

Avaliação Reológica dos Pós Reconstituídos de Polpa de Manga Obtidos da Secagem em Leito de Espuma

Rheological Evaluation of Reconstituted Powders of Mango Pulp Submitted to Foam-Mat Drying

Leandro Fagundes Mançano^{1*}, Sérgio Henriques Saraiva², Gabriel Henrique Horta de Oliveira³

RESUMO

A manga é uma das frutas de maior importância, devido às suas características sensoriais e nutricionais, apresentando consumo na forma *in natura*, bem como em polpa e derivados. Porém, neste último caso, o uso de aditivos ou de elevadas temperaturas em seu processamento, altera-se suas características. A secagem em leito de espuma permite uma menor perda dessas características, em função do uso de menores temperaturas. O pó oriundo desse processo é utilizado na indústria para formulação de sucos, doces, dentre outros gêneros alimentícios. Dessa forma, o presente trabalho objetivou avaliar a reologia do néctar da polpa de manga reconstituído com o pó, em diferentes formulações (2 a 10%, m/v). Um viscosímetro foi utilizado para a análise, após a secagem da polpa a 60°C. Verificou-se um ajuste adequado do modelo da Lei da Potência aos dados reológicos experimentais, com um R² acima de 0,98. Após a realização da análise do comportamento reológico, observou-se para todas as formulações da bebida reconstituída um comportamento de fluido pseudoplástico. Isso indica que a prática de secagem em leito de espuma é viável para manter propriedades reológicas da polpa de manga.

Palavras-chave: Viscosidade. Desidratação. Comportamento do fluido. Modelagem matemática. manga Haden.

ABSTRACT

Mango is one of the most important fruits due to its sensory and nutritional characteristics, and can be consumed in its natural form, as well as in pulp and powder form. However, in the latter case, the use of additives or high temperatures in its processing alters its characteristics. Foam-mat drying allows for less loss of these characteristics, due to the use of lower temperatures. The powder resulting from this process is used in the industry to formulate juices, sweets, among other foodstuffs. Thus, the present study aimed to evaluate the rheology of mango pulp nectar reconstituted with powder, in different formulations (2 to 10%, m/v). A viscometer was used for the analysis, after drying the pulp at 60°C. An adequate fit to the Power Law model was observed with the experimental rheological data, with an R² above 0.98. After performing the analysis of the rheological behavior, a pseudoplastic fluid behavior was showed for all formulations of the reconstituted beverage. This indicates that the practice of foam-mat drying is feasible to maintain the rheological properties of mango pulp.

Keywords: Viscosity. Dehydration. Fluid behavior. Mathematical modeling. Haden mango.

*Autor correspondente

¹ Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Rio Pomba, Rio Pomba (MG), Brasil. (ORCID: 0000-0003-4617-2070)

E-mail: leandro.mancano@cefet-rj.br.

² Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, Alegre (ES), Brasil. (ORCID: 0000-0003-0158-9155)

³ Doutor em Engenharia Agrícola. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Manhuaçu, Manhuaçu (MG), Brasil. (ORCID: 0000-0002-6066-9262)

1. INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta importante no mercado mundial devido às suas características sensoriais e nutricionais, sendo consumida tanto *in natura* como na forma de produtos derivados, tais como sucos, néctares, doces em massa, conservas e geleias (LIU et al., 2019). No Brasil, as variedades em destaque econômico são a Haden, Palmer, Tommy Atkins, Rosa, Espada, Keitt, Kent e Van Dike (ARAÚJO; MORAES; DE CARVALHO, 2017; GUERRA, 2020). O processamento de manga para a obtenção da polpa é uma boa alternativa para a redução de perdas pós-colheita, melhorando seu aproveitamento (BARRÓN-GARCÍA et. al., 2022).

