão relacionadas a uma possível desidratação mais lenta de vegetais, além do endurecimento do produto (Plabon *et al.*, 2024).

Esse tipo de secador é utilizado para a secagem de materiais sólidos granulosos ou pastosos, sendo um equipamento muito indicado e utilizado para secagem de frutas e vegetais, um exemplo ilustrativo deste secador é apresentado na Figura 5 (Aime e Aurora, 2019).

Figura 5: Secador de bandejas.



Fonte: Aime e Aurora, 2019.

Como o calor pode não ser distribuído de maneira uniforme, esse método pode demandar mais tempo para atingir a quantidade de calor desejada por todo o material, além de consumir altos níveis de energia. A problemática do tempo, poderia ser resolvida caso a

temperatura do processo seja aumentada, porém, isso pode acarretar um efeito indesejável na composição nutricional do alimento processado (Khammeethong *et al.*, 2024).

#### 4.7.2 Secador de leito fluidizado

Londe (2020) descreve o processo de fluidização como uma condição em que partículas sólidas se transformam para o estado fluido através de suspensão em um gás ou líquido. Se a velocidade de escoamento do fluido for aumentada a ponto da força de arrasto nas partículas se igualar a força peso das partículas, ocorre a suspensão das partículas, o que caracteriza o leito como fluidizado.

Esse equipamento é constituído pela secagem do material úmido através do contato com o ar aquecido que é soprado através do leito, assim, tanto as partículas quanto o ar passam a se comportar como um fluido. As correntes de entrada e saída do material a ser seco são caracterizadas pela entrada no topo do leito e a retirada próxima ao fundo. Existem dois tipos de secadores de leito fluidizado, um circular com leito profundo (0,5 a 2,0 m) e um retangular com um leito de profundidade até 0,2 m, frequentemente, o último compartimento de certos secadores retangulares é fluidizado com gás frio para resfriar os sólidos antes da descarga (Martins *et al.*, 2020).

As características do processo de secagem deste equipamento podem ser afetadas pela quantidade de umidade presente no alimento, tamanho da partícula e formato dos leitos, além disso, a utilização do secador de leito fluidizado depende principalmente de que se conheça a velocidade mínima de fluidização, caso a velocidade seja menor que esta, não ocorre a fluidização do leito e muito acima dela, ocorre o arraste dos sólidos para o exterior do leito (Handayani, 2023).

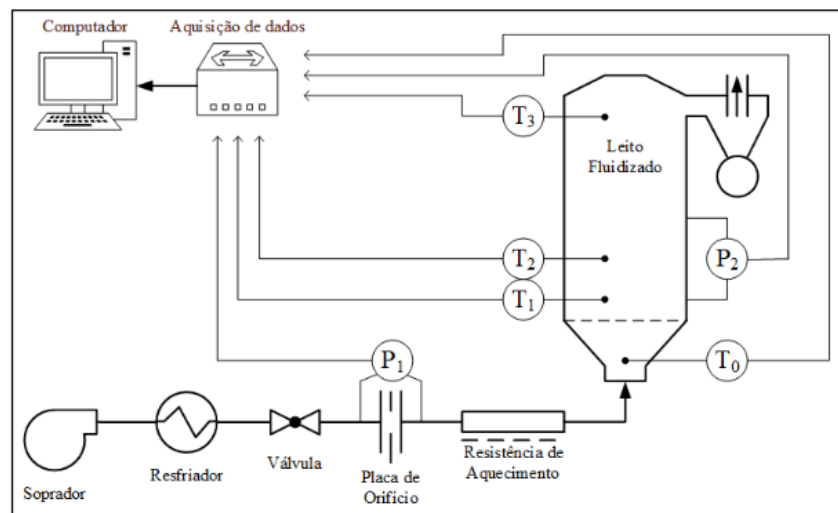
Os gases provenientes da câmara de secagem, compreendendo o gás de combustão, vapor de água e partículas finas, são direcionados para um ciclone com o objetivo de recuperar os sólidos finos. Esse material é coletado e incorporado ao material já seco (Martins *et al.*, 2020).

Uma das principais vantagens desse sistema é o aumento do contato superficial entre sólido e fluido, o que promove uma transferência eficiente de massa e calor, mesmo em temperaturas baixas. Isso resulta em uma secagem mais rápida, sendo particularmente benéfico para substâncias sensíveis à temperatura (Martins *et al.*, 2020).

Outras vantagens da utilização deste secador além da secagem rápida são: um coeficiente de transferência de calor alto, secagem uniforme, facilidade de operação e oferece

uma alta capacidade de secagem. A maior indicação de uso deste equipamento é para secar materiais granulares e pode ser aplicado em sistemas contínuos (Handayani *et al.*, 2023; Chuwattanakul *et al.*, 2022). A representação de um secador de leito fluidizado se encontra na figura 6.

Figura 6: Secador de leito fluidizado.



Fonte: Soares, 2019.

#### 4.7.3 Torres de secagem (Secadores pulverizadores)

A desidratação por pulverização, que é popularmente conhecida por *spray drying*, transforma o material diretamente em partículas de pó através da pulverização contínua de ar quente, o que elimina etapas de moagem posteriores. Para este processo a permanência do produto na câmara de secagem é curta, pois a secagem ocorre sob altas temperaturas para que a evaporação ocorra imediatamente após o contato com a superfície quente, o que beneficia produtos com sensibilidade ao calor (Ansar *et al.*, 2022).

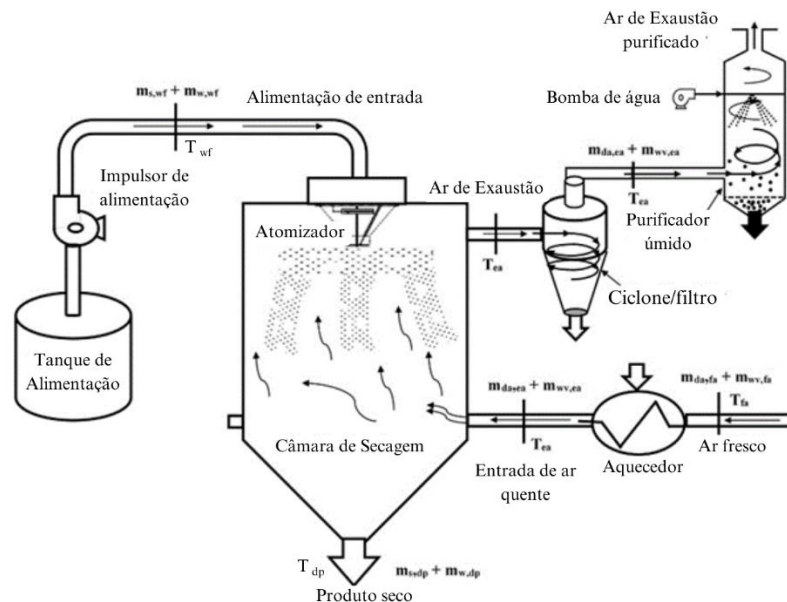
Três partes principais do aparelho, desempenham uma participação importante para a execução do método, são elas a câmara de secagem, o atomizador e o coletor de produto, além disso ele é caracterizado por seu tamanho grande e possível pouca eficiência na utilização de energia (Ansar *et al.*, 2022; Martins *et al.*, 2020).

O processo é dado pela entrada do ar na câmara de secagem por um filtro e aquecedor, esse ar flui em paralelo com as gotículas formadas pelo atomizador, as quais serão posteriormente secadas. À medida que essas gotículas atomizadas descem, a umidade é

gradualmente removida e a fonte de calor utilizada pode ser proveniente de condução, convecção ou radiação. As gotas maiores caem até o fundo da câmara, enquanto as gotículas menores são arrastadas até os ciclones separadores. Para a coleta do produto, é comum o uso de um ciclone coletor, podendo também ser utilizado um filtro de mangas (Patel e Bade., 2020).

Esse tipo de equipamento apresenta múltiplas possibilidades de aplicação dentro das indústrias alimentícia e farmacêutica, porém, pode mostrar pouca eficiência na utilização de energia, em decorrência de seu grande tamanho. A representação esquemática de um secador por pulverização se encontra na figura 7 (Martins *et al.*, 2020).

Figura 7: Esquema de um sistema de secagem por pulverização.



Fonte: Adaptado de Patel e Bade 2020.

#### 4.7.4 Secador de tambor rotativo

São equipamentos geralmente utilizados no manejo de grandes vazões de sólidos, principalmente minérios, minerais e produtos químicos, sua configuração se dá por uma grande casca cilíndrica ou tubos metálicos que giram sobre uma roda de apoio, a tração ocorre devido a uma grande coroa dentada. Os secadores possuem uma leve inclinação em relação ao piso para facilitar o deslocamento do material de entrada (úmido) pela extremidade superior, e o produto sai seco na parte inferior oposta devido a progressão ao longo do tubo pelo apoio da força de rotação (Macedo, 2016).

