



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Secagem do Resíduo do Pseudofruto do Cajueiro para Produção de Farinhas

Priscylla Vital Barboza Silva¹, Josivanda Palmeira Gomes², Yaroslávia Ferreira Paiva³, Karoline Thays Andrade Araújo³, Julianna Gomes da Silva³

¹ Mestre em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande, Paraíba. (83) 98724-1497. pricilavital@gmail.com (autor correspondente). ² Professora Titular, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário, CEP 58429-900, Campina Grande, Paraíba. (83) 2101-1288. josivanda@gmail.com. ³ Engenharia de Processos, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário, CEP 58429-900, Campina Grande, Paraíba. (83) 2101-1652. yaroslaviapaiva@gmail.com; karoline_thays@hotmail.com; julianna.gomess@gmail.com.

Artigo recebido em 06/04/2023 e aceito em 08/01/2024

RESUMO

Objetivando diminuir os desperdícios de produtos agrícolas e reduzir o impacto no meio ambiente, o reaproveitamento de resíduos agrícolas industriais é de grande importância para o setor econômico. Dessa forma, a produção de farinhas deve ser considerada uma alternativa de reutilização de resíduos, uma vez que seu processamento é conseguido com o uso da secagem, apresentando vantagens nutricionais em relação ao conteúdo de nutrientes como vitaminas, fibras e minerais, entre outros. Nesse sentido foi realizada a secagem do resíduo do pseudofruto de caju em quatro diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) em estufa de circulação de ar e a relação com a atividade de água, para realização das isotermas de dessorção. Verificou-se que a secagem do resíduo do pseudofruto do caju, ocorre à taxa decrescente. O tempo de secagem dos resíduos foi influenciado pela temperatura. O modelo de Halsey foi o que melhor representou as isotermas de dessorção do resíduo do pseudofruto de caju. O processo de secagem vem minimizar problemas ambientais e ao mesmo tempo proporcionar a obtenção de um produto com valor agregado com diversas aplicabilidades comerciais. Palavras-chaves: reaproveitamento de produtos, secagem por ventilação forçada, isotermas de dessorção, modelagem matemática.

Drying of Cashew Pseudofruit Residue for Flour Production

ABSTRACT

Aiming to reduce the waste of agricultural products and reduce the impact on the environment, the reuse of industrial agricultural waste is of great importance for the economic sector. Thus, the production of flour should be considered an alternative for waste reuse, since its processing is achieved with the use of drying, presenting nutritional advantages in relation to the content of nutrients such as vitamins, fibers and minerals, among others. In this sense, the drying of the cashew pseudofruit residue at four different temperatures (40, 50, 60 and 70 °C) was performed in an air circulating oven and the relationship with the water activity, to perform the desorption isotherms. It was verified that the drying of the cashew pseudofruit residue occurs at a decreasing rate. The drying time of the residue was influenced by the temperature. Halsey's model was the one that best represented the desorption isotherms of the cashew pseudofruit residue. The drying process comes to minimize environmental problems and at the same time provide the obtainment of a product with added value with various commercial applications.

Keywords: reuse of products, forced ventilation drying, desorption isotherms, mathematical modeling.

Introdução

O Brasil ocupa posição de destaque internacional em biodiversidade, isso porque possui um território fértil com disponibilidade de produção e por seu clima privilegiado. Atualmente é o segundo maior produtor agrícola mundial e terceiro no ranking da produção mundial de frutas (IEA, 2019).

Segundo o relatório “O Estado da Segurança Alimentar e Nutricional no Mundo 2020”, a América Latina e o Caribe são responsáveis por 20% da quantidade total de alimentos desperdiçados no mundo desde a pós-colheita até o varejo (FAO, 2020). Para Amaral et al. (2021) o principal problema no processamento de frutas e

hortaliças é a grande quantidade de resíduos orgânicos gerados, que com o desperdício que causam no meio ambiente se degradam rapidamente. Existem empresas que destinam os resíduos para elaboração de rações animais, sendo que um número maior, são os daqueles que não proporcionam um destino correto a esses resíduos.

Santos et al. (2020), diz que há um contraste entre essa produção e o desperdício de produtos da produção agrícola que poderia ser reaproveitada no país. Isso porque, como já se sabe a perecibilidade das frutas é extremamente alta e o processamento de mais da metade da produção visa o aumento da vida útil, como também que o transporte seja facilitado e uma maior agregação de valor ao produto (Vasconcelos et al., 2023).

A *Anacardium occidentale* L., conhecida como cajueiro, cajueiro branco, cajueiro roxo ou cajueiro comum, é uma espécie vegetal nativa do nordeste brasileiro que é amplamente aproveitada pela população, pois pode-se fazer uso de muitas partes da planta com diversas finalidades, sejam elas medicinais ou alimentares. O pedúnculo, seu pseudofruto, é chamado de caju e apresenta coloração variada em tons de amarelo a vermelho. Junto a ele, tem-se a amêndoa da castanha de caju que, em seu interior, armazena a castanha. O caju e a castanha são apreciados na culinária nordestina, tanto *in natura* quanto em outros produtos alimentícios (Novais et al., 2021). Por cumprir uma importante função na economia rural nordestina de complementar a renda do agricultor com um fluxo monetário na fase do ano na qual praticamente não existe outra produção, na seca entre agosto e dezembro, época normalmente de entressafra, criando um pilar na economia rural semelhante ao que antes cumpria o algodão (Melo et al., 2018).

O caju apresenta alto potencial nutricional. Na verdade, é rico em vitamina C, carotenoides, fibras alimentares, vitaminas, açúcares e elementos minerais onde são essenciais para nutrição humana. Além da qualidade nutricional, o caju tem vantagens tecnológicas: a parte comestível da fruta está entre 85 e 100% superior ao de outras frutas tropicais tradicionais, e seu sabor suculento e a polpa doce não contém sementes ou caroços. Além disso, estão disponíveis volumes muito grandes. (Sahie et al., 2023).

O pedúnculo do caju, que é destinado ao consumo humano, é transformado em vários produtos, porém essa produção industrial leva à rejeição de resíduos em quantidades que são consideráveis, chamadas resíduos do pseudofruto de caju. Este subproduto, destinado principalmente

à produção de alimentos de origem animal e poderia ser reaproveitado, já que possui características nutricionais significativas (Servent et al., 2020).

Segundo Moreno et al. (2016), Além da sua importância alimentar, por ser rico em vitamina C, cálcio, fósforo e ferro, o cultivo de caju também cumpre um papel social muito importante no Brasil, isso porque tem um número de empregos diretos gerados, em que no geral, cerca de 35 mil no campo e 15 mil na indústria, além de 250 mil empregos indiretos nos dois segmentos. No semiárido nordestino, a importância é ainda maior pois, podem ser gerados empregos também na entressafra das culturas tradicionais.