O elevado teor de água das polpas de frutas, tornam-na bastante perecíveis, sendo necessário o emprego da refrigeração e congelamento; porém, esses processos possuem elevado custo pela produção contínua do frio. Alternativamente, a desidratação é uma forma interessante de aumentar a sua conservação, devido à redução da atividade de água. Ainda, diminui os custos com transporte e armazenamento, em função do menor volume do produto (FELLOWS, 2019). Nesse sentido, a desidratação em leito de espuma tem sido utilizada para a secagem de alimentos sensíveis ao calor, pois esses são transformados numa espuma estável, com posterior secagem ao ar aquecido. Isso garante redução do tempo e temperatura de secagem, diminuindo os custos, obtendo-se um produto poroso e de fácil reidratação, comparado com o método convencional (CÓL et al., 2021; EL-SALAM et al., 2021; PANATO; MULLER, 2022).

Levando em consideração a propriedade reológica na indústria de polpas, esta é de suma importância para o processamento, por ser uma medida de controle de qualidade, avaliações sensoriais, estabilidade e aceitação dos produtos pelos consumidores (FEITOSA et al., 2018; MENDOZA; GUERRERO; HERRERA-CHÁVEZ, 2021). A reologia pode ser definida como a ciência que estuda o fluxo e a deformação de sólidos e fluidos sob influência de forças mecânicas (STEFFE, 1996; RAO, 2013).

Deve-se destacar que este parâmetro pode ser influenciado por condições de processamento, como a secagem, que modifica a composição química do alimento, bem como o emprego de aditivos emulsionantes, produtos estes que alteram as propriedades tensoativas (FELLOWS, 2019; GAYATHIRI et al., 2022). Como durante a secagem em leito de espuma são empregados temperaturas e aditivos, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento do escoamento da bebida reconstituída com o pó elaborado a partir da polpa de manga secada em leito de espuma.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As mangas da variedade Haden foram obtidas no comércio da cidade de Alegre e transportadas até o Laboratório de Tecnologia de Produtos Agrícolas (TPA) da Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Alegre – Brasil, para serem processadas. As frutas foram inicialmente selecionadas, lavadas e sanitizadas para a redução da carga microbiana superficial, sendo posteriormente selecionadas, removendo-se aquelas impróprias ao processamento. Em seguida, foram descascadas e a parte carnosa triturada em um liquidificador (Philips Walita) na presença de água (proporção de 13:1 – fruta:água), conforme teste preliminar. O material obtido foi, então, filtrado para a remoção de partes fibrosas com peneira em aço inox a 18 MESH de abertura, obtendo-se a polpa. A polpa foi tratada termicamente a 95°C durante um minuto e mantida congelada a -18 °C até posterior utilização.

2.1 Produção das espumas

O preparo das espumas foi realizado conforme procedimento elaborado por Mançano et al. (2018), em que a mistura de polpa de manga e aditivo (4,05% de Emustab e 2,05% de albumina) foi submetida à agitação constante durante 30 minutos em batedeira planetária da marca Arno (modelo Deluxe), na velocidade máxima do equipamento (214 rpm). Esta formulação foi determinada em estudos preliminares elaborado por Mançano et al. (2018), por ser aquela em que se otimizava a estabilidade, densidade e custo para a obtenção da espuma.

2.2 Desidratação da polpa de manga

A espuma da polpa de manga Haden foi submetida à secagem na temperatura de 60 °C por 6 horas ininterruptas, utilizando-se um secador de bandejas com circulação forçada de ar e controle de temperatura digital, conforme executado por Mançano et al. (2018).

2.3 Avaliação do comportamento reológico da bebida após reconstituição

A proporção de polpa seca em água variou de 2, 4, 8 e 10 %, adicionando açúcar e maltodextrina a 0,5% na solução até atingir um teor de sólidos solúveis de 11 °Brix, sendo medido com um refratômetro de bancada (Instrutherm modelo RTC-100). A solução foi

homogeneizada em liquidificador (Philips Walita) em sua máxima velocidade (23000 rpm) por 1 minuto.

