

ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE BACABA PARA A PRODUÇÃO DE PÓ

Misak da Silva da Ponte [1]; José Silva Castro [2]; Antonio Valdenilson Costa Morais [3]; Taciano Pessoa [4].

Resumo

A bacaba (*Oenocarpus bacaba*) é o fruto da Bacabeira, uma palmeira encontrada na região amazônica. Tem-se o objetivo de desenvolver o pó da polpa de bacaba pelo método em camada de espuma (*foam-meat*). A transformação do pó, visa a maior disponibilidade da fruta no mercado, pois, ela padece de perecibilidade. O desenvolvimento deste trabalho será realizado no Laboratório de Processamento de Alimentos do IFMA – Campus Zé Doca. Para chegar ao pó da polpa da bacaba foi necessário proceder a transformação da polpa *in natura* em espuma e em seguida realizar a secagem. A secagem foi realizada em estufa de circulação de ar, sob temperaturas de 50, 60 e 70 °C, em bandejas, na espessura de 1,0 cm, os dados da cinética de secagem foram obtidos, a partir da pesagem das bandejas em balança semianalítica, até as amostras apresentarem peso contante. Após a obtenção dos dados de secagem, eles foram aplicados aos modelos matemáticos visando a determinação da equação que melhor representa o processo na obtenção do pó. Dentre os modelos escolhidos, o que melhor representou tal processo foi de Midilli, com valores equilibrados nos coeficientes (X^2 , DQM, R^2) usados para determinar o melhor modelo de ajuste.

Palavras-Chaves: *Foam met.* Perecibilidade. Equações matemáticas.

Financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA)

[1] Acadêmico do Curso de Licenciatura em Matemática do IFMA do Campus Zé Doca; E-mail: m1s4kjr@gmail.com

[2] Tecnólogo em alimentos do IFMA do Campus Zé Doca; E-mail: silvacastrojose38@gmail.com;

[3] Tecnólogo em alimentos do IFMA do Campus Zé Doca; E-mail: valdenilsongnf@gmail.com.

[4] Professor do Curso de Tecnologia de Alimentos do IFMA do Campus Zé Doca; E-mail: taciano.pessoa@gmail.com

Introdução

A bacaba (*Oenocarpus bacaba*) é o fruto da bacabeira, família da Arecacea, uma espécie de palmeira, característica da região amazônica com grande destaque para os estados do Amazonas e Pará, também encontrada com facilidade no estado do Maranhão (Nascimento, 2018).

A bacaba pode ser classificada como um “superalimento”, por apresentar em sua composição componentes bioativos, potencialmente benéficos à saúde humana. Como disposto por Fernandes (2015), a ingestão desse fruto pode atuar na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis como a diabetes, doenças cardiovasculares e câncer. Cól *et al.* (2018) ao caracterizarem os compostos constituintes da polpa da bacaba, constataram variados elementos com potenciais nutritivos - carboidratos, proteínas e lipídeos - assim como características antioxidantes e funcionais - fibra, ácidos graxos e compostos fenólicos, apresentando importante características nutricionais.

Apesar da fruta apresentar grande potencial nutritivo, seu consumo se restringe ao âmbito regional, sendo utilizado basicamente em substituição ao açaí, principalmente no período de entressafra.

De acordo com Mineli (2020), a produção e consumo desses produtos devem ser estimulados entre a comunidade local e pode contribuir para a população de baixa renda obter uma nutrição rica e saudável, assim como, fonte de renda para ela. Porém, para implementação desses produtos no mercado deve-se levar em consideração a perecibilidade da matéria-prima, as perdas pós-colheita, bem como, a sazonalidade dos frutos.

No entanto, devido à gama dos compostos presentes na bacaba, esse fruto está sujeito a sofrer degradações durante o processamento e/ou armazenamento, com isso torna-se necessário a implementação de técnicas que permitam a conservação das propriedades nutricionais e sensoriais dos produtos alimentícios (Cól *et al.* 2018).