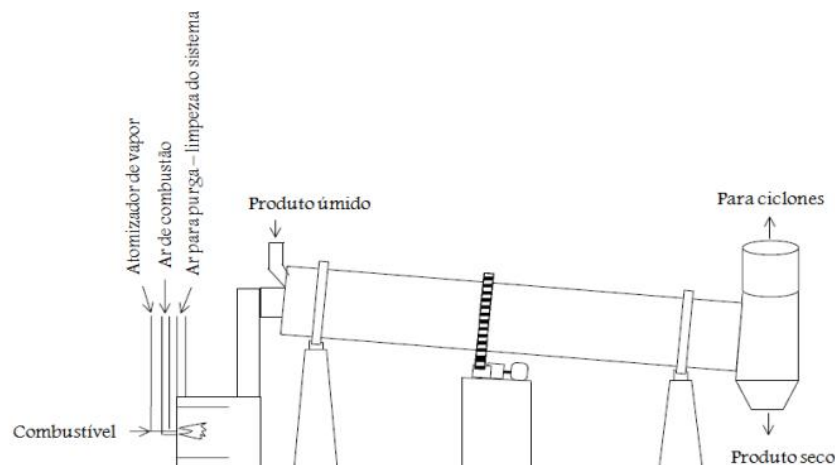


A secagem ocorre por meio de ar quente ou de gases de combustão que fluem na direção do sólido no comprimento do secador (Macedo, 2016). As vantagens do uso deste tipo de secador são devido a sua velocidade de secagem 3 vezes maior que outros métodos para produtos da mesma espessura, além de possibilitar o uso de temperaturas mais brandas o que é ajuda na preservação nutricional e sensorial, principalmente para alimentos sensíveis a altas temperaturas. Outra vantagem desse método é a eficiência de secagem, que é aumentada devido a uma área superficial de exposição mais ampla, o que aumenta a transferência de calor e massa.

As desvantagens deste método, são em decorrência do alto valor de investimento inicial, o que pode tornar o uso do equipamento inviável para alguns tipos de investimento (Menezes, 2022).

Os secadores a tambor podem dispor de distintas formas de alimentação, e podem contar com diferentes configurações, alguns dos modelos encontrados são: secador a tambor duplo, secador a tambor geminado, secador a tambor único com tabuleiro de alimentação e secador a tambor duplo à vácuo (Martins *et al.*, 2020). A figura 8 representa um secador a tambor simples.

Figura 8: Secador rotativo simples.



Fonte: Martins *et al.*, 2020.

#### 4.7.5 Liofilizador

A liofilização é um processo que consiste em três etapas, sendo a primeira o congelamento, a segunda a secagem primária e a terceira a secagem secundária, sendo

possível o controle de parâmetros como a temperatura de prateleira, pressão da câmara e duração da secagem (Najarian *et al.*, 2024).

A secagem através do método de liofilização é baseada no congelamento do material, que será posteriormente desidratado sob vácuo em um processo de sublimação para a fase gasosa. Esse método é popular nas indústrias alimentícias, pois preserva as características nutricionais dos alimentos. A figura 9 representa um liofilizador de bancada (Martins *et al.*, 2020).

Figura 9: Liofilizador



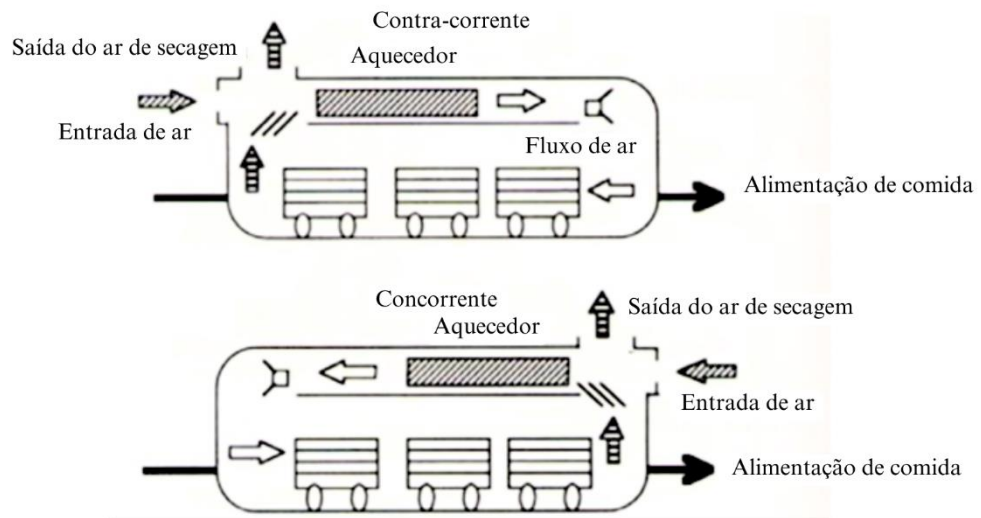
Fonte: Martins *et al.*, 2020.

O método de secagem por liofilização é um método comumente utilizado nas indústrias para a produção de produtos em pó, porém ele pode ser afetado por diversos parâmetros intrínsecos e extrínsecos como a resistência dos microrganismos ao frio, concentração de oxigênio, exposição a forças mecânicas e osmóticas e parâmetros de secagem apropriados (Almeida *et al.*, 2024).

#### 4.7.6 Secador de túnel

Este tipo de secadores se caracteriza por ter mais de 24 metros de largura e uma seção retangular de aproximadamente 4 m<sup>2</sup>, que consiste em uma cabine equipada com trilhos para mover uma caixa no comprimento da câmara de secagem. O aquecimento ocorre devido a um sistema de calefação que esquento o ar que circula nas caixas com os materiais dentro (Aime e Aurora, 2019) . Uma representação desse tipo de secador se encontra na figura 10.

Figura 10: Secador rotatório a vapor.



Fonte: Aime e Aurora, 2019.

#### 4.8 Aplicação de secagem na indústria de alimentos

A indústria de alimentos, como um segmento fundamental da economia capitalista, está intrinsecamente orientada para a maximização do lucro. Nesse contexto, a busca incessante pelo aumento da eficiência operacional e pela redução de custos é uma prioridade constante para as organizações do setor (Nunes, 2020; Romero, 2021).

A escolha dos equipamentos na indústria alimentícia é frequentemente orientada pela qualidade, busca dos melhores preços disponíveis no mercado, e devido ao fato de que a maioria das empresas do setor alimentício possui um portfólio diversificado de produtos que abrangem uma ampla gama de categorias e segmentos de mercado, os equipamentos utilizados no processo produtivo devem ser capazes de atender às demandas específicas de cada produto, garantindo a qualidade e a eficiência da produção em todas as linhas de produção. A seleção de equipamentos versáteis e adaptáveis é fundamental para a flexibilidade operacional e a maximização da produtividade (Benini, 2021).

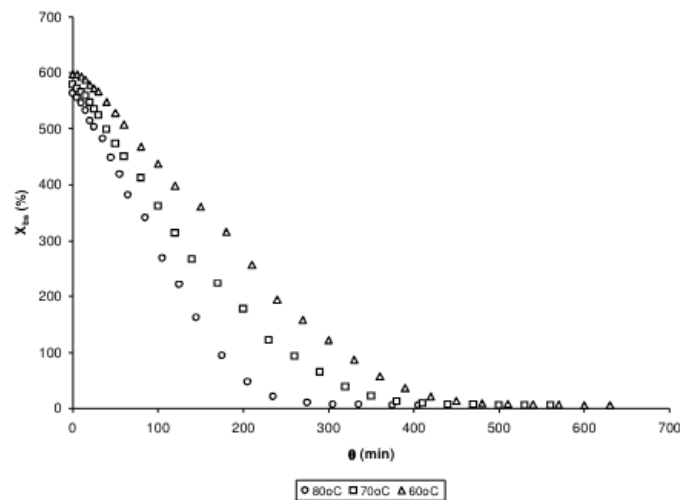
O conhecimento detalhado dos equipamentos é crucial para o sucesso das operações na indústria alimentícia. Isso inclui não apenas uma compreensão das características técnicas dos equipamentos, mas também uma análise aprofundada de sua durabilidade, confiabilidade e eficiência energética. A capacidade de identificar e resolver problemas operacionais, realizar manutenção preventiva e implementar melhorias no processo produtivo depende, em grande parte, do domínio dos detalhes específicos dos equipamentos utilizados (Benini, 2021).

Nesse contexto, a seleção criteriosa de equipamentos torna-se fundamental, considerando a diversidade do portfólio de produtos e a necessidade de conhecimento detalhado para sua operação eficaz.

#### 4.8.1 Produção de farinha de maracujá por secagem em estufa de bandeja com recirculação de ar (Estudo 1)

Ferreira e Pena (2010), estudou a secagem da casca do maracujá amarelo que foi realizada em um modelo de secagem convectiva, em estufa de bandeja, modelo descrito no tópico 4.7.1, com recirculação de ar nas temperaturas de 60, 70 e 80°C. O trabalho visou o reaproveitamento da casca do maracujá, assim como, a caracterização do produto e a avaliação do seu comportamento higroscópico, para que as condições de secagem e armazenamento possam ser estabelecidas para ele. A curva de secagem obtida do estudo se encontra na Figura 11.

Figura 11: Curvas de secagem da casca do maracujá amarelo, nas diferentes condições de processo, medindo quantidade de umidade pelo tempo



Fonte: Ferreira e Pena, 2010.

Ajustando-se os modelos aos dados de secagem, foram obtidos os coeficientes presentes na Tabela 5 para realizar a modelagem matemática.