Quando se objetiva determinar a taxa de deterioração de um determinado alimento sob condições preestabelecidas, devem-se realizar análises periódicas e a intervalos de tempo relativamente constantes, até que sejam obtidas informações suficientes sobre a perda de qualidade do produto em questão (Moraes et al., 2015).

A atividade de água (a_w) é uma medida qualitativa nos alimentos e permite avaliação da disponibilidade de água livre que é suscetível a diversas reações, enquanto que o teor de umidade é uma medida quantitativa, ou seja, mede o percentual em peso, de toda água presente no alimento, podendo este estar presente de maneira livre quanto isolada (Feitosa et al., 2018). Sendo assim, a água que se encontra livre no produto está disponível a reações físicas, químicas e biológicas, além de ser responsável pela sua deterioração. É nesse sentido, onde o alimento que possui baixa atividade de água acarreta na diminuição da proliferação de microrganismos. Um dos parâmetros utilizados para determinar a qualidade de uma farinha é o teor de umidade que este produto apresenta, portanto, a atividade de água ser utilizada como um indicativo útil de qualidade. Além disso, os processos de secagem irão reduzir custos com armazenamento, facilitando o transporte, bem como garantem um maior valor agregado ao produto.

Alves e Nicoletti (2016) afirmaram que a secagem visa, além de diversificar e modificar os produtos já disponíveis, proporciona um alimento com características preservadas por longos períodos, ainda que armazenados em temperatura ambiente. Ao final do processo de secagem, o teor de umidade atinge um valor baixo, o que corresponde a um equilíbrio termodinâmico (equilíbrio de sorção) com a atmosfera circundante e seu peso torna-se estacionário. Assim, o

equilíbrio termodinâmico e sua determinação são essenciais para prever mudanças de estabilidade/qualidade e também gerar um melhor entendimento dos problemas de modelagem nas operações de secagem (Prasantha, 2018).

Para Bitencourt (2020) a secagem é o principal processo na cadeia produtiva desse produto e o estudo da influência de alta, média ou baixas temperaturas sobre a secagem pode fornecer informações úteis e contribuir para fornecer um produto de qualidade. Nesse contexto, podem ocorrer interferências microbiológicas durante a secagem, armazenamento, modificações nos constituintes nutricionais, bem como na atividade de água deste produto. Por isso só a secagem não oferece garantias, pois a redução do teor de água é apenas um dos pilares da segurança alimentar, as condições de armazenamento e transporte, se não forem adequadas, podem promover o reumedecimento do produto (Silva et al., 2018).

A qualidade nutricional e sensorial de um alimento está relacionada aos seus fatores químicos, físicos e biológicos (microbiológicos e enzimáticos), desde a sua fabricação até o seu consumo e, portanto, informações sobre as principais características das matérias-primas podem contribuir para aumentar o uso e melhorar a qualidade do produto (Gadani et al., 2017).

Segundo Salve e Swami (2023) pós de frutas, apresentam alguns benefícios, em comparação às farinhas de cereais, como maior conservação e concentração dos valores nutricionais assim como menor tempo de secagem. O fruto como o caju sendo um produto totalmente natural, e ser o único ingrediente da farinha, abstém-se do desperdício por permitir a utilização integral do mesmo. Produtos de panificação podem ser apontados como alternativas viáveis para utilização da farinha. A aplicação de farinhas obtidas por meio do pedúnculo do caju na panificação é de extrema

importância, pois irá agregar valor nutricional aos produtos criados.

Santos et al. (2021) comentam que as características que os alimentos possuem, são sempre a prioridade e o que chama a atenção dos consumidores, pois não é mais questão de apenas suprir as necessidades nutricionais, os produtos devem colaborar com uma melhor qualidade de vida e bem-estar. São inúmeros, os estudos que vêm sendo realizados para encontrar formas de reaproveitar corretamente os resíduos, minimizando os impactos que são gerados (Amaral et al., 2021).

Por tudo isso, buscou-se realizar a secagem, avaliação das isotermas de dessorção e ajustes dos dados experimentais a modelagem matemática do pseudofruto do caju produzidos no estado da Paraíba.

Material e métodos

Caracterização da matéria-prima

O trabalho foi realizado no Laboratório Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em conjunto com o Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários (LTPA) e Laboratório de Análise Química e Física do Solo e Água, pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Os frutos de caju (*Anacardium occidentale* L.) foram adquiridos no município de Areia, PB. As amostras apresentavam-se com coloração vermelha amarelada, em estágio de maturação comercial, como mostra a Figura 1, sendo descartados os considerados impróprios para o processamento.



Figura 1. Aspecto visual dos frutos de caju, utilizados para processamento obtidos comercialmente em estágio de maturação. Areia-PB

Obtenção do resíduo do pedúnculo do caju

Inicialmente, os frutos foram higienizados com água corrente e sanitizados por meio de imersão em solução de hipoclorito de sódio com 200 mL L⁻¹ (aproximadamente 10 mL de hipoclorito de sódio para 1 L de água) durante 10 min e enxaguados com água corrente, para remoção do excesso de solução sanitizante.

As amostras foram embaladas em sacos transparentes e congeladas à uma temperatura de ± 18 °C ficando armazenadas até que fosse realizado o processamento do resíduo.

Iniciando as etapas de processamento, os frutos foram submetidos ao descongelamento sob refrigeração (± 5 °C) por um período de aproximadamente 12 h e em seguida, retiradas as castanhas. O pedúnculo foi triturado em liquidificador industrial e prensado manualmente com auxílio de uma peneira plástica (9 x 17 x 31

cm) para separação do suco. Os resíduos obtidos, foram levados para a segunda etapa, a secagem.

Secagem do resíduo do pseudofruto de caju

Com o resíduo pronto, as amostras foram dispostas em bandejas de aço inoxidável, uniformemente espalhadas (Figura 2), formando uma camada fina, com altura entre 1 a 2 cm e levadas a estufa com circulação e renovação forçada de ar (1,0 m s⁻¹), marca Tecnal – TE-394/1, para determinação das cinéticas de secagem nas temperaturas 40, 50, 60 e 70 °C.

Colocadas na estufa, as amostras foram pesadas, com auxílio de uma balança analítica em intervalos de 5, 10, 30 e 60 min, acompanhando a perda de massa do resíduo e a a_w até atingir o teor de água de equilíbrio. Por fim, as amostras foram levadas novamente a estufa em 105 ± 3 °C por 24 h para determinação da matéria seca.