Para tanto, isto é, obter o pó da polpa da bacaba visando a diminuição da perecibilidade, é usado o método de secagem de espuma, que consiste na transferência de calor e massa, em que as altas temperaturas removem o sumo líquido do alimento. Esse processo é minuciosamente assistido para a obtenção dos dados que representam a secagem. Após a posse dos dados que mostram como ocorre o fenômeno, eles são submetidos à modelagem matemática, que visa descrever de forma mais precisa (econômica e rápida) o processo em questão. Os modelos matemáticos em que os dados

são submetidos, são analisados a partir de seus resultados para os coeficientes X^2 , DQM e R^2 , do qual, o que obter melhor equilíbrio em todos os coeficientes, é o que melhor descreve a secagem. Os modelos matemáticos escolhidos para encontrar qual função matemática melhor se adequa aos resultados na obtenção do pó da polpa da bacaba, são os de Henderson e Pabis, Page, Midilli, Logarítmico e Cavalcanti e Mata (Araújo, *et al.*, 2017; Sousa *et al.*, 2011; Gomezcaceres, 2013).

Metodologia

O presente estudo caracterizou-se como de natureza básica, de cunho científico dedutivo, com propósito de observação exploratória e procedimento técnico experimental. Sendo assim, fundamentado a esses segmentos, este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Processamento de Alimentos do Instituto Federal do Maranhão, Campus Zé Doca.

• Obtenção da Espuma

Para a obtenção do pó de bacaba, foi necessário que ocorresse a transformação da polpa em uma espuma estável, que em seguida foi submetida ao processo de secagem. Inicialmente, foi incorporado, à polpa de fruta, os aditivos: Emustab (emulsificante) e Superliga Neutra (estabilizante), nos percentuais de 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0% para cada aditivo, de acordo com a quantidade da polpa utilizada no batimento.

Para definir a melhor formulação da espuma foram utilizados os parâmetros: densidade da espuma por picnômetro; expansão volumétrica ou *over-run*, de acordo com a equação proposta por Fellows (2006) e a estabilidade das espumas pela técnica preconizada por Baptista (2002), de acordo com os tempos de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, durante o batimento em batedeira doméstica.

Após definida a melhor formulação, essa espuma produzida foi disposta em bandejas de aço inoxidável, numa espessura média de 1,0 cm. Em seguida foi submetida a secagem através de uma estufa com circulação de ar, nas temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C. Os produtos foram secos, retirados das bandejas e triturados/homogeneizados em processador doméstico para se obter os pós e acondicionados em embalagens laminadas para posterior caracterização, onde foram avaliados os mesmos parâmetros que foram determinados para a polpa *in natura*.

- **Cinética de Secagem e modelagem matemática**

As amostras foram monitoradas quanto a perda de água nas temperaturas definidas, através de pesagens em tempos regulares de 5, 10, 20, 30 e 60 minutos, até atingirem massa constante.

Foram construídas as curvas de cinética de secagem em função dos tempos de secagem e os teores de água presente nas amostras.

A partir dos dados experimentais de secagem foram calculados os valores da razão de teor de água de acordo com a Equação 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX: razão de teor de água do produto, adimensional;

X; teor de água do produto (b.s.);

X_i: teor de água inicial do produto (b.s.);

X_e: teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Para a análise e a representação dos dados experimentais da secagem, serão submetidos aos ajustes dos modelos matemáticos semiteóricos de Cavalcanti Mata, Henderson & Pabis, Logarítmico, Midilli e Page.

As determinações dos parâmetros dos modelos foram obtidas por análise de regressão linear, empregando-se o método numérico Quasi-Newton, mediante aplicação dos dados no Software Statistica 7.0.

Os critérios preliminares de seleção do modelo com melhor ajuste foram: coeficiente de determinação (R²), desvio quadrado médio (DQM) e o qui-quadrado médio (χ²).