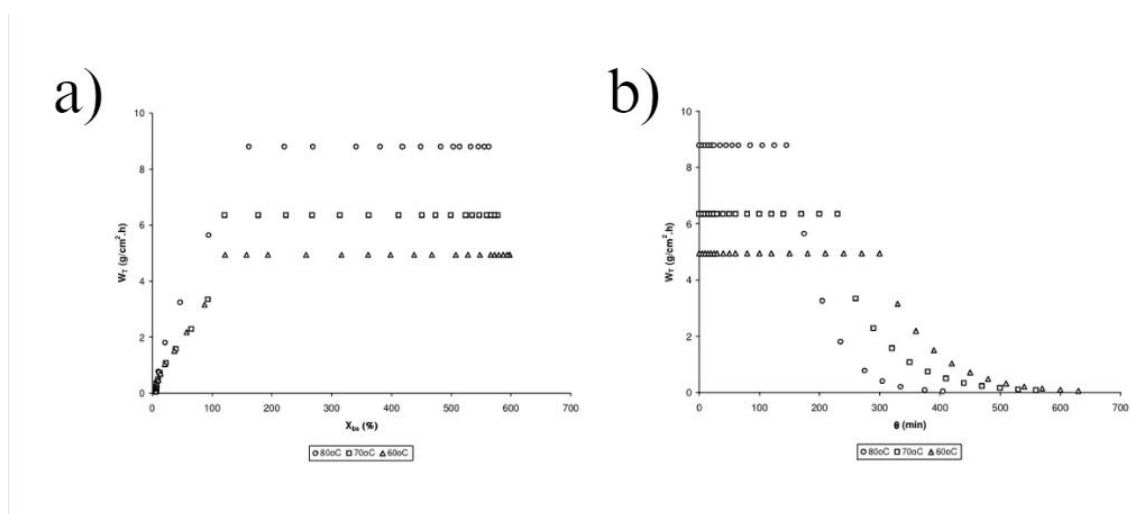
Tabela 5: Parâmetros dos ajustes matemáticos aplicados aos dados de secagem, onde: k: constante de secagem; n: coeficientes de secagem; a, b, c, g e h: constantes empíricas; Xbs: Teor de umidade adimensional.

Modelo	Temperatura	Parâmetros do ajuste					
		a	b	c	k	n	r <sup>2</sup>
$X_{bs} = a + b.\theta$	60 °C	608,54	-1,67	-	-	-	0,9980
	70 °C	581,30	-2,08	-	-	-	0,9952
	80 °C	572,43	-2,82	-	-	-	0,9982
$X_{bs} = c.e^{-k\theta^n}$	60 °C	-	-	2994,80	0,0041	1,17	0,9927
	70 °C	-	-	2104,20	0,0103	1,03	0,9872
	80 °C	-	-	1172,81	0,0024	1,35	0,9945

Fonte: Ferreira e Pena, 2010.

Através dos dados experimentais, foram obtidas as seguintes curvas, ao comparar a taxa de secagem ( $W_i$ ) em relação a umidade na Figura 11 (a) e a relação da taxa de secagem com o tempo na Figura 11(b), isso tudo para cada temperatura estipulada para o experimento.

Figura 11: Taxas de secagem em função da umidade (a) e do tempo (b) para diferentes temperaturas.



Fonte: Adaptado de Ferreira e Pena, 2010.

Através dos dados obtidos pela taxa de secagem, foi possível determinar que mais de 70% da umidade presente no resíduo era na forma livre e foi eliminada em taxa constante de e 4,9, 6,3 e 8,8 g/cm<sup>2</sup>.h, a 60, 70 e 80 °C respectivamente, além disso o tempo de secagem respectivo de cada um foi 300, 230 e 145 minutos. O comportamento da taxa de secagem foi semelhante para todas as temperaturas analisadas e apresentou comportamento característico

de produtos que não possuem prioritariamente componentes com alta afinidade com as moléculas de água (Ferreira e Pena, 2010).

A Tabela 6 compara as características físico-químicas da farinha seca em diferentes temperaturas com as características do resíduo *in natura*. Para a determinação dessa composição, foi utilizada a média de duas determinações com erro relativo menor que 10%.

Tabela 6: Características físico-químicas da casca do maracujá e da farinha da casca do maracujá.

Determinações	g/100g do resíduo			
	Resíduo <i>in natura</i>	Farinha 60 °C	Farinha 70 °C	Farinha 80 °C
Umidade	85,3	5,9	6,0	5,9
Proteína	0,9	6,0	6,0	6,0
Resíduo	0,5	2,9	2,9	2,9
Mineral Fixo (RMF)				
Gordura	0,3	2,1	2,1	2,1
Fibra	9,7	62,0	61,9	62,0
Alimentar Total				
Carboidratos	3,3	21,1	21,1	21,1

Fonte: Ferreira e Pena, 2010.

O que foi possível observar com a secagem foi a concentração dos componentes livres de água (secos), além de ser possível observar que não houve variação nas quantidades dos componentes para as condições diferentes de secagem, e esse se mostra um produto rico em fibras alimentares. Em relação as análises microbiológicas, esse se mostrou um produto apto para consumo (Ferreira e Pena, 2010).

Em suma, o produto obtido pela secagem em estufa com circulação de ar, se mostrou apto para sua utilização como uma farinha rica em fibras alimentares, e o processo de 60°C foi o que proporcionou o produto de melhor qualidade organoléptica, sendo a condição mais indicada para este tipo de secagem (Ferreira e Pena).

#### 4.8.2 Produção de farinha de maracujá por secagem por liofilização (Estudo 2)

Arias (2020), produziu farinha da casca de maracujá através da secagem pelo método de liofilização, que ocorreu em uma câmara de vácuo estabilizada a uma pressão mínima de 0,75 Torr, temperatura de congelamento de -22 °C e temperatura máxima de descongelamento de 40 °C, o que levou um total de 26 horas. A composição centesimal da farinha obtida através deste experimento se encontra na Tabela 7, juntamente a comparação com o resíduo *in natura* e uma farinha comercial.

Tabela 7: Composição centesimal da farinha de Maracujá obtida pela secagem por liofilização.

Determinações	g/100g da farinha		
	Resíduo <i>in natura</i>	Farinha	Farinha Comercial
Umidade	85,3	2,76 ± 0,04	Não informado
Proteína	0,9	5,44	12,52
RMF	0,5	6,00 ± 0,52	8,66
Gordura	0,3	0,48 ± 0,12	1,75
Fibra			
Alimentar	9,7	39,10 ± 3,40	41,67
Total			
Carboidratos	3,3	49,98	77,38

Fonte: Adaptado de Arias, 2020; Ferreira e Pena, 2010.

O conteúdo de fibras encontrado nessa farinha é bem similar ao encontrado na farinha comercial de comparação. A quantidade de cinzas encontrada na farinha foi um pouco inferior que a encontrada na farinha comercial de comparação, o que indica baixo nível de impurezas, pois as cinzas obtidas não são essencialmente da mesma composição que o conteúdo de mineral original, isso porque pode ter ocorrido perdas por volatilização e/ou possivelmente alguma interação entre os componentes da amostra. Outro fator notável do produto, é o baixo nível de lipídios apresentado, o que é algo desejável para dietas com restrições calóricas (Arias, 2020).

A quantidade de proteína presente na farinha obtida, se mostra próxima a encontrada na farinha comercial, sendo bem acima do encontrado no produto *in natura*, o que pode contribuir com a ingestão total recomendada como um todo.

O consumo recomendado de fibra alimentar por dia é de 25 gramas, 100 gramas da farinha obtida apresentam 50% a mais do que essa quantidade, mostrando ser um produto

riquíssimo em fibra e que pode ser usado no desenvolvimento de alimentos funcionais (Arias, 2020; Malanchen *et al.*, 2019).

Sendo assim, esse processo apresenta resultados favoráveis para a produção de farinha de casca de maracujá, porém houveram resultados de preservação de nutrientes menos eficientes quando comparados aos da farinha comercial houveram algumas vantagens apontadas, como o baixo teor de gordura e a eficiência da evaporação da água, dessa forma, para que esse método seja selecionado, deve ser observado se ele cabe dentro do orçamento da empresa, pois esse equipamento pode ser utilizado para diferentes funções dentro da indústria alimentícia.

#### 4.8.3 Produção de farinha de maracujá por secagem assistida por ultrassom (Estudo 3)

Nascimento *et al.* (2016), avaliaram os efeitos da secagem da casca de maracujá assistida e não assistida por ultrassom em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) na velocidade do ar de 1 m/s, eles mencionam que as ondas ultrassônicas de alta frequência causa um estresse mecânico dentro do produto sólido e produz uma micro agitação na interface sólido-gás que pode afetar o transporte interno e externo de umidade, sendo estruturas porosas, como a casca do maracujá, mais apropriadas para este tipo de processo.

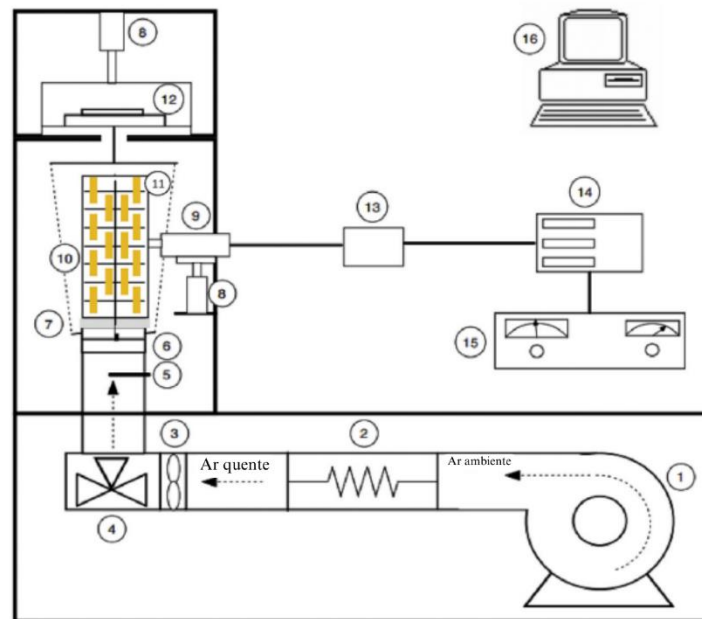
A modelagem matemática utilizada para descrever a cinética de secagem desse processo foi baseada na segunda lei de Fick e foram utilizados alguns métodos para analisar a degradação dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante após a secagem do material.