As curvas de escoamento (tensão de cisalhamento versus taxa de deformação) foram obtidas utilizando um viscosímetro digital da marca Brookfield (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Stoughton, EUA). O tempo de corrida para cada ensaio foi de 2 minutos, completando um total de 20 pontos, com a rotação variando de 10 a 200 rpm. Os dados reológicos obtidos foram submetidos a regressão não linear para verificar o ajuste do modelo da Lei da Potência (Equação 1) a estes dados experimentais.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Em que, “ τ ” é a tensão de cisalhamento, Pa; “ K ” é o índice de consistência, Pa.s; “ $\dot{\gamma}$ ” é a taxa de deformação, s⁻¹; “ n ” é o índice de comportamento do fluido, adimensional.

2.4 Análise Estatística dos dados

O delineamento utilizado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com três repetições e, para a modelagem, os dados experimentais reológicos de cada proporção de pó em água foram submetidos à regressão não linear utilizando o *software* livre R.

3. RESULTADOS

Na Tabela 1, estão apresentados os modelos ajustados para a Lei da Potência em diferentes concentrações, na temperatura de 60°C, assim como os respectivos coeficientes de determinação (R²).

Tabela 1. Modelos reológicos ajustados e seus respectivos coeficientes de determinação (R²).

Tratamento	Modelo ajustado	R ²
2%	$\tau = 0,1165\dot{\gamma}^{0,5304}$	0,9960
4%	$\tau = 0,5457\dot{\gamma}^{0,3701}$	0,9980
8%	$\tau = 3,2275\dot{\gamma}^{0,2533}$	0,9989
10%	$\tau = 5,4838\dot{\gamma}^{0,2132}$	0,9925

Fonte: elaborado pelos autores

Ao analisar os modelos demonstrados na Tabela 1, notou-se que, para todos os casos, os valores de coeficientes de determinação (R²) foram superiores a 0,98, indicando

que o modelo da Lei da Potência apresentou bons ajustes aos dados experimentais.

Além disso, percebeu-se em todas as formulações da bebida um comportamento de fluido pseudoplástico, caracterizado por valores de "n" (índice de comportamento do fluido) inferior à unidade. Tal resultado também foi observado por Raj, Hulle e Dash (2022) em seu estudo sobre a influência da concentração da polpa de pitaya reconstituída após secagem por liofilização.

Verificou-se também uma tendência de redução do parâmetro "n" em função do aumento da concentração do pó da polpa de manga em água, uma vez que a bebida produzida com 2% de polpa em pó apresentou um valor de "n" de 0,5304, enquanto aquela produzida com 10% demonstrou um resultado menor (0,2132). Além disso, observou-se uma elevação no parâmetro "k" (índice de consistência) com o acréscimo da concentração do pó da polpa seca em água.

Na Figura 1 estão apresentados os reogramas do suco reconstituído de manga em diferentes concentrações de pós.