Resultados e Discussão

- **Cinética de secagem**

Posta às temperaturas de 50, 60 e 70 °C, polpa obteve os seguintes resultados de secagem em função do tempo: à temperatura de 50 °C necessitou de tempo máximo de 1170 minutos para a sua estabilidade quanto a eliminação de água, enquanto para a temperatura de 60 °C demandou de 1050 minutos e na temperatura de 70 °C precisou de

810 minutos. A sistematização desses comportamentos permitiu avaliar o panorama da máxima eliminação do teor de água fatorado por cada tempo de secagem até a chegada do ponto de equilíbrio, dando origem ao pó.

Conforme observação, percebe-se que o período de secagem exerce influência sobre o processamento, onde a desidratação da polpa de bacaba a partir de maiores temperaturas de secagem favoreceu uma redução do tempo de exposição ao ar aquecido, possibilitando a indicação de até 1,1 vezes mais tempo para realizar da desidratação a 50°C em comparação à temperatura de 60 °C e/ou 1,4 vezes mais tempo na comparação das temperaturas de 50 °C com 70 °C. Comportamentos parecidos foram observados por Pinto (2012) para a secagem da polpa de pequi e Cruz (2013) ao submeter a polpa da goiaba (*Psidium guajava L.*) ao processo de secagem, que pontuaram a redução do período de secagem mediante a elevação da temperatura de processamento, caracterizando tal processo como inversamente proporcional.

- **Modelagem matemática**

A partir dessa realização foi possível determinar as curvas de secagem do processamento da desidratação da polpa de bacaba mediante o auxílio de modelos matemáticos. A modelagem matemática inferiu acompanhar a transferência da umidade que ocorre do interior até a evaporação na superfície.

Para estabelecer a modelagem da polpa da bacaba foram determinados três (3) coeficientes, sendo eles: o coeficiente de determinação (R^2); Desvios Quadráticos Médios (DQM); e por fim o teste qui-quadrado médio (X^2).

A modelagem matemática dos dados experimentais das secagens da polpa de bacaba para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, mediante modelos não-lineares, estão plotados na Tabela 3.

No que tange ao coeficiente de determinação (R^2), quanto mais próximo de 100% estiver o percentual, melhor é considerado a eficiência do modelo matemático para a predição do processo de secagem (Teixeira *et al.*, 2012). Desse modo, pode-se perceber a boa satisfação de todos os modelos matemáticos aplicados no presente estudo, onde os coeficientes de determinação, para todas as temperaturas (50, 60 e 70 °C), mantiveram médias superiores a 96,01%. Valores semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (2014) na secagem de grãos de guandu.

Nota-se a partir dos dados da Tabela 2, que alguns dos modelos tal parâmetro dispõe de variação, destacando-se em uns positivamente e em outros negativamente.

Dentre os modelos estudados, o que apresentou maior valor de R^2 foi Cavalcanti Mata, com 99,63%, sendo este na temperatura de 70 °C. O modelo de Midilli também apresentou um bom resultado, com o valor de R^2 de 99,60%, também para a temperatura de 70°C, porém em virtude da complexidade do modelo devido maiores quantidades de variáveis, pode-se deduzir que este modelo não seja o melhor descritor da secagem, quando comparado com valores tão próximos quanto ao representado por Midilli. Já na observação dos menores valores de R^2 , o modelo de Page dispôs da menor média, com 96,01% quando na temperatura de 50 °C. O comportamento deste estudo vai de encontro ao observado por Santos (2019) para a secagem da polpa de patauá, onde notou-se que o modelo de Midilli sobressaiu sobre os demais modelos analisados.

Na modelagem matemática, para que se consiga uma excelente confiabilidade na determinação de um dado modelo, não se deve recorrer apenas ao R^2 como agente determinante, sendo ainda preciso utilizar-se dos desvios quadráticos médios (DQM) (Elpídio, 2021). Este coeficiente aguça a escolha do melhor modelo a partir do menor resultado obtido após a aplicação dos dados às equações, o que garante maior precisão da ajustagem ao modelo. Assim, os dados obtidos dos desvios quadráticos médios estão dispostos na Tabela 2. Pôde-se perceber valor de DQM menor que 0,01 para todas as temperaturas (50, 60 e 70 °C) e em todos os modelos estudados, o que indica positivo grau de adequação dos modelos.