Figura 2. Resíduo do pseudofruto do caju após processamento, despejados em bandejas para iniciação da secagem.

Modelagem matemática da cinética de secagem

Os dados da cinética de secagem dos resíduos do pseudofruto do caju foram feitos em triplicata, através da pesagem das amostras no secador em intervalos regulares, até que apresentassem massa constante. A cada secagem determinou-se as massas secas das amostras. Esses valores foram determinados através da Eq. 1.

X_e – teor de água de equilíbrio, % base seca.

Foram utilizados os modelos descritos na Tabela 1 para ajuste dos dados experimentais da secagem dos resíduos do pseudofruto do caju. Os ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais foram realizados através do Statistica 7.0, por meio da análise de regressão não linear, utilizando o método Quasi-Newton. Para avaliar a qualidade dos ajustes, foram utilizados

Tabela 1. Modelos matemáticos usados na descrição das curvas de cinética de secagem dos resíduos do pseudofruto do caju nas temperaturas estudadas (40, 50, 60 e 70 °C).

Modelo	Equação
Aproximação da Difusão	$RX = a.exp(-k.t) + (1 - a).exp(-k.b.t)$ (2)
Midilli	$RX = a \exp(-k t^n)+b.t$ (3)
Page	$RX= \exp(-k.t^n)$ (4)

$$RX = \frac{X-X_e}{X_i-X_e} \tag{1}$$

Em que:
RX – razão do teor de água, adimensional;
X – teor de água em determinado tempo, % base seca;
X_i – teor de água inicial, % base seca;

como critérios, o coeficiente de determinação (R²), o desvio quadrático médio (DQM) (Eq. 5) e o qui-quadrado (χ²) (Eq. 6).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum(RX_{pred}-RX_{exp})^2}{n}} \tag{5}$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

RX_{pred} - razão do teor de água predito pelo modelo, adimensional;

RX_{exp} - razão do teor de água experimental, adimensional;

n - número de observações.

$$\chi^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp} - RX_{pred})^2 \quad (6)$$

Em que:

χ^2 - qui-quadrado;

RX_{pred} - razão de teor de água predita pelo modelo;

RX_{exp} - razão de teor de água experimental;

N - número de observações;

n - número de constantes do modelo

Isotermas de dessorção do resíduo do pedúnculo de caju

Determinadas pelo método estático-indireto, com base no estudo efetuado por Capriste e Rotstein (1982). Inicialmente foram pesados 5,0 g de amostra nos cadinhos previamente tarados e pesados em balança analítica, com precisão de 0,0001 g. As amostras foram levadas a estufa com circulação forçada de ar, em 4 temperaturas: 40, 50,

60 e 70 °C. Para cada temperatura, em fase de revezamento, foram utilizadas 3 amostras com 8 repetições e a cada 5, 10, 15, 30 e 60 min, eram retiradas uma amostra de cada repetição, para leitura da atividade de água em aqualab portátil (decagon) e verificação do peso em balança analítica.

Esse processo repetiu-se até que a última leitura da atividade de água fosse igual ou maior que a penúltima. A partir deste ponto, as amostras foram levadas a estufa, sem circulação de ar, a 105 °C por 24 h para determinação da umidade de equilíbrio (base seca) por método gravimétrico.

$$X_e = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \quad (7)$$

Sendo:

X_e - umidade de equilíbrio em base seca;

m_{eq} - massa da amostra no equilíbrio (g);

m_s - massa da amostra seca (g).

Modelagem matemática para ajuste das isotermas de dessorção

Para ajustes das isotermas de dessorção no resíduo do pedúnculo do caju, através da análise de regressão não linear dos dados obtidos, foram testados os modelos descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos matemáticos utilizados para determinação das isotermas de dessorção dos resíduos do pseudofruto do caju nas temperaturas estudadas (40, 50, 60 e 70 °C).

Modelo matemático	Equações	
GAB	$X_e = \frac{x_m C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)}$	8
Halsey	$a_w = \exp\left(\frac{-a}{X_e^b}\right)$	9
Oswin	$X_e = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w}\right)^b$	10

Em que:

a_w - atividade de água, adimensional.

X_e - umidade de equilíbrio, b s.

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular, kg kg⁻¹.

C - constante que está relacionada ao calor de sorção da camada molecular.

a, b e K - constantes de ajuste do modelo.

Para análise dos ajustes dos modelos aos dados experimentais, foi utilizado o programa Statistica, versão 7.0, com critérios de convergência de 0,0001 e análise de regressão não linear, pelo método Quasi Newton.

Os modelos selecionados tomaram como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e Desvio Percentual Médio (P) (11), para verificação de qual deles melhor representava os referidos dados obtidos.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{exp} - X_{pred}|}{X_{exp}} \quad (11)$$

Em que:

X_{exp} - valor obtido experimentalmente, bs;

X_{pred} - valor predito pelo modelo matemático, bs;

n - número de dados experimentais.

Processamento da farinha do resíduo de caju

Após a secagem, as amostras com os 4 resíduos secos em diferentes temperaturas, foram trituradas em liquidificador, marca Philco por 10 min para obtenção da farinha. Em seguida realizou-se o acondicionamento das 4 farinhas, obtidas em temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. As amostras foram armazenadas em recipiente de vidro hermético, revestido com papel alumínio, com essa medida, houve a redução da incidência de luz, e redução da absorção de umidade.

Análise estatística

As análises de secagem e das isotermas de dessorção, foi utilizado o Microsoft Excel®. E para os ajustes dos modelos matemáticos, o Statistica® versão 7.0, utilizando os métodos já descritos acima.

Resultados e discussão

Cinética de secagem do resíduo de caju

A Figura 3 apresenta o teor de umidade versus tempo no processo de secagem em estufa de circulação forçada de ar do resíduo do pseudofruto de caju, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

A secagem por convecção utiliza o ar quente como agente de transferência de calor e desidratação dos produtos. Essa técnica possui algumas vantagens como: ser um método barato; promoção da higiene; uniformidade; simplicidade; conveniente; acessibilidade; além de melhorar o processo de secagem (Cagliari et al., 2022)

Pode-se observar na Figura 3 que as curvas de secagem do resíduo de caju ocorrem a taxa decrescente para todas as condições estudadas, não

apresentando período de taxa constante fato justificado pela natureza da umidade, uma vez que mesmo havendo umidade superficial livre, a água pode estar na forma de suspensão de células e de solução (açúcares e outras moléculas) apresentando uma pressão de vapor inferior à da água pura, também podendo estar relacionado às temperaturas se encontrarem próximas as da temperatura ambiente, ocasionando uma maior demora na secagem e maior estabilidade. A ausência de período a taxa constante também foi observada por muitos trabalhos como o de Carvalho et al. (2018) e também por Ribeiro Filho et al. (2021).