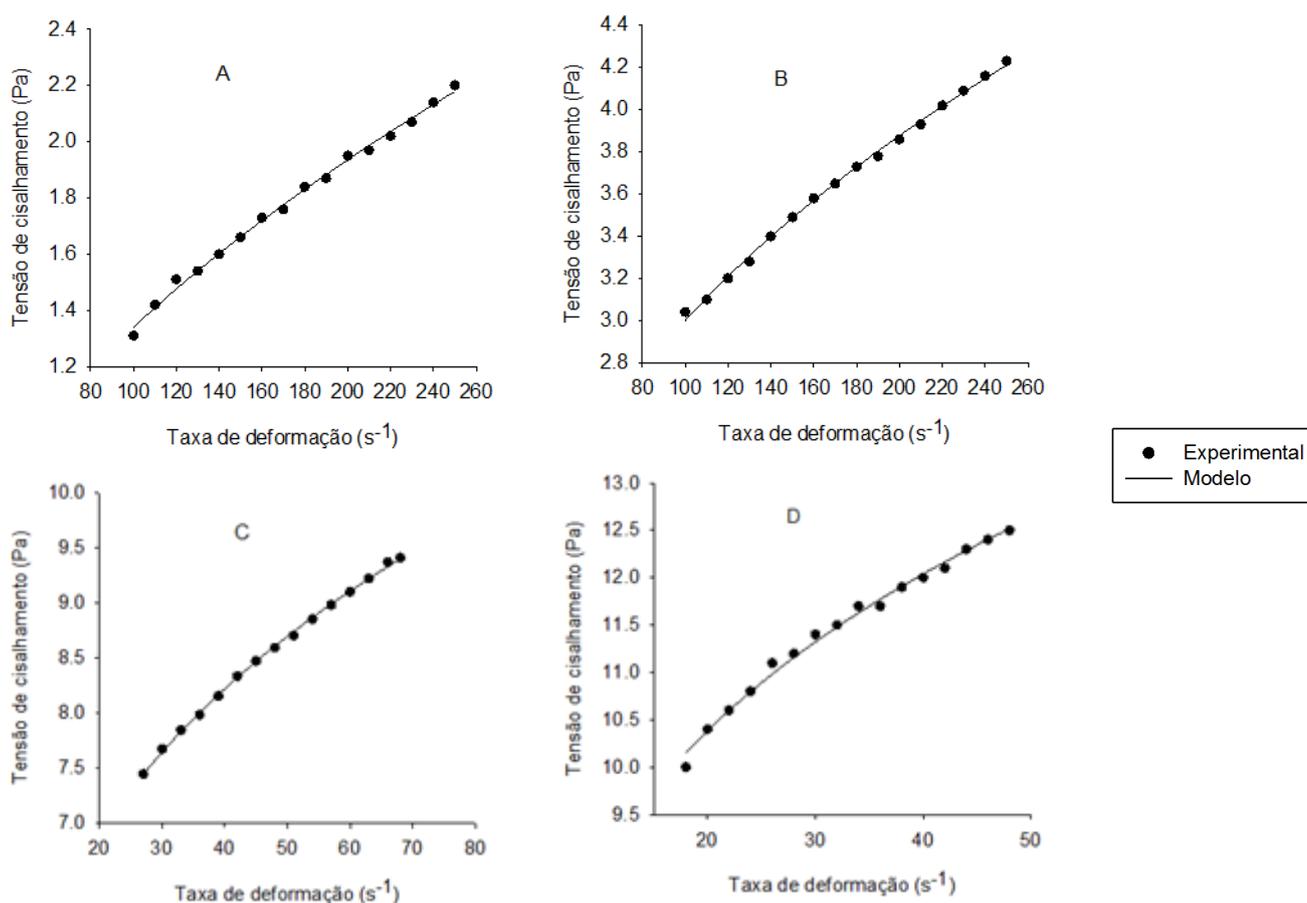


Figura 1. Reogramas para os diferentes tratamentos testados: A: 2%; B: 4%; C: 8%; D: 10%.

Fonte: elaborado pelos autores

A partir dos resultados da Figura 1, percebe-se que a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação do fluido, independentemente da concentração do pó da polpa de manga em água, característica típica de fluidos pseudoplásticos.

Como foi percebido um incremento nos resultados índice de consistência (k) e decréscimo no índice de comportamento do fluido (n) (Tabela 1), estimados pelo modelo Lei da Potência, em função do aumento da concentração em água da polpa de manga em pó, foi possível correlacionar estes parâmetros reológicos com a concentração, por meio de regressão linear. Tal modelo generalizado obtido está apresentado na Equação 2.

$$\tau = (0,0761C^2 - 0,2427C + 0,2978) \times \dot{\gamma}^{-0,0376C + 0,5671} \quad (2)$$

Em que, C é a concentração do pó reconstituído, em porcentagem (%).

Obtido o modelo generalizado, foi possível representar graficamente o comportamento da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação e da concentração do pó em água por meio de um plano cartesiano de três eixos (superfície de resposta). Assim, o comportamento da tensão de cisalhamento em função da elevação da taxa de deformação (100 a 250 s⁻¹) e do aumento da concentração de polpa em pó em água (2 a 10 %) está demonstrado na Figura 2.