No entanto, o modelo de logarítmico foi o que estabeleceu os melhores valores (0,0000), acompanhado pelo modelo de Midilli, com o menor resultado constatado à temperatura de 70 °C (0,0002). Esse comportamento compara-se com o estudo feito por Silva *et al.* (2014), onde em suas modelagens todos os valores de DQM foram inferiores a 0,0022, estabelecendo assim ótima confiabilidade descritiva aos modelos destacados.

Ao avaliar os dados referente ao teste qui-quadrado médio (X^2), quanto mais reduzido for o valor apresentado para este coeficiente melhor será o ajuste às condições experimentais do modelo, pois o coeficiente X^2 mensura as discrepâncias entre os valores reais e os presumidos, logo quanto menor for a diferença, mais adequada é a modelagem (Jorge, 2019).

Desse modo, para o presente estudo, o menor valor de X^2 foi obtido pelo modelo de Midilli, com média de 0,00143 para a temperatura de 70 °C, enquanto o maior valor de X^2 foi apresentado pelo modelo de Page, com média de 0,074 para a temperatura de 50 °C.

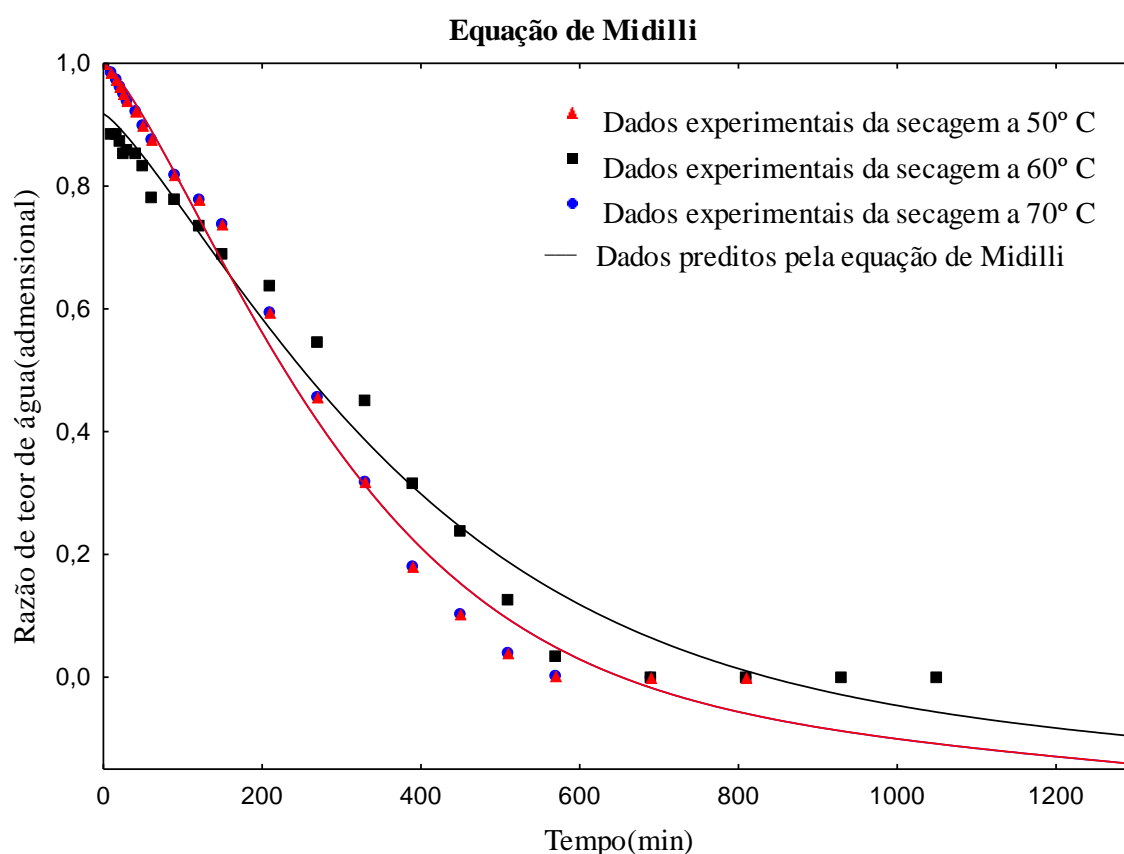
Tabela 2 – Coeficientes de determinação (R^2), Desvios Quadráticos médios (DQM), qui-quadrado médio (χ^2) e parâmetros das equações de Page, Henderson e Pabis, Midilli, Logarítmico, e Cavalcanti Mata, obtidos por regressão não linear da secagem em camada de espuma da polpa de bacaba, sob temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Modelo Matemático	Temperatura de secagem	Parâmetros dos modelos matemáticos	R^2	DQM	χ^2
Page	50 °C	k: 0,004192; n:0,925786;	96,01%	0,0063	0,0074
	60 °C	k: 0,001566; n:1,118394	98,05%	0,0058	0,00529
	70 °C	k: 0,000351; n: 1,402433	99,49%	0,0020	0,00165
Henderson e Pabis	50 °C	a: 0,909809; k:0,002354	97,25%	0,0021	0,0051
	60 °C	a: 0,968471; k:0,002983	98,04%	0,0024	0,00531