O secador ultrassônico utilizado (Figura 12), tem um sistema provido com uma câmara cilíndrica vibratória de secagem acionado por um transdutor piezoelétrico de 21,8 kHz e unidades de impedância que permitem um melhor rendimento elétrico. O processo ocorre quando um campo ultrassônico de alta intensidade é formado dentro da câmara de secagem enquanto o ar de secagem passa pelo material, que é disposto em compartimentos customizados para armazenar as amostras, permitindo a passagem homogênea do ar e das ondas (Nascimento *et al.*, 2016).

Figura 12: Secador assistido por ultrassom: 1 – Ventoinha; 2 – Aquecedor; 3 – Anemômetro; 4 – Válvula de três vias; 5 – Termopar; 6 – Câmara de Carregamento de Amostras; 7 – Acoplamento de material; 8 – Braços pneumáticos Móveis; 9 – transdutor ultrassônico; 10 – Cilindro vibratório; 11 – Porta amostras; 12 – Balança; 13



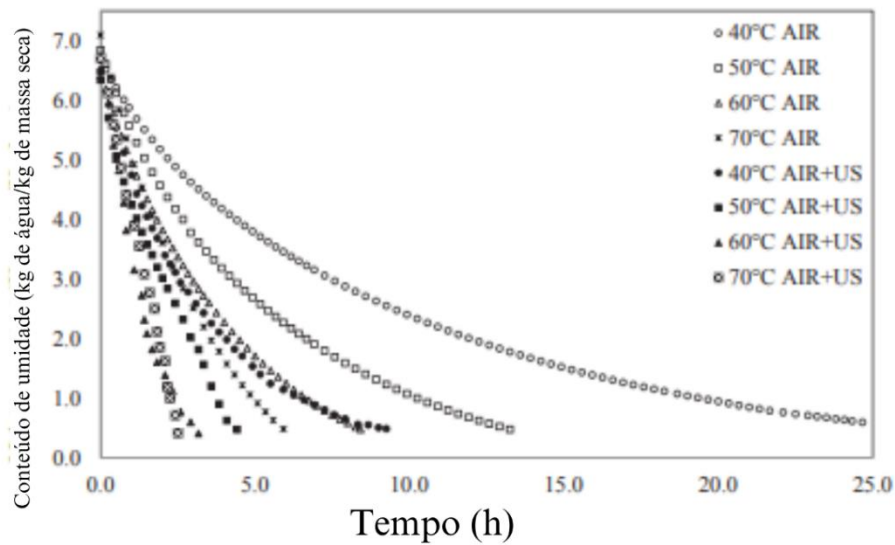
- Unidade de correspondência de impedância; 14 – Wattímetro; 15 – Gerador Ultrassônico de alta intensidade;
- 16 – Computador.



Fonte: Adaptado de Nascimento *et al.*, 2016.

Foi determinado pelo experimento que a média de umidade inicial contida nas amostras inicialmente foi de  $7,0 \pm 1,9$  kg de água/kg de massa seca, e após uma perda de 80% do peso inicial, a média do conteúdo final de umidade foi de  $0,47 \pm 0,07$  kg de água/ kg de massa seca. A Figura 13, apresenta as curvas de conteúdo de umidade em kg de água/ kg de massa, em relação ao tempo e em todas as temperaturas e condições empregadas no experimento.

Figura 13: Cinética de Secagem Experimental da casca do maracujá usando ultrassom e ar (Air + US) e apenas ar (AIR).



Fonte: Adaptado de Nascimento *et al.*, 2016.

A Tabela 8 apresenta os tempos de secagem para as diferentes temperaturas nos dois métodos de secagem analisados.

Tabela 8: Tempo de secagem necessário para atingir perda de 80% do peso inicial da casca do maracujá no método AIR (Apenas convectivo) e AIR + US (Convectivo assistido de ultrassom).

Temperatura (°C)	Tempo de Secagem (h)	
	AIR	AIR + US
40	21,8 ± 2,9	8,8 ± 1,5
50	12,0 ± 3,1	6,2 ± 1,1
60	7,90 ± 0,9	4,9 ± 0,4
70	5,40 ± 0,3	3,9 ± 0,7

Fonte: Adaptado de Nascimento *et al.*, 2016.

Incontestavelmente, para a secagem sem assistência de ondas de ultrassom (AIR), foi possível observar que a utilização de maiores temperaturas apresentou uma velocidade de secagem maior que as temperaturas menores, sendo que o tempo do processo de secagem em 70 °C foi 75% menor que em 40 °C. Porém, conforme mencionado em tópicos anteriores (4.5.1 e 4.7.1), temperaturas maiores podem causar danos indesejáveis ao produto final.

Já as curvas de secagem assistidas por ondas ultrassônicas (AIR + US) foram significativamente afetadas por essa assistência e dependeu da temperatura utilizada, foi possível observar que o tempo de secagem para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C foram

reduzidas respectivamente em 60%, 49%, 38% e 28%. Isso mostrou que a utilização da secagem assistida por ultrassom a 40 °C teve uma curva com um comportamento bem similar ao da secagem a 70 °C que não utilizou o ultrassom, e a influência desse método na redução do tempo de secagem foi inversamente proporcional a temperatura utilizada.

A capacidade antioxidante e a quantidade total de compostos fenólicos presentes em cada variável desse experimento estão expostas na Tabela 9.

Tabela 9: Capacidade Antioxidante (CA) e Compostos Fenólicos Totais (CFT) presentes na casca do maracujá na forma fresca ou seca em diferentes condições de operação (temperatura e aplicação de ultrassom).

<b>Amostra</b>	<b>Aplicação de Ultrassom</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>CA (µmol Trolox/g massa seca)</b>	<b>CFT (mg ácido gálico/100g)</b>
<b>Seca</b>	Não	40	9,7 ± 1,0	154,9 ± 43,6
<b>Seca</b>	Não	50	9,3 ± 2,0	144,7 ± 39,7
<b>Seca</b>	Não	60	14,5 ± 4,7	219,4 ± 51,0
<b>Seca</b>	Não	70	15,4 ± 5,4	208,3 ± 94,8
<b>Seca</b>	Sim	40	16,4 ± 7,4	239,5 ± 96,9
<b>Seca</b>	Sim	50	17,5 ± 6,7	216,3 ± 59,5
<b>Seca</b>	Sim	60	9,3 ± 4,2	143,8 ± 62,9
<b>Seca</b>	Sim	70	10,5 ± 4,3	155,0 ± 69,7
<b>Fresca</b>	-	-	15,2 ± 2,3	381,3 ± 13,0

Fonte: Nascimento *et al.*, 2016.

Através destes dados, nota-se que para a secagem sem a aplicação de ultrassom, a capacidade antioxidante das cascas de maracujá aumentou de acordo com a temperatura, bem como a quantidade de compostos fenólicos totais, sendo mais próximos as quantidades encontradas nos produtos frescos.

Ao adicionar o ultrassom na secagem, as temperaturas menores, de 40 e 50 °C apresentam capacidade antioxidante maiores que as encontradas na amostra fresca e maiores que qualquer valor encontrado na secagem sem o ultrassom. A quantidade de compostos fenólicos totais também foi maior na menor temperatura que todos os valores encontrados no outro método de secagem, o que mostra que foi mais eficiente em manter as qualidades nutricionais do material. Além dessas análises, também foram comparadas as formas estruturais da casca frescas e nos dois métodos de secagem, os autores observaram que a

secagem por ultrassom preserva melhor a microestrutura original da casca, principalmente em temperaturas menores.

Verruck e Prudencio (2018) afirmam que as vantagens da utilização do ultrassom na secagem são: “transferência de energia e massa mais rápida, gradientes térmicos e de concentração reduzidos, temperatura reduzida, extração seletiva, tamanho reduzido do equipamento, resposta mais rápida ao controle de extração do processo, aumento da produção e eliminação de etapas do processo”, porém é um processo considerado mais custoso (Oliveira, 2017).

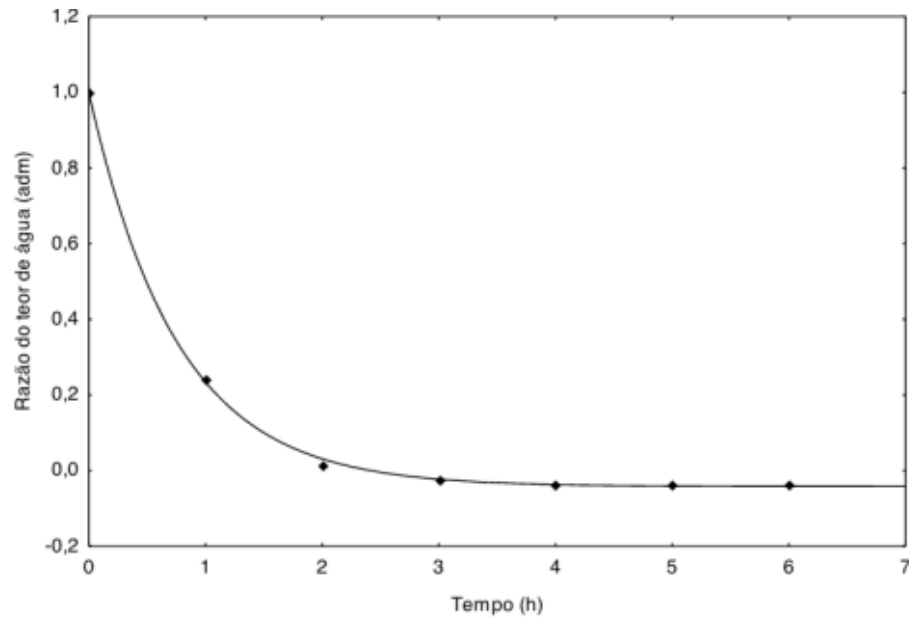
Podendo definir que nesse caso, a secagem em temperaturas mais baixas assistida por ultrassom, como uma boa opção de método de secagem, pois é um processo mais acelerado quando comparado ao método convencional, preserva em melhor quantidade a capacidade antioxidante do produto, a quantidade total de fenólicos ali presente assim como o potencial de preservação da estrutura original do material.