Os valores de umidade encontram-se em gramas de água/gramas de resíduo seco. As curvas foram construídas com intervalo variando de 3,39 à 0,20 para 40 °C, 4,12 à 0,21 para 50 °C, 2,57 à 0,08 em 60 °C e 2,06 à 0,06 em 70 °C. Esses valores estão próximos aos encontrados por Silva et al. (2018) para frutas de carambola, utilizando o mesmo método de secagem e temperaturas.

Pode-se verificar também, que a perda do conteúdo de umidade é mais rápida no início do processo de secagem, independente da temperatura utilizada, o que pode ser explicado pela disponibilidade de água livre, no material, que evapora mais rapidamente, como descrito por Santos (2019).

Em relação às temperaturas utilizadas, tem-se que quanto mais elevadas maior é a taxa de secagem e menor é o tempo de secagem. No presente trabalho a cinética de secagem foi grandemente influenciada por esses fatores. O tempo de secagem variou de 6 h (360 min) à 4,8 h (285 min) e a atividade de água variou de 0,93 à 0,94, entre as temperaturas de 40 à 70 °C.

Na Tabela 3 encontram-se os valores dos parâmetros dos modelos de Midilli, Aproximação da Difusão e de Page, respectivamente, com os dados de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM) e Qui-Quadrado (χ^2) referentes aos ajustes dos modelos dos dados experimentais da secagem do pseudofruto de caju para as temperaturas estudadas (40, 50, 60 e 80 °C).

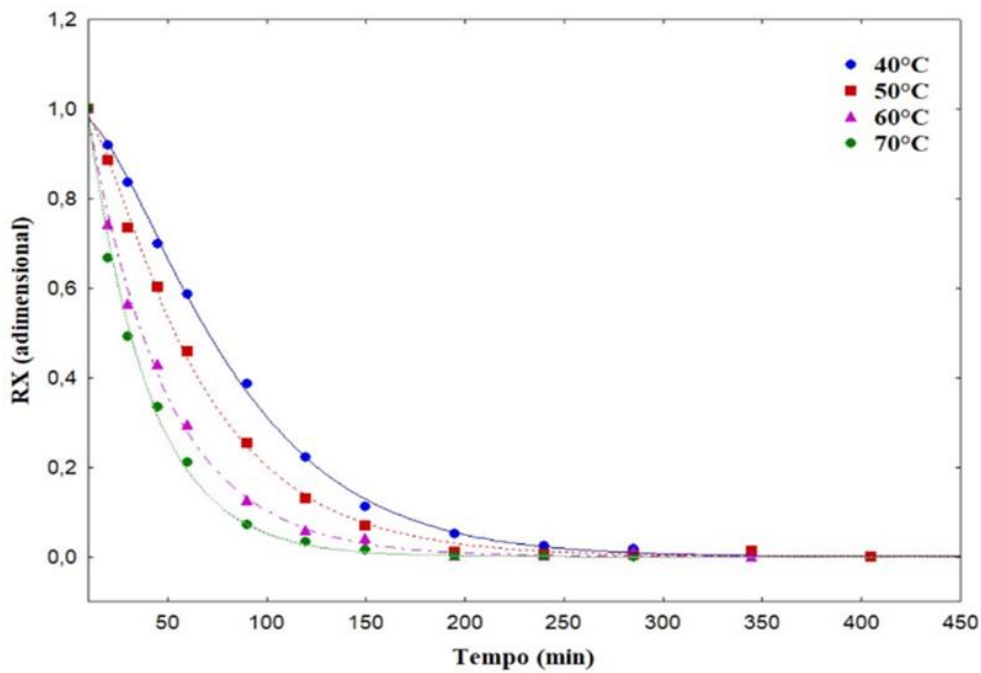


Figura 3. Curvas da cinética de secagem de resíduos do pseudofruto de caju em camada fina para quatro temperaturas (40,50,60 e 70 °C) com leituras realizadas em até 400 min.

Tabela 3. Parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais encontrados na cinética de secagem dos resíduos do pseudofruto de caju.

Modelo	T (°C)	Parâmetro				R ²	DQM	χ ²
Midilli		a	k	N	b			
	40	1,044768	0,001895	1,400078	0,000007	0,99964	0,0070	0,00007
	50	1,094022	0,005011	1,262737	0,000005	0,99943	0,0085	0,00010
	60	1,502942	0,006014	1,114789	0,000003	0,99175	0,0612	0,00541
	70	1,636644	0,079909	0,796122	-0,000024	0,99865	0,0108	0,00017
Aproximação da Difusão		a	b	K				
	40	-4,51546	0,026773	0,814994	-	0,99927	0,0100	0,00013
	50	-0,502989	0,071852	0,279029	-	0,99873	0,0127	0,00021
	60	-0,260700	1,006251	0,025000	-	0,99788	0,0144	0,00030
	70	-0,348051	0,853029	0,037953	-	0,99717	0,0170	0,00040
Page		k	n	-	-			
	40	0,001022	1,523104	-	-	0,99866	0,0125	0,00018
	50	0,001807	1,475007	-	-	0,99715	0,0190	0,00043
	60	0,004758	1,359919	-	-	0,98839	0,0351	0,00148
	70	0,004653	1,436722	-	-	0,98235	0,0425	0,00220

Analisando-se os dados mostrados na Tabela 3 é possível verificar que os três modelos são considerados apropriados na predição da secagem do pseudofruto do caju em todas as temperaturas estudadas por apresentar coeficientes de determinação superiores a 0,99, desvios médios quadráticos variando de 0,0070 até 0,0612 e qui-quadrados entre 0,00007 e 0,00220. Os melhores modelos foram Aproximação da Difusão, Midilli e Page, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira et al. (2021) quando estudaram a secagem dos resíduos integral polpa de cumbeba (*Tacinga inamoena*) nas temperaturas 50, 60, 70 e 80 °C e verificaram que

os modelos de Midilli e Aproximação da Difusão tiveram os melhores ajustes.

Observando-se os parâmetros do Modelo de Midilli verifica-se que o parâmetro “a” e “k” aumentou a medida que a temperatura foi elevada sendo contrários aos parâmetros “n” e “b”. Já para o modelo da Aproximação da Difusão não houve um comportamento definido com relação a todos os parâmetros. No caso do modelo de Page de forma geral, o parâmetro “k” e “n” aumentou com o aumento da temperatura, exceção apenas para a temperatura de 80 °C.