	70 °C	a: 1,067756; k:0,003724	98,23%	0,0027	0,00573
Midilli	50 °C	a:0,888046; K:0,000765; n:1,205587; b:0,000059	97,22%	0,0016	0,00563
	60 °C	a:0,917901; K: 0,000523; n: 1,264258; b:-0,000082	99,11%	0,0002	0,00267
	70 °C	a: 0,999889; K: 0,000440; n: 1,341994; b-0,000106	99,60%	0,0004	0,00143
Logarítmico	50 °C	a: 1,236966; k: 0,001297; c:-0,350844	98,40%	0,0000	0,00314
	60 °C	a: 1,183729; k: 0,001934; c:-0,237290	98,85%	0,0000	0,00326
	70 °C	a: 1,356979; k: 0,002241; c:-0,318011	99,18%	0,0000	0,00280
Cavalcanti Mata	50 °C	a1: 0,908308; a2: 0,000525; a3: 0,579010; a4:0,998732 a5: 1,187520; a6 -1,03451	98,62%	0,0004	0,00304
	60 °C	a1: 1,104525; a2: 0,000511; a3: 1,220359; a4: 1,092941 a5: 0,516029; a6:-1,25361	98,73%	0,0053	0,00425
	70 °C	a1:0,493540; a2: 0,000383; a3:0,682967; a4:1,082951 a5: 1,346608; a6:-0,589192	99,63%	0,0008	0,00149

- **Ajustes dos modelos**

As curvas de secagem dos dados experimentais da desidratação de espuma da polpa de bacaba nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e calculadas com a equação de Midilli estão na Figura 3. Para este modelo as curvas indicaram desempenhos bem profícuos para todas as temperaturas, apresentando valor de R^2 maiores que 97,22%, média de DQM menores de 0,0016 e X^2 abaixo de 0,00563. Constatou-se para os determinantes “k” e “n”, que remetem a constância da taxa e secagem e a resistência interna do material secante, respectivamente (Ferreira, 2017), mínimas oscilações mediante as temperaturas empregadas, enfatizando assim a excelente adequação da modelagem.

Figura 1 - Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da espuma polpa de bacaba secada em estufa com circulação de ar, pela Equação de Midilli, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.