#### 4.8.4 Produção de farinha de maracujá por secagem em secador solar (Estudo 4)

Morais *et al.* (2019), visando um processo mais sustentável, realizou a secagem da casca de maracujá em um secador solar de exposição direta. Para a análises as amostras foram pesadas e em seguidas colocadas no secador solar que media a temperatura em um termômetro digital, sendo que a cada hora do processo a temperatura e o peso das amostras eram averiguados, ao final do processo, as cascas secas permaneceram em estufa a 105 °C por 24 horas.

Os resultados mostraram que a temperatura de secagem variou entre 65 e 34 °C com o tempo, e em relação ao teor de umidade com o tempo, ela seguiu o gráfico presente na Figura 13, que se adaptou melhor a modelagem matemática exponencial.

Figura 13: Teor de umidade da casca de maracujá em função do tempo.



Fonte: Morais *et al.*, 2019.

É possível observar que a taxa de secagem foi maior no início do processo. Morais *et al.* (2019) atribuem o fato a uma maior absorção de radiação em decorrência da maior quantidade de água disponível. Além disso, o autor também conecta o branqueamento e o baixo teor de água da casca de maracujá ao fato de que o tempo de o processo ter sido relativamente curto, mostrando dessa forma a necessidade de seguir .

Dessa forma, pode-se considerar a secagem da casca do maracujá em secadores solares como uma opção de processo, principalmente se o processo tiver viés sustentável e econômico (Morais *et al.*, 2019).

#### 4.9 Comparação Entre os Métodos

A escolha do melhor processo de secagem para a produção de farinha de maracujá depende de muitos fatores e variáveis que devem estar alinhados com a realidade de cada processo, sendo assim, após a exposição desses métodos distintos os resultados obtidos por cada autor devem ser comparados e discutidos para que a seleção ocorra da melhor maneira possível.

Os resultados e discussões apresentados em cada um dos métodos foram bem distintos em si, porém a comparação ainda pode ser feita, principalmente comparando os resultados com as vantagens de cada processo.

Sendo a perda de água o principal objetivo da etapa de secagem, a perda de umidade obtida em cada método, sendo também comparado a uma farinha comercial, está expressa na Tabela 10, juntamente ao tempo necessário do processo e as quantidades iniciais e finais.

Tabela 10: Perda de água em cada processo.

<b>Métodos</b>	<b>Água Inicial</b>	<b>Água Final (g/100g)</b>	<b>Perda de Água</b>	<b>Tempo do processo</b>
Secador de Bandeja 60 °C	85,3 g/100 gramas (Base Úmida)	5,9	93%	10 horas e 40 minutos
Secador de Bandeja 70 °C	85,3 g/100 gramas (Base Úmida)	6,0	92,9%	9 horas e 20 minutos
Secador de Bandeja 80 °C	85,3 g/100 gramas (Base Úmida)	5,9	93%	6 horas e 40 minutos
Liofilizador	85,3 g/100 gramas (Base Úmida)	2,76	96,7%	26 Horas
Secador Convectivo (AIR) 40 °C	7 g/100 gramas (Base seca)	0,47	80%	21,8 Horas
Secador Convectivo (AIR) 50 °C	7 g/100 gramas (Base seca)	0,47	80%	12 Horas
Secador Convectivo (AIR) 60 °C	7 g/100 gramas (Base seca)	0,47	80%	7,9 Horas
Secador Convectivo	7 g/100 gramas	0,47	80%	5,4 Horas

(AIR) 70 °C	(Base seca)			
Secador				
Convectivo com Ultrassom (AIR + US) 40 °C	7 g/100 gramas (Base seca)	0,47	80%	8,8 Horas
Secador				
Convectivo com Ultrassom (AIR + US) 50 °C	7 g/100 gramas (Base seca)	0,47	80%	6,2 Horas
Secador				
Convectivo com Ultrassom (AIR + US) 60 °C	7 g/100 gramas (Base seca)	0,47	80%	4,9 Horas
Secador				
Convectivo com Ultrassom (AIR + US) 70 °C	7 g/100 gramas (Base seca)	0,47	80%	3,9 Horas
Secador Solar	Não Informado	Não Informado	91%	6 Horas

Fonte: Arias, 2020; Morais *et al.*, 2019; Nascimento *et al.*, 2016; Ferreira e Pena, 2010.

A comparação entre os tempos de processo indica que o processo mais ágil foi o que utilizou o secador convectivo assistido de ultrassom a 70 °C, que levou 3,9 horas apenas para atingir a perda de 80% da umidade. Já a comparação entre a quantidade de água perdida, tem como mais eficiente o processo de liofilização, que reduziu 96,7% da água do produto, porém foi o processo mais demorado e tem alto valor agregado.

Quanto aos valores nutricionais, sabe-se a composição centesimal inicial e final dos métodos utilizados nos estudos 1 e 2 que se encontram na Tabela 11. Além disso, se conhece a capacidade antioxidante e a quantidade de Compostos Fenólicos Totais nos processos do estudo 3 (Tabela 9).

Tabela 11: Comparação dos Valores Nutricionais dos estudos 1 e 2.

Determinações	Resíduo <i>in natura</i>	g/100g do resíduo				
		Farinha 60 °C (Estudo 1)	Farinha 70 °C (Estudo 1)	Farinha 80 °C (Estudo 1)	Farinha Estudo 2	Farinha Comercial
Umidade	85,3	5,9	6,0	5,9	2,76 ± 0,04	Não informado
Proteína	0,9	6,0	6,0	6,0	5,44	12,52
Resíduo Mineral Fixo (RMF)	0,5	2,9	2,9	2,9	6,00 ± 0,52	8,66
Gordura	0,3	2,1	2,1	2,1	0,48 ± 0,12	1,75
Fibra Alimentar Total	9,7	62,0	61,9	62,0	39,10 ± 3,40	41,67
Carboidratos	3,3	21,1	21,1	21,1	49,98	77,38

Fonte: Arias, 2020; Ferreira e Pena, 2010.

O que foi possível observar em relação a quantidades de proteínas é que todos os processos do estudo 1 mantiveram resultados equivalentes ao obtido pela farinha do estudo 2, que foi levemente inferior, sendo ambos inferior aos resultados da farinha comercial.

Os Resíduos Minerais Fixos, ou cinzas, apresentaram valores menores que os encontrados na farinha comercial em ambos os estudos, porém a farinha obtida no experimento 2 apresentou quantidades muito superiores em relação ao estudo 1. Outro fator de comparação é a gordura, que no estudo 2 foi bem inferior que o teor encontrado na farinha comercial e no estudo 1, sendo quase comparado ao conteúdo do resíduo *in natura*, o que pode ser positivo caso o consumidor esteja em dieta com consumo restrito de gordura.



A fibra alimentar se manteve mais preservada no estudo 1, sendo a do estudo 2 mais próxima ao encontrado na farinha comercial, porém, para este caso o teor mais elevado de fibras é desejado devido a seus benefícios para a saúde conforme descrito no tópico 4.3.

Cada experimento comparou diversos métodos, como resultado de cada experimento tem-se que para o estudo 1, definiu que o processo de 60 °C foi o que proporcionou o produto de melhor qualidade organoléptica, sendo a condição mais indicada para este tipo de secagem. O estudo 2 apresentou bons resultados na produção da farinha, principalmente no baixo teor de gordura, porém é um método mais custoso, então a utilidade do equipamento, que pode exercer mais de uma função na indústria de alimentos, deve ser comparada com seu custo para saber se o investimento valerá a pena.

O estudo 3 mostrou que a secagem na temperatura mais baixa (40 °C) assistida por ultrassom, como uma boa opção de método de secagem, que justifica o valor agregado da utilização do ultrassom, pois é um processo mais acelerado quando comparado ao método convencional, preserva em melhor quantidade a capacidade antioxidante do produto, a quantidade total de fenólicos ali presente assim como o potencial de preservação da estrutura original do material.

A secagem em secadores solar, não apresentou muitos dados de preservação dos componentes nutricionais, porém permanece como alternativa devido a seu baixo custo e sistema mais simplificado, o que amplia o leque para investimentos menores, além de apresentar um tempo de processo aproximado aos outros processos.

Após esses levantamentos, o principal entendimento sobre os métodos de secagem apresentados, é que todos podem ser usados, sendo que cada um contribuiu de maneira mais eficaz para partes distintas no resultado final. O estudo 1, que estudou a secagem convectiva em secadores de bandeja se sobressaiu na quantidade de fibras presente na farinha e é considerado um processo mais convencional e com custos mais baixos. O estudo 2, que avaliou a secagem em Liofilizador apresentou uma maior eficiência na redução de quantidade de água e na quantidade baixa de gordura apresentada, porém é um processo mais complicado e de custo mais elevado que deve considerar outros fatores na hora da escolha desse equipamento.