Na Figura 4 tem-se as curvas de secagem com todos os modelos mostrando que os mesmos apresentaram taxa de secagem decrescente.

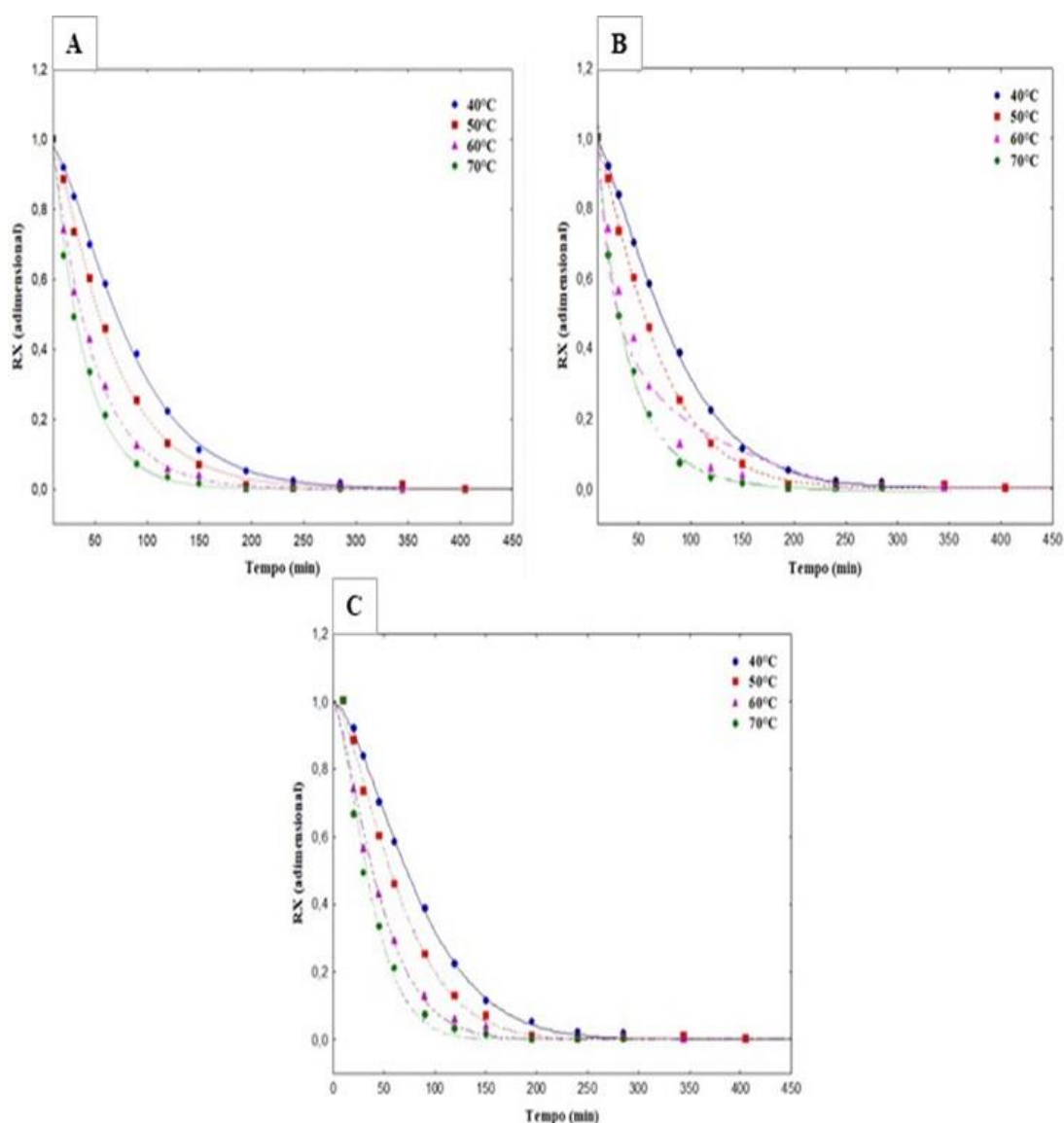


Figura 4. Modelos da Aproximação da Difusão (A), Midilli (B) e Page (C), respectivamente, ajustados aos dados obtidos experimentalmente na cinética de secagem do pseudofruto de caju.

Isotermas de dessorção

O teor de umidade de cada produto é um dos fatores que mais influenciam o processo e varia de acordo com a natureza desse mesmo insumo, com o tipo de produto que se deseja sintetizar e da necessidade do microrganismo. Sendo assim, altos níveis de umidade resultaram em uma diminuição da porosidade, baixa difusão de oxigênio, aumento no risco de contaminação, além da redução no volume de gás e de troca gasosa. Em contraponto, níveis baixos de umidade levam a um crescimento minimizado da população microbiana em relação

ao seu ponto ótimo e baixo grau de utilização destes insumos pelos mesmos, ou seja, quanto menor teor de umidade maior resistência a ataques microbianos e redução de reações enzimáticas (Vasconcelos et al., 2023).

Os resultados experimentais da atividade de água (a_w) com suas respectivas umidades de equilíbrio (X_e) em base seca a diferentes temperaturas estão mostradas na Tabela 4, referindo-se à dessorção do resíduo do pseudofruto do caju.

Tabela 4. Valores experimentais da umidade de equilíbrio (X_e) do resíduo do pedúnculo do caju em função da temperatura e da atividade de água medidos no mês de dezembro de 2021.

Temperaturas							
40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0,89±0,01	3,39±0,05	0,93±0,02	4,12±1,21	0,87±0,01	2,57±0,17	0,86±0,02	2,06±0,29
0,89±0,00	3,15±0,13	0,89±0,00	3,86±0,61	0,87±0,01	1,98±0,05	0,85±0,02	1,38±0,03
0,89±0,01	2,72±0,12	0,90±0,00	2,97±0,57	0,85±0,02	1,524±0,21	0,81±0,03	1,03±0,04
0,89±0,01	2,71±0,23	0,89±0,00	2,69±0,07	0,86±0,01	1,58±0,36	0,79±0,06	0,78±0,10
0,89±0,01	2,33±0,12	0,88±0,01	1,99±0,69	0,82±0,02	0,84±0,05	0,71±0,03	0,47±0,09
0,88±0,02	2,02±0,29	0,87±0,01	1,25±0,39	0,67±0,08	0,51±0,21	0,53±0,06	0,19±0,06
0,81±0,04	1,07±0,12	0,69±0,10	0,69±0,24	0,46±0,06	0,21±0,07	0,36±0,01	0,13±0,01
0,72±0,02	0,85±0,03	0,68±0,04	0,61±0,10	0,51±0,07	0,25±0,05	0,36±0,02	0,13±0,003
0,68±0,13	0,44±0,20	0,66±0,04	0,54±0,14	0,37±0,03	0,14±0,02	0,36±0,01	0,08±0,06
0,64±0,05	0,46±0,02	0,52±0,09	0,47±0,11	0,41±0,01	0,11±0,01	0,34±0,02	0,04±0,002
0,43±0,05	0,20±0,02	0,49±0,03	0,28±0,10	0,36±0,01	0,10±0,007	0,34±0,02	0,06±0,02
0,42±0,05	0,23±0,09	0,41±0,01	0,26±0,04	0,35±0,01	0,10±0,01	-	-
-	-	0,41±0,02	0,21 ±0,07	0,37±0,01	0,08±0,005	-	-

Todos os dados são apresentados como: média padrão ± desvio padrão.