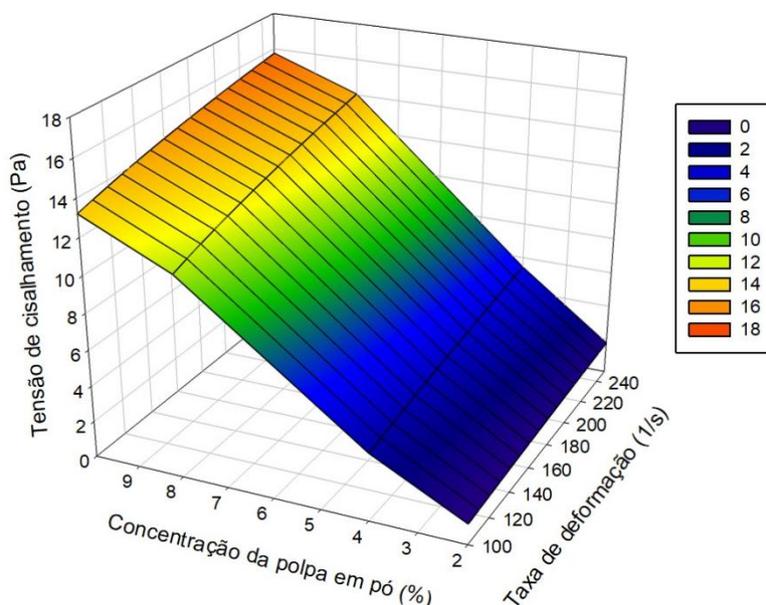


Figura 2. Modelo reológico generalizado em função da concentração e seu respectivo coeficiente de determinação (R²).

Fonte: elaborado pelos autores

4. DISCUSSÃO

De acordo com Faraoni et al. (2013), menores valores do índice de comportamento do fluido, observados na Tabela 1, demonstram um efeito pseudoplástico mais acentuado. Pois, conforme cita Rao (2013), essa ocorrência está associada à transformação e fragmentação das estruturas compostas por fibras presentes na polpa, quando submetidas a um aumento na tensão de cisalhamento.

Mubarok e Ananda (2020) conduziram um estudo investigando o impacto da concentração de farinha de poranga nas propriedades reológicas do ketchup. Os resultados encontrados pelos autores não mostraram influência no índice de comportamento do fluido em função do aumento da concentração, em relação ao modelo ajustado de Herschel-Bulkley. Em contrapartida, o modelo da lei da potência apresentou uma elevação no valor de "n" com a elevação da concentração.

Como o índice de consistência (k) representa a viscosidade aparente de um fluido não newtoniano, os resultados obtidos no presente experimento (Tabela 1) confirmam as expectativas para esse parâmetro. Com isso, com o aumento da concentração do pó secado em leito de espuma em água torna o fluido mais consistente, resultando em maiores valores de "k", conforme verificado por Melo et al. (2020).

Analisando o comportamento reológico das amostras na Figura 1 e comparando-a com as curvas reológicas de Fellows (2019), é evidente uma relação entre a tensão de cisalhamento e o aumento da taxa de deformação. A tensão aumenta à medida que a taxa de deformação cresce, gerando um gráfico com formato côncavo para baixo, típico de um fluido pseudoplástico. Esse comportamento, constatado no presente estudo, está em consonância com o apresentado por Fellows (2019).

Com base na Figura 2, foi possível compreender de forma mais clara a influência da concentração na tensão de cisalhamento em função de uma taxa de deformação constante. Este parâmetro intrínseco da polpa reconstituída provocou uma elevação na tensão de cisalhamento de valores próximos a um pascal (1 Pa) na concentração de 2% para valores próximos a 16 Pa na concentração de 10% de polpa de manga em pó.

Os resultados expressos na Figura 2 ratificam o que está apresentado na Tabela 1 e Figura 1 confirmando que ao se elevar a concentração de sólidos solúveis em um líquido, a viscosidade aparente tende a aumentar, o que significa uma maior resistência ao escoamento, representado pelo parâmetro "k", necessitando de uma maior tensão para o

fluido começar a escoar. Tais resultados comprovam a influência dos componentes da constituição da polpa nas propriedades reológicas.