O estudo 3, que comparou a secagem convectiva tradicional com a secagem convectiva assistida por ultrassom, mostrou resultados satisfatórios em seu processo de secagem, apresentando o menor tempo de processo entre todos os analisados, porém ao avaliar a melhor conservação de capacidade antioxidante do produto, na quantidade total de fenólicos e na preservação da estrutura original, o processo mais rápido apresentou um

resultado menos vantajoso que a secagem na temperatura mais baixa (40 °C) assistida por ultrassom, que se mostra uma boa seleção para esse processamento, pois justifica o maior custo da utilização do ultrassom.

O estudo 4, apesar de não ter mencionado muitos dados de eficiência, ainda apresentou um modelo de secador provável, pois é o que possui custos mínimos e um processo facilitado, que produziu eficácia na perda de água e tempo de processo similar aos outros métodos.

Sendo assim, a seleção do método e equipamento usado para a secagem da casca do maracujá, deve depender do tipo da qualidade do produto final que se deseja, bem como o caixa que pode ser investido no processo e os possíveis uso do equipamento dentro da indústria, sendo necessário um estudo global de todos os equipamentos.

Comparando todos os resultados e vantagens e desvantagens conhecidos do processo, o método que mais se destacou para a produção da farinha da casca de maracujá foi o de secagem em bandejas com recirculação de ar, pois apresenta baixo custo e bons resultados para a produção da farinha, podendo ser comparado a métodos mais caros, sendo o mais indicado para um portfólio maior de projetos.

## **5. Conclusão**

Em suma, o aproveitamento de resíduos orgânicos, como as cascas de maracujá, tem se revelado uma estratégia promissora para a sustentabilidade nas indústrias alimentícias. A presente revisão bibliográfica demonstrou que a produção de farinha a partir das cascas de maracujá é uma solução eficaz para valorizar um resíduo frequentemente descartado. Alguns métodos e equipamentos de secagem foram analisados, incluindo estufa de bandeja com recirculação de ar, liofilizador, secador convectivo assistido de ultrassom e secadores solares. Cada um desses métodos apresenta vantagens e desvantagens distintas, que devem ser ponderadas de acordo com o contexto específico de aplicação.

A análise dos dados e a comparação dos resultados evidenciam que a secagem em estufas de bandeja com recirculação de ar é a mais recomendada, pois oferece um equilíbrio eficaz entre qualidade do produto final, custo e tempo de processamento. Essa abordagem não só preserva os nutrientes da casca de maracujá, como também se ajusta bem a diferentes orçamentos, tornando-se uma alternativa viável e sustentável para a produção de farinha.

Portanto, a implementação de processos eficientes de secagem e o reaproveitamento dos resíduos de maracujá não apenas contribuem para a redução do desperdício, mas também

potencializam a utilização de recursos naturais de forma mais responsável e econômica. Recomenda-se, portanto, a adoção de métodos de secagem que otimizem a qualidade do produto e atendam às necessidades específicas de cada contexto industrial. A continuidade das pesquisas e o aprimoramento das técnicas de secagem poderão contribuir ainda mais para o desenvolvimento sustentável e inovador no setor alimentício.

## REFERÊNCIAS

AHMED, Shafaet *et al.* Integrated drying model of lychee as a function of temperature and relative humidity. *Heliyon*, v. 10, n. 7, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28590>. Acesso em: 27 jun. 2024.

AIME, Cerrón Inga Sheyla; AURORA, Junchaya Verastegui Jhoana. **Influencia de la temperatura del aire en la velocidad de secado de quinua germinada en un secador de bandejas**. 2019. Tese (Doutorado) – Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5682>. Acesso em: 02 jul. 2024.

ALMEIDA, Klinger Vinícius de *et al.* Powdered water kefir: Effect of spray drying and lyophilization on physical, physicochemical, and microbiological Properties. *Food Chemistry Advances*, v. 5, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100759>. Acesso em: 03 jul. 2024.

ALMEIDA, R. F.; MACHADO, A. P. O. Secagem de alimentos e seu impacto na pós-colheita. Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 2, 2021. DOI: 10.5281/zenodo.5764189.

ANSAR, Ansar *et al.* A new innovative breakthrough in the production of salt from bittern using a spray dryer. *Heliyon*, v. 8, n. 10, Mataram, 2022. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11060>. Acesso em: 21 jun 2024.

ARAÚJO, A. J. B. *et al.* CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PERFIL LIPÍDICO DA SEMENTE DE MARACUJÁ DO MATO (*Passiflora cincinnata Mast.*). Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação, v. 2, n. 3, 2019. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1110715/1/Pinheiro2019.pdf>.

Acesso em: 22 maio. 2024.

ARIAS, Luna Valentina Angulo. **Development of energetic functional food product from agro-industrial by products**: Desenvolvimento de um produto alimentício energético funcional a partir de subprodutos agroindustriais. 2020. 1 recurso online ( 128 p.) Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola,

Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1639110>. Acesso em: 10 jul. 2024.

ASSIS, C. S. de; SILVA, M. R.; SILVA, N. V.; GONÇALVES, M. Ássima B.; SILVEIRA, M. F. A.; SOUZA, A. R. M. de. Desenvolvimento, caracterização e vida de prateleira de mistura para omelete em pó enriquecida com farinha da casca de maracujá / *Development, characterization and shelf life of powdered omelette enriched with passion fruit peel flour*. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 2140–2151, 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n3-125. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/15393>. Acesso em: 20 jun. 2024.

BAIDHE, Emmanuel; CLEMENTSON, Clairmont L. A review of the application of modeling and simulation to drying systems for improved grain and seed quality. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 222, Fargo, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109094>. Acesso em: 27 jun. 2024.

BALTHAR, Raíssa de Oliveira; MACIEL, Anna Paula Oliveira Alvarez; FERREIRA, Célia Cristina Diogo. Benefícios da farinha do maracujá amarelo (*Passiflora Edulis F. Flavicarpa Deg.*) no tratamento do Diabetes mellitus tipo 2: Uma revisão narrativa. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 9, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18404>. Acesso em: 20 mar 2024.

BARBOSA, J. B. *et al.* Sorvete sabor mangaba (*Hancornia Speciosa Gomes*) adicionado de farinha da casca do maracujá (*Passiflora Edulis*). *Interfaces Científicas - Saúde E Ambiente*, v. 9, n. 2, p. 424–436, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.17564/2316-3798.2023v9n2p424-436>. Acesso em: 18 jun 2024.

BENINI, L.; SANTOS, A. Utilização da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em embaladora à vácuo de alimentos. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 7, n. 2, 6 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl7iss2pp12021-01-14e>.

BOTELHO, Fernando Mendes *et al.* Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo de grãos de sorgo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.14, n.2, p. 260-272,

2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p260-272>. Acesso em: 24 jun 2024.

CASTIGLIONI, G. L.; Silva, F. A.; Caliari, M.; Soares Júnior, M. S. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, 17:9, 987-994. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000900012>.

CAZARIN, C. B. B. *Avaliação do consumo da casca de Passiflora Edulis na prevenção e tratamento da colite Ulcerativa induzida por TNBS*. 2014. 157 f. Tese (Doutorado em engenharia de alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2014.921850>. Acesso em: 10 jan. 2024.

CAZARIN, C. B. B. et al. Capacidade antioxidante e composição química da casca de maracujá (*Passiflora edulis*). *Ciência Rural*, v. 44, n. 9, p. 1699–1704, set. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131437>. Acesso em: 20 mar. 2024.

CHAGAS, Mariane Barreto das. Reações biomiméticas com metaloporfirinas de metabólitos secundários das folhas de *Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener. 2018. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/27432>. Acesso em 22 maio 2024.

CHUWATTANAKUL, V. *et al.* Effect of conical air distributors on drying of peppercorns in a fluidized bed dryer: Prediction using an artificial neural network. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 36, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102188>. Acesso em: 02 jul. 2024.

CREMASCO, Marco Aurélio. Difusão Mássica. 284 p. 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=AjugDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=difus%C3%A3o+o+que+%C3%A9+fick&ots=VZxVBGcWWI&sig=JKi8lreGRDlIMHwQG9SLi0E9n6U#v=onepage&q=difus%C3%A3o%20o%20que%20%C3%A9%20fick&f=false>. Acesso em: 24 jun 2024.

CORZO, Otoniel; BRACHO, Nelson. Determination of water effective diffusion coefficient of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. *LWT - Food Science and Technology*, v. 40, n. 8, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.04.008>. Acesso em: 24 jun 2024.

COSMO, Bruno Marcos Nunes *et al.* Produção de frutas desidratadas: Estado atual, procedimentos e perspectivas futuras. *Revista Científica Semana Acadêmica*, Fortaleza, p. 1-26, 2017. Disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/producao\\_de\\_frutas\\_desidratadas\\_-\\_estado\\_atual\\_procedimento\\_e\\_perspectivas\\_futuras\\_0.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/producao_de_frutas_desidratadas_-_estado_atual_procedimento_e_perspectivas_futuras_0.pdf). Acesso em: 01 jul. 2024.

COUTO, M. L. B. G. Estudo do Processo de secagem de frutos do cerrado em secador de bandejas com circulação forçada de ar. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Tecnológica). Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2015. 53p.