Fonte: Próprio autor (2024)

Conclusões

- O aumento da temperatura, influenciou na remoção mais rápida do teor de água da espuma de bacaba, o que demonstra menores tempos de secagem para as temperaturas mais altas;
- O tempo de secagem da espuma de bacaba para as temperaturas de secagens de 50, 60 e 70 °C, foram de 19,5; 17,5 e 13,5 horas, respectivamente;
- A equação de Midilli, apresentou melhores ajustes, pois apresentaram valores de R^2 superiores a 97,22%, DQM menores de 0,0016 e X^2 abaixo de 0,00563, para o estudo de secagem em camada de espuma de polpa de bacaba em estufa com circulação de ar.

Referências

BAPTISTA, Rami Fanticelli. **Avaliação da qualidade interna de ovos de codorna (*Coturnix coturnix japonica*) em função da variação de temperatura de armazenamento**. 2002. Dissertação (Pós-Graduação em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/18033>. Acesso em: 25 ago. 2020.

CRUZ, Welliton Fagner da. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2013. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

DE CÓL, Carla Dettenborn; UTPOTT, Michele; FLÔRES, Simone Hichmann; RECH, Rosane. Composição centesimal da polpa de bacaba (*Oenocarpus bacaba*) liofilizada. In: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR, 6., 2018, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: FAURGS, 2018. Disponível em: http://www.schenautomacao.com.br/ssa/envio/files/122_arqnovo.pdf. Acesso em: 12 ago. 2021.

ELPÍDIO, Cinthia Meirelly de Araújo. **Secagem de ameixa pelo método de camada de espuma: otimização dos parâmetros e caracterização do produto**. 2021. Tese (doutorado) – Universidade federal de Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Natal, RN, 2021.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas**. Tradução Florencia Clandera Oliveira. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERNANDES, Erlane da Rocha. **Conservação da polpa de bacaba (*Oenocarpus bacaba*) por tecnologia de obstáculos**. 2015. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/287/1/Erlane%20na%20Rocha%20Fernandes%20-%20Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2021.

FERREIRA, Mário Nogueira. **Estudo da secagem de jabuticaba (polpa e casca) pelo método de camada de espuma**. 2017. 105 p. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/7962/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o>

GOMEZCACERES PEREZ, L., OLIVEIRA, F. M. N. de ., ANDRADE, J. S., & MOREIRA FILHO, M.. (2013). Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, 44(1), 102–106. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100013><https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/viewFile/6559/6529>. Acesso em: 14 ago. 2020.

MINELI, Michelle Marinho dos Santos. **Desenvolvimento de geleia com resíduo do processamento da bacaba (*Oenocarpus bacaba*)**. 2020. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/2354>. Acesso em: 15 ago. 2021.

NASCIMENTO, Rafael Alves do. **Avaliação experimental da secagem de polpa de bacaba (*Oenocarpus bacaba* mart.) em leito de jorro**. 2018. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: <https://www.ppgeq.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2017/PPGEQ-2017/Rafael%20Alves%20do%20Nascimento/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Final%20Rafael%20Alves%20do%20Nascimento.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2021.

PINTO, M. R. M. R. **Obtenção de extratos de carotenoides de polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) encapsulados pelo método de secagem em camada de espuma**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.

SANTOS, D. da C.; COSTA, T. N. da.; FRANCO, F. B.; CASTRO, R. da C.; FERREIRA, J. P. de L.; SOUZA, M. A. da S.; SANTOS, J. C. P. (2019). Cinética de secagem e propriedades termodinâmicas da polpa de pataú (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Brazilian Journal of Food Technology**, 22, e2018305. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.30518>.

SILVA, Luzia Marcia de Melo et al. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. **Brazilian Journal of Food Technology** [online]. 2014, v. 17, n. 4 [Acesso em: 03 Setembro 2024], pp. 310-318. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.3014>.

SOUSA, K. A. de ., RESENDE, O., CHAVES, T. H., & COSTA, L. M.. (2011). Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, 42(4), 883–892. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400009>

TEIXEIRA, L. P. et al. **Determinação do equilíbrio higroscópico e do calor isostérico da polpa e da casca do abacaxi**. *Engvista*, 14(2), 2012.