Deve-se destacar que, na composição das polpas de frutas, há partículas sólidas dispersas orientadas de forma desordenadas. Estas partículas tendem a alinhar-se na mesma direção do fluxo após a aplicação de uma tensão de cisalhamento sobre o fluido, o que resulta em uma redução na viscosidade aparente (STEFFE, 1996; RAO, 2013). De acordo com Costa et al. (2018), a composição centesimal e a morfologia das partículas de cada polpa de fruta têm influência no comportamento reológico do produto. Esses fatores promovem a formação de uma matriz de interações inter e intramoleculares que são capazes de alterar o fluxo do fluido.

Na indústria alimentícia, a análise do comportamento reológico é extremamente valiosa, uma vez que oferece uma compreensão aprofundada da organização estrutural dos alimentos. Isso, por sua vez, possibilita otimizar o processo produtivo, influenciando diretamente no dimensionamento adequado de bombas e tubulações para cada tipo de alimento, prevenindo possíveis falhas no desenvolvimento de produtos e na execução dos processos produtivos (DE HOLANDA et al., 2022).

Dessa forma, no caso de polpas de frutas, uma redução na viscosidade durante o processamento ocasiona benefícios para a indústria de alimentos. À medida que a viscosidade diminui, as perdas de carga durante o escoamento também reduzem, o que resulta em menor consumo de energia para o bombeamento e, conseqüentemente, em economia nos custos energéticos (Melo et al., 2020).

Pesquisas como as de Tonin et al. (2017), Zotarelli et al. (2020) e Indrianti et al. (2023) que empregaram aditivos como amido de milho e maltodextrina combinados, apenas maltodextrina e uma mistura de albumina do ovo, maltodextrina e carboximetilcelulose, respectivamente, após a secagem da espuma da polpa utilizada e reidratação do pó, encontraram como resultado reológico da bebida reconstituída a classificação de um fluido pseudoplástico.

Assim, com base nos resultados obtidos neste estudo, constatou-se que o uso dos aditivos Emustab e Albumina durante a secagem em leito de espuma não causou alterações significativas nas propriedades reológicas da polpa de manga Haden após a reconstituição. Dessa forma, a polpa manteve sua classificação original como um fluido não-newtoniano, exibindo um comportamento pseudoplástico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reconstituição do pó obtido após a secagem se apresentou como um método viável para a elaboração de bebidas à base de polpa de manga seca, demonstrando que o produto secado em leite de espuma obtido, após a reconstituição, apresentou características reológicas de um fluido pseudoplástico. Isso demonstra uma aplicação viável do método de secagem em leite de espuma em relação às propriedades reológicas, pois, mesmo após o processo de secagem, o produto apresentou classificação característica de polpas de fruta.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D. de O.; MORAES, J. A. A.; DE CARVALHO, J. L. M. Fatores determinantes na mudança do padrão de produção e consumo da manga no mercado nacional. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.10, p.51-73, 2017.
- BARRÓN-GARCÍA, O. Y.; MORALES-SÁNCHEZ, E.; JIMÉNEZ, A. K. R.; ANTUNES-RICARDO, M.; LUZARDO-OCAMPO, I.; GONZÁLEZ-JASSO, E.; GAYTÁN-MARTÍNEZ, M. Phenolic compounds profile and antioxidant capacity of 'Ataulfo' mango pulp processed by ohmic heating at moderate electric field strength. **Food Research International**, v.154, p.111032-111043, 2022
- CÓL, C. D. de; TISCHER, B.; FLÔRES, S. H.; RECH, R. Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. **Food and Bioproducts Processing**, v.126, p.23-31, 2021.
- COSTA, H. C. B.; AROUCA, F. O.; SILVA, D. O.; VIEIRA, L. G. M. Study of rheological properties of açai berry pulp: an analysis of its time-dependent behavior and the effect of temperature. **Journal of Biological Physics**, v.44, p.557–577, 2018.
- DE HOLANDA, V. B.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; SILVA, A. C. B.; OLIVEIRA, H. M. L.; DUARTE, M. E. M.; LÚCIO, A. da S. Efeito de diferentes concentrações de leite de cabra em pó na reologia do leite de cabra reconstituído. **Research, Society and Development**, v.11, n.1, p.e42911125145, 2022
- EL-SALAM, E. A. E. A.; ALI, A. M.; HAMMAD, K. S. Foaming process optimization, drying kinetics and quality of foam mat dried papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v.58, n.4, p.1449-1461, 2021.
- FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; GUEDES, D. B.; PINTO, M. R. M. R. Propriedades reológicas de sucos mistos de manga, goiaba e acerola adicionados de fitoquímicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.16, n.1, p.21-28, 2013.
- FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M.; OLIVEIRA, E. N. A. de. Comportamento reológico da polpa de murta com maltodextrina. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.26, n.05, p.391-398, 2018.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**: princípios e prática. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2019. 944p.