DE SOUZA, J. S.; DE OLIVEIRA, C. R.; MELILLO, R. C. S. Consumo e marketing verde: a influência da sustentabilidade no comportamento do consumidor brasileiro. *South American Sciences* ISSN 2675-7222, v. 2, n. 1, p. 1–25, 13 ago. 2021. Disponível em: <https://www.southamericansciences.com.br/index.php/sas/article/view/108/116>. Acesso em: 22 maio 2024.

ESPARZA, Karina; ONYUKSEL, Hayat. Development of co-solvent freeze-drying method for the encapsulation of water-insoluble thioestrepton in sterically stabilized micelles. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 20, n. 3, p. 21-29, Chicago, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.12.001>. Acesso em: 21 jun 2024.

FAIK, Md. Azmain Al *et al.* Comprehensive study on potato drying in convective air dryer: experimental observations, mathematical modeling, and model validation. *Measurement: Food*, v. 14, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meafao.2024.100170>. Acesso em: 27 jun. 2024.

FARIAS, Gabrielly. ABORDAGEM BIBLIOGRÁFICA SOBRE O SUCO DE ABACAXI (*Ananas comosus* L.) E RESÍDUOS DO SEU PROCESSAMENTO: COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS. Trabalho de

Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/222689>. Acesso em: 15 set 2024.

FAVRO, J.; ALVES, A. F. Agroindústria: delimitação conceitual para a economia brasileira. *Revista de Política Agrícola*, v. 29, n. 3, p. 19, 21 out. 2020. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1534>. Acesso em: 05 maio 2024.

FERREIRA, Marcia; PENA, Rosinelson. Estudo da secagem da casca do Maracujá amarelo. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 2010. 12. 15-28. 10.15871/1517-8595/rbpa.v12n1p15-28.

FIDÉLIS, J. M. A. DA S. Processamento de frutas para produção de polpa congelada. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia agrícola e ambiental) – UFRPE, Recife, 2018. Disponível em: <<https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/1162>>. Acesso em 25 mar. 2024.

FREITAS, Gabriel Fernandes de. Análise de viabilidade econômica da produção de maracujá-azedo. 2018. 45 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/24986>. Acesso em: 05 maio 2024.

GASPAR, L. M. R. et al.. Análise econômico-financeira do gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos em uma agroindústria de processamento mínimo de hortaliças. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 3, p. 477–488, maio 2020. DOI: 10.1590/S1413-4152202020180189.

GOMES, F. P. *et al.* Physical characterization and description of the drying period with constant rate of jambu leaf paste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 3, 1 mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n3e275644>. Acesso em: 19 jun 2024.

GOMES, T. R. et al. Passion Fruit Peel in Growing Rabbits Feed. *Revista ciência agronômica*, v. 52, n. 4, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210051>. Acesso em: 20 mar. 2024.



GOMEZ, Ricardo Soares. **Estudo teórico e experimental da secagem de louças sanitárias em baixas temperaturas**. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023. Disponível em:

[file:///C:/Users/User/Downloads/RicardoSoaresGomez\\_Tese.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/RicardoSoaresGomez_Tese.pdf). Acesso em: 27 jun. 2024.

HOSSAIN, Mohammad Afzal *et al.* Effective drying processes for Taikor (*Garcinia pedunculata Roxb.*) fruit by ultrasound-assisted osmotic pretreatment: Analysis of quality and kinetic models. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 103, Sylhet, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106784>. Acesso em: 27 jun. 2024.

HUANG, Dan *et al.* Application of infrared radiation in the drying of food products. *Trends in Food Science & Technology*, Changsha, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421001461>. Acesso em: 19 jun 2024.

HANDAYANI, Sri Utami *et al.* Performance improvement of continuous horizontal fluidised bed dryer based on computational fluid dynamics. *Results in Engineering*, v. 17, 2023.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100972>. Acesso em: 02 jul. 2024.

HANDAYANI, Sri Utami; YOHANA, Eflita; TAUVIQIRRAHMAN, Mohammad.

Experimental study on drying characteristic of black tea using agitated vibro fluidized bed dryer. *Materials Today: Proceedings*, v. 87, Semarang, 2023, p. 332-337. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.425>. Acesso em: 02 jul. 2024.

JIN, Wei *et al.* Influence of ultrasonic-assisted osmotic dehydration pretreatment on hot air-assisted radio frequency drying of bitter melon. *Food Bioscience*, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103923>. Acesso em: 21 jun 2024.

JOO, Younghwan *et al.* Effect of drying kinetics model on energy efficiency of drying systems. *Energy*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130390>. Acesso em 19 jun 2024.

JIMOH, Kabiru Ayobami *et al.* Understanding the evolution of moisture during isothermal dehydration of glutinous rice through global sensitivity analysis. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 95, Serdang, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103733>. Acesso em: 24 jun 2024.

KHAMMEETHONG, Thanakrit *et al.* Effect of microwave vacuum drying and tray drying on the allergenicity of protein allergens in edible cricket, *Gryllus bimaculatus*. *Food Control*, v. 160, Bangkok, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110328>. Acesso em: 21 jun 2024.

KNOERSER, Kai; SABAREZ, Henry. Airborne Ultrasound-Assisted Drying of Foods. *Reference Module in Food Science*, Werrabee, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21329-2>. Acesso em: 21 jun 2024.

KONG, Lingbo; LI, Jiahao; EICHHAMMER, Wolfgang. Intensification of moisture separation in the pulp convective drying process with ultrasound-assisted method. *Bioresource Technology*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.130226>. Acesso em: 19 jun 2024.

LAGO, Regina Celi Araujo; MAIA, Marcos Luiz Leal; DA MATA, Virgínia Martins. **O Sabor das Frutas Tropicais no Brasil**. Embrapa, Brasília – DF, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147018/1/O-Sabor-das-Frutas-Tropicais-no-Brasil-ed-01-2016.pdf>. Acesso em: 14 set 2024.

LIMA, Amélia Ruth Nascimento. *Descrição do processo de secagem e caracterização físico-química de cascas de maracujá amarelo (Passiflora edulis f. flavicarpa o. deg.)*. 2021. 100 fl. (Dissertação de Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia), Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia, Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal Campina Grande - Cuité - Paraíba - Brasil, 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/21797>. Acesso em: 20 mar 2024.

LIMA ASSUMPCÃO, S. L. de; FARIAS CRESPO, C. de. Influência da taxa de congelamento na velocidade de sublimação durante o processo de liofilização de um produto imunobiológico. Congresso de Interdisciplinaridade do Noroeste Fluminense, [S. l.], v. 3,

2022. Disponível em:

<https://anais.eventos.iff.edu.br/index.php/coninfitaperuna/article/view/1288>. Acesso em: 21 jun. 2024.

LING, Wei *et al.* Methods, mechanisms, models and tail gas emissions of convective drying in sludge: A review. *Science of The Total Environment*, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157376>. Acesso em: 20 jun 2024.

LINK, Jade Varaschim; TRIBUZI, Giustino; LAURINDO, João Borges. Improving quality of dried fruits: A comparison between conductive multi-flash and traditional drying methods. *LWT*, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.045>. Acesso em: 20 jun 2024.

LONDE, Tales Martins. **Secagem de defensivo agrícola do tipo grânulo dispersível em leite fluidizado de escala piloto**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Uberaba, Uberaba, 2020. Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/1686>. Acesso em: 02 jul. 2024.

LOPES, Daniela de C.; STEIDLE NETO, Antonio José; SANTIAGO, Jéssika K. Comparison of equilibrium and logarithmic models for grain drying. *Biosystems Engineering*, v. 118, p. 105-114, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.11.011>. Acesso em: 27 jun. 2024.

MA, Dexiao *et al.* Enhancement of conductive drying of sewage sludge with mechanical compression: Drying kinetics, and interfacial heat transfer behavior. *Science of The Total Environment*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148716>. Acesso em: 21 jun 2024.

MA, Dexiao *et al.* Mechanical compression assisted conductive drying of thin-film dewatered sewage sludge: Process performance, heat and mass transfer behavior. *Waste Management*, 2021. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.060>. Acesso em: 20 jun 2024.

MACHADO, Celestina Tojal. Bala de gelatina com colágeno hidrolisado e microcápsulas de maracujá (*Passiflora edulis*). 2020. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de

Alimentos) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2020. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/13906>. Acesso em: 22 maio 2024.

MALANCHEN, Bruno Eduardo *et al.* Composição e Propriedades Fisiológicas E Funcionais Da Aveia. *FAG Journal of Health*, v. 1, n. 2, p. 185, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.35984/fjh.v1i2.86>. Acesso em: 19 jun. 2024.

MARQUES, Ana Clara *et al.* Sorbet funcional sabor maracujá. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Alimentos). - Escola Técnica Estadual Conselheiro Antônio Prado, Campinas, 2023. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/18797>. Acesso em: 18 jun 2024.

MARQUES, Bianca Cristine. **Modelagem e validação experimental da secagem convectiva de fatias de yacón (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-13112023-084235/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

MARQUES, R. R. Modelagem matemática das curvas de secagem de cagaita em secadores elétrico e solar. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Tecnológica). Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2017. 71p.

MENDES, Maressa de Oliveira. Barra de cereal formulada com farinha da casca de maracujá e casca de banana. 2023. 33f. Monografia (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Maranhão, Imperatriz, 2023. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/6788/1/MARESSADEOLIVEIRAMENDES.pdf>. Acesso em: 23 maio 2024.