Na Figura 5 estão apresentados os valores experimentais da isoterma de dessorção de umidade do resíduo do pseudofruto de caju. Granela et al. (2019) encontraram para

temperaturas menores os valores de 0,204 à 0,7567 em trigo para a atividade de água valores que estão variantes também com esse estudo.

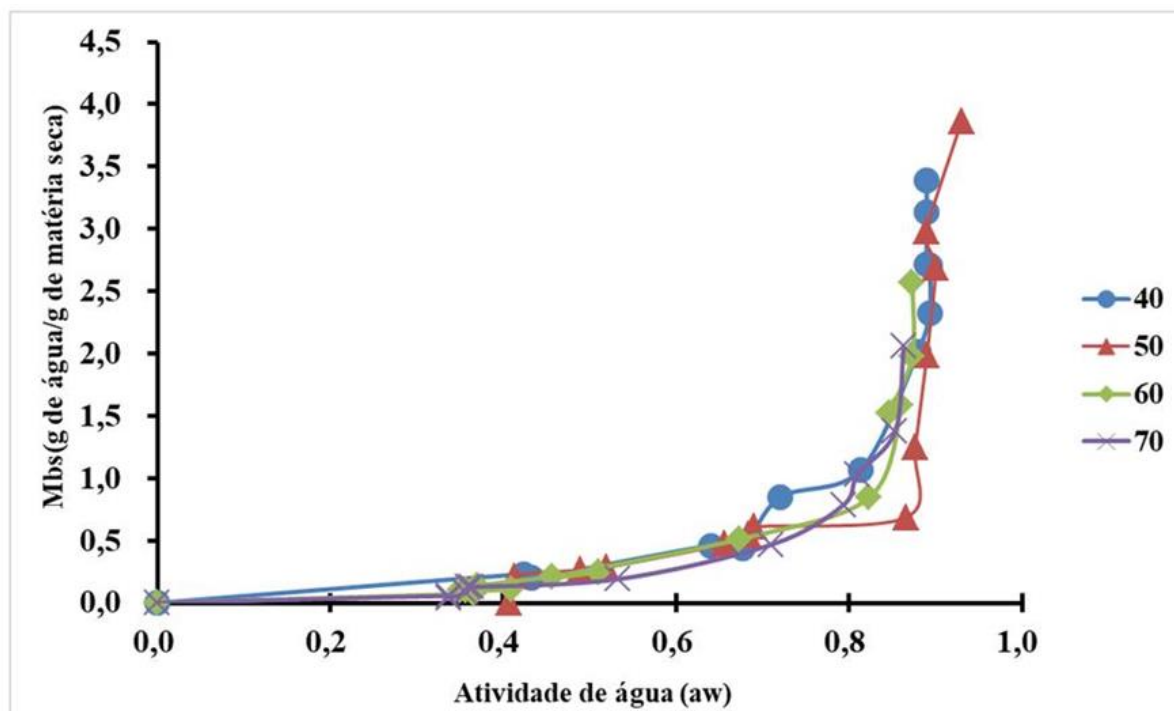


Figura 5. Isotermas de dessorção obtidas experimentalmente para quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) do resíduo do pseudofruto do caju em dezembro de 2021.

Modelagem matemática das isotermas de dessorção

Na Tabela 5, encontram-se os parâmetros de ajuste estimados obtidos por regressão não-linear para os modelos GAB, Halsey e Oswin e os parâmetros de ajuste das isotermas de dessorção do resíduo do pseudofruto do caju, em cada temperatura estudada, assim como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

O modelo de GAB apresentou valores de constante C bastante variável, entre 0,1933 a 410765,4, fato comum, uma vez que esta constante é mais susceptível às variações de temperatura, podendo ser também mais baixa quanto menor a temperatura. Já a constante k do modelo de GAB, está apresentada variando em torno de 1.

A região da monocamada representada pelo modelo de GAB apresenta valores com flutuações aleatórias dentro da faixa de 8,5915 a 85,6998, isto pode ser explicado pelo fato desta isoterma possuir pequena quantidade de pontos na região de baixa

umidade. Bitencourt et al. (2020) encontraram resultados semelhantes na determinação de umidade em monocamada do referido modelo, para as isotermas de dessorção de banana com coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,86 a 0,98.

De acordo com os resultados dos valores do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio percentual médio (P), dos modelos testados apenas o de Halsey descreveu satisfatoriamente as isotermas de dessorção do resíduo de caju, uma vez que seus coeficientes ficaram acima de 92,23% e o desvio percentual inferior ou igual a 11,4564, sendo a temperatura de 40 °C a mais indicada, com R^2 de 97,96% e um desvio de 2,9212 e o modelo de Halsey como mais adequado. Já os outros modelos apresentaram menores valores de coeficiente de determinação ($R^2 > 0,98$) e maiores valores de desvio percentual ($P < 10\%$), que predizem em razão de que quanto menor o P e maior o R^2 maior a precisão do modelo.

Em todas as temperaturas, verificou-se que com o aumento do teor de umidade de equilíbrio houve aumento da atividade de água,

demonstrando a influência do ambiente sobre a umidade das amostras.

Tabela 5. Parâmetros de ajuste estimados obtidos por regressão não-linear para os modelos GAB, Halsey e Oswin e parâmetros de ajuste das isothermas de dessorção do resíduo do pseudofruto do caju.