GAYATHIRI, E.; PRAKASH, P.; KARMEGAM, N.; VARJANI, S.; AWASTHI, M. K.; RAVINDRAN, B. Biosurfactants: potential and eco-friendly material for sustainable agriculture and environmental safety-a review. **Agronomy**, v.12, n.3, p.662-697, 2022.

GUERRA, A. G. **Tecnologia de produção na cultura da manga**. Joinville: Clube de Autores, 2020. 125p.

INDRIANTI, N.; SEJATI, I. D., AFIFAH, N.; RATNAWATI, L.; PUTRI, S. K. D. F. A.; SUKARTA, D.; AMANTO, B. S. The influence of drying temperature to the physicochemical, thermal and rheological characteristics of dried tomato poder. **BIO Web of Conferences**, v.69, p.01022, 2023.

LIU, Y.; CHEN, S.; PU, Y.; MUHAMMAD, A. I.; HANG, M.; LIU, D.; YE, T. Ultrasound-assisted thawing of mango pulp: effect on thawing rate, sensory, and nutritional Properties. **Food Chemistry**, v.286, p.576-583, 2019.

MANÇANO, L. F.; ALMEIDA, J. M. de; OLIVEIRA, R. M. R. de; SOUTO, V. O. de; ALVES, T. C. de O.; PEREIRA, V. C. Estudo da secagem em leito de espuma da polpa de manga haden. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v.8, n.3, p.15-20, 2018.

MELO, F. da S.; OKANEKU, B. M.; CARDOSO, D. N. P.; SANTOS, W. G. do. Avaliação reológica da polpa e concentrado de cupuaçu (*theobroma grandiflorum schum*). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 45182-45192, 2020.

MENDOZA, R.; GUERRERO, S.; HERRERA-CHÁVEZ, B. Reología del yogur: efectos de las operaciones unitarias en el procesamiento y uso de aditivos. **Novasinergia**, v.4, n.1, p.151-163, 2021.

MUBAROK, A. Z.; ANANDA, F. Y. Effect of concentration of porang flour and temperature on rheological properties of tomato ketchup. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v.475, p.12034-12040, 2020.

PANATO, K.; MULLER, C. M. O. Drying kinetics and physicochemical and technological properties of pumpkin purée flour dried by convective and foam-mat drying. **Journal Food Processing and Preservation**, v.46, p.e16264, 2022.

RAJ, G. V. S. B.; HULLE, N. R. S.; DASH, K. K. Rheological characteristics of reconstituted freeze-dried dragon fruit pulp powder: effect of concentration and temperature. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.46, n.7, p. e16696, 2022.

RAO, M. A. **Rheology of fluid, semisolid and solid foods**: principles and applications. 3 ed. New York: Springer, 2013. 791p.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2 ed. Michigan: Freeman Press. 1996. 418p.

TONIN, I. P.; FERRARI, C. C.; DA SILVA, M. G.; DE OLIVEIRA, K. L.; BERTO, M. I.; DA SILVA, V. M.; GERMER, S. P. M. Performance of different process additives on the properties of mango powder obtained by drum drying. **Drying Technology**, v.36, n.3, p.355–365, 2017.

ZOTARELLI, M. F.; DURIGON, A.; DA SILVA, V. M.; HUBINGER, M. D.; LAURINDO, J. B.
Rehydration of mango powders produced by cast-tape drying, freeze drying, and spray
drying. **Drying Technology**, v.40, n.1, p.175–187, 2020.