MORAIS, Sinthya Kelly Queiroz *et al.* Secagem Solar De Casca De Maracujá: Uma Alternativa Ambiental E Economicamente Viável. *Livro Meio Ambiente e desenvolvimento Sustentável 2*, cap. 23, p. 242-250, 2019. Editora Atena.

MORALES, G. J.; MARTÍNEZ, C. I. O.; PASOS, C. V. Conductive hydro-drying of cayenne chili paste: Effects of intermittency, temperature and salt concentration on product quality and

energy efficiency. *LTW – Food Science and Technology*, Cali, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643824006194>. Acesso em: 20 jun 2024.

MOREIRA, Carolina Paula de Souza; SILVA, Cláudia Gontijo; ALMEIDA, Vera Lúcia de. Propriedades químicas e medicinais do maracujá. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 33, n. 269, p.7-16, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Vera-Almeida-5/publication/356109556\\_Propriedades\\_quimicas\\_e\\_medicinais\\_do\\_maracuja/links/618c2c9bd7d1af224bd4ffef/Propriedades-quimicas-e-medicinais-do-maracuja.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vera-Almeida-5/publication/356109556_Propriedades_quimicas_e_medicinais_do_maracuja/links/618c2c9bd7d1af224bd4ffef/Propriedades-quimicas-e-medicinais-do-maracuja.pdf). Acesso em: 15 Set 2024.

MUGI, Vishnuvardhan Reddy *et al.* Experimental evaluation of performance, drying and thermal parameters of guava slabs dried in a forced convection indirect solar dryer without and with thermal energy storage. *Renewable Energy*, v. 223, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120005>. Acesso em: 27 jun. 2024.

NAJARIAN, Jeff *et al.* Optimizing lyophilization primary drying: A vaccine case study with experimental and modeling techniques. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 659, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2024.124168>. Acesso em: 03 jul. 2024.

NASCIMENTO, Elisabete M. G. C. *et al.* Effects of high-intensity ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of passion fruit peel. *Journal of food engineering*, v. 170, p. 108-118, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.015>. Acesso em: 18 Ago. 2024.

NASR, Abdelaziz. Effect of a static magnetic field on the falling-film evaporation on a vertical plate evaporator by mixed convection. *Desalination and Water Treatment*, Makkah, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100039>. Acesso em: 21 jun 2024.

ODAHARA, I. M. *et al.* Cinética de secagem do broto de bambu gigante. *Agron Food Academy eBooks*, 4 set. 2023. DOI: 10.53934/08082023-12.

OLIVEIRA, E. N. A. **Tecnologia e processamento de frutas, doces, geléias e compostas.** 2018. Disponível em:

<<https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1664/Tec.%20e%20Proc.%20de%20Frutas%20-%20E-Book.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

OLIVEIRA, Maria Eduarda Nunes de. Geleia de maracujá com diferentes concentrações de pimenta biquinho, enriquecida com farinha da casca do maracujá. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Maranhão, Imperatriz, 2023. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/7501/1/MARIAEDUARDANUNESDOLIVEIRA.pdf>. Acesso em: 18 jun 2024.

PATEL, Sanjay Kumar; BADE, Mukund Haribhau. Energy targeting and process integration of spray dryer with heat recovery systems. *Energy Conversion and Management*, v. 221, Gujarat, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113148>. Acesso em: 21 jun 2024.

PITA, J. D. S. L. **Caracterização físico-química e nutricional da polpa e farinha da casca de maracujazeiros do mato e amarelo**. Dissertação—Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB: [s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2017/04/JULYANE-PITA.pdf>>. Acesso em 19 jun. 2024.

PLABON, Md. Emrul Ahsan *et al.* Comprehensive assessment of drying performance, physical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant capacity of mallow (*Malvaverticillata*) vegetables: A comparative study of a modified tray dryer and conventional drying methods. *Applied Food Research*, Bangladesh, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100423>. Acesso em: 19 jun 2024.

RAJ, GVS Bhagya; DASH, Kshirod K. Development of Hydrocolloids Incorporated Dragon Fruit Leather by conductive hydro drying: Characterization and Sensory Evaluation. *Food Hydrocolloids for Health*, Malda, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100086>. Acesso em: 20 jun 2024.

RAMOS, Kazumi Kawasaki. Aproveitamento de subprodutos do processamento de frutas nativas da Mata Atlântica em confeitos. 2017. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)

– UNICAMP, Campinas, SP. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2017.982279>. Acesso em: 27 jan 2024.

RIBEIRO, T. H. S. et al.. Physicochemical and sensory characterization of gluten-free fresh pasta with addition of passion fruit peel flour. *Ciência Rural*, v. 48, n. 12, p. e20180508, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180508>. Acesso em: 18 jun 2024.

RIBEIRO, D. N. et al. Capítulo 60 PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES DE EXTRATOS DE SEMENTES DE MARACUJÁ DO MATO (*Passiflora cincinnata*). [s.l: s.n.]. Disponível em:  
<<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/33660/PROPRIEDADES%20ANTIOXIDANTES%20DE%20EXTRATOS%20DE%20SEMENTES%20DE%20MARACUJ%3%81%20DO%20MATO%20-%208%20BA%20ISRMU%20EVENTO%20UFCG%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 maio 2024.

RÓŻYŁO, Renata. Recent trends in methods used to obtain natural food colorants by freeze-drying. *Trends in Food Science & Technology*, Lublin p. 39-50, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.005>. Acesso em: 21 jun 2024.

SANTOS, Y. C. F., & ANDRÉ, M. F. Desenvolvimento e análise sensorial de biscoito enriquecido com farinha de casca de maracujá (*Passiflora Edulis*)/ Development and sensory analysis of enriched cookies with passion fruit (*Passiflora Edulis*) bark flour. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 6932–6938, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-468>. Acesso em 18 jun 2024.

SILVA, Ana Paula Pereira da. Desenvolvimento de mudas de maracujazeiro amarelo em tubetes. Dissertação (Mestrado em Concentração de Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12243/1/APPSilvaDISPRT.pdf>. Acesso em: 20 mar 2024.

SILVA , Anny Beatriz Santana e *et al.* Técnicas de secagem de frutas: uma revisão. *Scientific Electronic Archives*, [S. l.], v. 14, n. 10, 2021. DOI: 10.36560/141020211424. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/index.php/SEA/article/view/1424>. Acesso em: 21 jun. 2024.

SILVA, João Vitor Vicente da. EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICOQUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO ÓLEO DE SEMENTE DE MARACUJÁ AZEDO (*Passiflora edulis Sims*). Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ifrj.edu.br/xmlui/bitstream/handle/20.500.12083/718/JO%c3%83O%20VITOR%20VICENTE%20DA%20SILVA%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 set 2024.

SILVA JÚNIOR, Marco Antônio Vasiliev da. **Modelagem e simulação da secagem convectiva de materiais alimentícios via método de elementos finitos**. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74133/tde-02022024-101632/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

SILVA, P. L.; ASSIS, L. C.; LIMA, A. D. COMPARATIVO DE DESIDRATAÇÃO DE BATATA POR CONVECCÃO E POR RADIAÇÃO. Uniube.br, 2018. Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/923>. Acesso em: 20 jun 2024.

SILVA, Renato da Costa. Farinha de sementes de melão neve (*Cucumis melo sp.*) produzida por secagem intermitente e contínua e aplicada a biscoitos tipo cookies. 2023. 145f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2023. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/32074/RENATO%20COSTA%20DA%20SILVA%20-%20TESE%20%28PPGEA%29%202023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 maio 2024.

SKARBALIUS, Gediminas *et al.* A novel method for convective drying rate estimation in a deep fixed porous material bed. *Powder Technology*, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117499>. Acesso em: 19 jun 2024.



SOARES, Gabriela Saldanha. **Monitoramento do comportamento da temperatura e da pressão durante a secagem de sementes forrageiras em leito fluidizado**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2019. Disponível em:

<https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/bdtd/d3f1521234d4b7ad234aeb96cffe6127.pdf>.

Acesso em: 02 jul. 2024.

TAVARES, T. M.; TERRA, T. G. R. Fibra dietética e sua capacidade antioxidante. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 10, n. 1, p. 1581–1587, 2018. Disponível em:

[https://web.archive.org/web/20220227151842id\\_/https://www.acervosaude.com.br/doc/REAS152.pdf](https://web.archive.org/web/20220227151842id_/https://www.acervosaude.com.br/doc/REAS152.pdf). Acesso em: 22 maio 2024.

VERRUCK, Silvani; PRUDENCIO, Elane Schwinden. *Ultrassom na indústria de alimentos: Aplicações no Processamento e Conservação*. Editora Atena, 2018.

WANG, Bixiang *et al.* Dehydration–rehydration vegetables: Evaluation and future challenges.

*Food Chemistry: X*, v. 20, Changchun, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100935>. Acesso em: 24 jun 2024.

WANG, Wei; CHEN, Mo; CHEN, Guohua. Issues in Freeze Drying of Aqueous Solutions. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 20, n. 3, p. 551-559, Dalian, 2012. Disponível em:

[https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(11\)60218-8](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(11)60218-8). Acesso em: 21 jun 2024.

YE, Yiting *et al.* Quality-based selection of the optimal hot air gradient drying method for anchovy and modeling of drying kinetics. *Aquaculture and Fisheries*, Changsha, 2024.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.03.002>. Acesso em: 21 jun 2024.

YOUNIS, Mahmoud; ABDELKARIM, Diaeldin; EL-ABDEIN, Assem Zein. Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer drying of garlic slices. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 25, n. 2, Riyadh, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.06.011>. Acesso em: 27 jun. 2024.