Oswin e parâmetros de ajuste das isotermas de adsorção de resíduos de peixe para o carvão.						
Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			R ²	P (%)
		<i>Xm</i>	<i>C</i>	<i>k</i>		
GAB	40	13,5921	410765,4	1,0694	0,9470	13,24
	50	85,6998	0,1933	0,9431	0,8618	11,96
	60	8,5915	18,3330	1,1055	0,9698	14,22
	70	10,8079	2,0310	1,0996	0,9812	19,38
Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros		R ²	P (%)	
		<i>a</i>	<i>b</i>			
Halsey	40	9,0800	0,7845	0,9796	2,92	
	50	13,4974	0,8570	0,9651	4,04	
	60	4,3200	0,6241	0,9649	6,72	
	70	3,0842	0,5455	0,9223	9,46	
Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros		R ²	P (%)	
		a	b			
Oswin	40	18,5441	1,29554	0,9382	18,6296	
	50	34,3316	0,96833	0,8577	16,0594	
	60	7,32300	1,76972	0,9449	17,3481	
	70	10,1378	1,59731	0,9699	28,4432	

Isotermas de dessorção para o modelo de GAB, Halsey e Oswin

São apresentadas as isotermas de dessorção de umidade a 40, 50, 60 e 70 °C com aplicação do

modelo de GAB (A), Halsey (B) e Oswin (C) do resíduo do pseudofruto de caju na Figura 6.

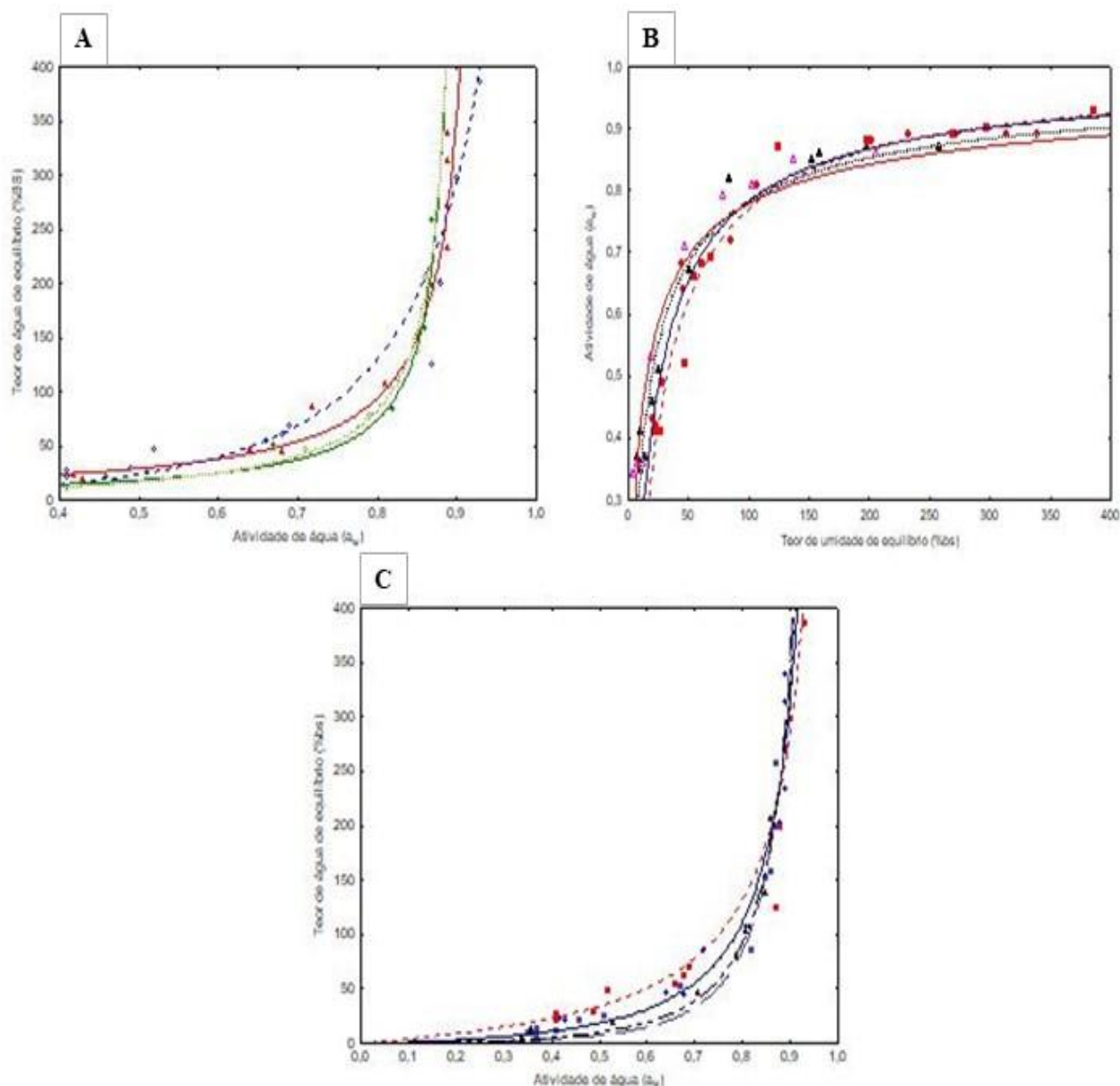


Figura 6. Isotermas de dessorção do resíduo do pseudofruto do caju, obtidas de maneira experimental em quatro temperaturas (40, 50, 60, 70 °C) e ajustadas pelo modelo de GAB (A), Halsey (B) e Oswin (C).

A taxa de dessorção é mais alta no início do processo, em todos os modelos ajustados,

principalmente devido à facilidade de redução da umidade.

Conclusões

O tempo de secagem dos resíduos estudados é diretamente influenciado pela temperatura a qual ele foi submetido.

A cinética de secagem do resíduo do pseudofruto do cajueiro, ocorre em taxa decrescente.

O processo de secagem minimiza os problemas ambientais e ao mesmo tempo proporcionar a obtenção de um produto com valor agregado com diversas aplicabilidades comerciais.

O modelo de Halsey representa melhor as isotermas de dessorção do resíduo do pseudofruto de cajueiro.

Trabalhos futuros para aplicação da farinha em produtos alimentícios, são promissores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, CNPq e FAPESQ pelo apoio financeiro e ao LTPA/UFPB pelo uso do espaço para realização da pesquisa.

Referências

- Alves, T.P., Nicoletti, J.F., 2016. Influência das variáveis de processo sobre a secagem osmoconvectiva de pimentão verde. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 10, 2022-2037. Ponta Grossa, PR. <https://doi.org/10.3895/rbta.v10n1.2014>
- Amaral, S.M.B., Bessa, M.J., Cavalcante, M.R.F., Freitas, F.N.F. de, Maia, M.B.V., Costa Júnior, R.A. da, Damaceno, M.N., 2021. Orange residues in the preparation of food products: A review. *Research, Society and Development*, 10, e0910615373. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15373>
- Bitencourt, M.A.F., 2020. Isotermas de dessorção, secagem e caracterização nutricional das amêndoas Idas Castanha-do-Brasil da região amazônica. Dissertação de Mestrado, Instituto Federal Goiano. Goiás, GO.
- Cagliari, A., Martiny, T., Nascimento, R., Morais, M., Da Rosa, G., 2022. Effects of different drying conditions on bioactive potential of Brazilian olive leaf. *Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos*, 25, 1-16. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.14721>
- Capriste, G.H., Rotstein, E., 1982. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. *Journal of Food Science*, 47, 1501-107. <https://doi.org/10.1111/j.1365.2621.1982.tb04070.x>
- Carvalho, J.M., Figueiredo, R.W., Sousa, P.H.M., Luna, F.M.T., Maia, G.A., 2017. Cashew nut oil: effect of kernel grade and a microwave preheating extraction step on chemical composition, oxidative stability and bioactivity. *International Journal of Food Science & Technology*, 53, 1-8. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13665>
- FAO. Food and Agriculture of the United Nations. Statistical Databases. 2020. http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country.
- Feitosa, B., Cunha, F., Félix, J., Aguiar, F. de, Fonseca Júnior, E., Correa, M., Otani, F., 2018. Umidade, cinzas e atividade de água em avium comercializado em Santarém, Pará. *Revista Agroecossistemas*, 10, 115-130. <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v10i1.5177>
- Ferreira, J.P.L., Queiroz, A.J.M., Figueirêdo, R. M.F., Silva, W.P., Gomes, J.P., Santos, D.C., Silva, H.A., Rocha, A.P.T., Paiva, A.C.C., Chaves, A.D.C.G., Lima, A.G.B., Andrade, R.O., 2021. Utilization of cumbeba (tacinga inamoena) residue: drying kinetics and effect of process conditions on antioxidant bioactive compounds. *Foods*, 10, 1-28. <https://doi.org/10.3390/foods10040788>
- Gadani, B., Milésky, K.M.L., Peixoto, L.S., Agostini, J.S., 2017. Physical and chemical characteristics of cashew nut flour stored and packaged with different packages. *Food Science and Technology*, 37, 657-662. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.27516>
- Granella, S., Christ, D., Bechlin, T., Werncke, I., 2019. Isotermas e calor isostérico de dessorção da água em sementes de trigo. *Engenharia na Agricultura*, 27, 304-312. <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i4.891>
- IEA. Instituto de Economia Agrícola, 2019. Dinâmica da Fruticultura Paulista: aspectos mercadológicos 2013-2017. *Análises e Indicadores do Agronegócio*, 14.
- Melo, C.F.A., Braga, F.F.S., Oliveira, H.A.L., Almeida, M.N., 2018. Desafios em uma propriedade familiar de produção de caju no interior do Nordeste. *Brazilian Journal of Development*, v. 4, n. 6, p. 3135-3146. <https://doi.org/10.34117/bjdv4n6-315>
- Morais, B.A., Lemos, L.S., Iunes, M.F., Miguel, S., Rodrigues, M.C.P., 2015. Elaboração e Análise sensorial de massa de pizza com farinha de amêndoas da castanha de caju, P. 3924-3930. In: XX Congresso Brasileiro De Engenharia Química. Anais... COBEC. Blucher Chemical Engineering Proceedings, 1, São Paulo: Blucher.
- Moreno, N.B.C., Silva, A. A., Silva, D.F, 2016. Análise de variáveis meteorológicas para indicação de áreas agrícolas aptas para banana e caju no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 9, 1-15 <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p001-015>
- Novaes, T.E.R., Novaes, A.S.R., 2021. Analysis of the medicinal potentials of cashew tree (*Anacardium occidentale* Linn): a brief review. *Research, Society and Development*, 10, e41810111838. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11838>.
- Prasantha, B.D., 2018. Prediction of moisture adsorption characteristics of dehydrated fruits

- using the GAB isotherm model. *Annals of Agricultural & Crop Sciences*, 3, 1-4. <https://www.researchgate.net/publication/329323722>
- Ribeiro Filho, N., Akepach, P., Alsina, O.L.S. de, 2013. Hygroscopicity and isosteric heat of cashew apple waste, non-fermented and fermented. *Food Bioscience*, 42, 1-40. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101103>
- Rodrigues, A.R.D.S.P., 2023. Potencial antioxidante, antimicrobiano, anti-inflamatória e antifúngica da *Anacardium occidentale* (Linn): Revisão de literatura. *Revista Colombiana de Ciências Químico-Farmacéuticas*, 52. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v52n1.105316>
- Sahie, L.B.C., Soro, D., Kone, K.Y., Assidjo, N.E., Yao, K.B., 2023. Some processing steps and uses of cashew apples: a review. *Food and Nutrition Sciences*, 14, 38-57. <https://doi.org/10.4236/fns.2023.141004>
- Santos, C.D., Menezes, R.C.R., Dal Bosco, S.M., 2021. Cheese bread rereading: Vegetarian version with olive flour. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 16, 159–163. <https://doi.org/10.18378/rvads.v16i2.8385>
- Santos, T., Abreu, J., Torres, T., 2020. Avaliação das características físico-químicas, atividade antioxidante e fenólicos totais da farinha do extrato da jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*). *Científica - Multidisciplinary Journal*, 7, 1-13. <https://ojs.revistas.unievangelica.edu.br/article/4730>
- Salve, V.A., Swami, S.B., 2023. Physico chemical and sensory evaluation of cookies supplemented with osmo convective dried cashew apple poder. *Journal of Agriculture Research and Technology*, 48, 319-323.
- Servent, A., Abreu, F.A.P., Dhuique-Mayer, C., Belleville, M., Dornier, M., 2020. Concentração e purificação por microfiltração de fluxo cruzado com diafiltração de carotenoides a partir de um subproduto do processamento de suco de caju. *Ciência de Alimentos Inovadores e Tecnologias Emergentes*, 66, 102519.
- Silva, P.B., Silva, S.N.S., Matos, J.D.P., Costa, Z. R.T., Gomes, J.P., 2018. Descrição da cinética de secagem de pimenta de cheiro por modelagem matemática. In: *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Anais... CONTEC*, Maceió, Alagoas, 4p.
- Vasconcelos, K.M.C.S.G., Costa, J.G., Pavao, J.M.S.J., Fonseca, S.A., Miranda, P.R.B., Matos-Rocha, T.J., Freitas, J.D., Sousa, J.S., Melo, I.S.V., Santos, A.F., 2023. Evaluation of nutritional composition of flour residue of mangaba processing. *Brazilian Journal of Biology*, 83. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.248931>