

## Comportamento reológico de suspensões de *Goji berries* desidratadas

### Rheological behavior of dehydrate *Goji berries* suspensions

#### RESUMO

*Goji berries* são consideradas superfrutas devido a suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antitumorais. Para consumo, são encontradas muito frequentemente na forma desidratada, pois, *in natura* possuem uma curta vida de prateleira. Para investigar o comportamento reológico de suspensões de *Goji berries* desidratadas, avaliaram-se diferentes temperaturas e concentrações de sólidos e a predição do comportamento foi realizada utilizando-se os modelos de Ostwald de Waelle, de Casson e de Bingham. A reometria das suspensões avaliadas mostrou que as mesmas apresentaram comportamento não newtoniano com ótimo ajuste para o modelo de Casson, em todas as faixas de temperatura e concentração avaliadas, com coeficientes de regressão ( $R^2$ ) superiores a 0,98, baixos valores do erro médio relativo (P) e do erro quadrático médio (RMSE) e valores ideais do bias factor (Bf). Com isso foi possível determinar o parâmetros reológicos do modelo de Casson, para cada condição experimental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Frutas desidratadas. Reometria. Casson.

#### ABSTRACT

*Goji berries* are considered superfruits because of their antioxidant, anti-inflammatory and anti-tumor properties. For consumption, they are very often found in dehydrated form as they have a short shelf life *in natura*. In order to investigate the rheological behavior of dehydrated *Goji berry* suspensions, different temperatures and solids concentrations were evaluated, and the behavior prediction was performed using the Ostwald de Waelle, Casson and Bingham models. The rheometry of the evaluated suspensions showed that the suspensions showed non-Newtonian behavior with a good fit for the Casson model, in all temperature and concentration evaluated, with regression coefficients ( $R^2$ ) higher than 0.98, low values of relative mean error (P) and mean square error (RMSE) and ideal bias factor (Bf) values. Therewith, was possible to determine the rheological parameters of Casson model, for each experimental condition.

**KEYWORDS:** Dehydrated fruits. Rheometry. Casson.

#### INTRODUÇÃO

*Lycium barbarum* L. (*Goji berry*) é uma das mais importantes plantas medicinais chinesas tradicionais (Yao et al, 2011). Sua planta produz uma baga laranja-avermelhada elipsoide 2 cm de profundidade com um sabor doce e picante. A *Goji berry* é o fruto de *L. barbarum* e *L. chinense* na família Solanaceae

**Isa Paula de Melo Amaro**  
[isapaulamelomamaro@gmail.com](mailto:isapaulamelomamaro@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Alimentos, Câmpus Medianeira, Paraná, Brasil.

**Daiane Cristina Lenhard**  
[daianelenhard@utfpr.edu.br](mailto:daianelenhard@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Alimentos, Câmpus Medianeira, Paraná, Brasil.

**Bruna Yuu Tanaka Pereira**  
[brunayuu@hotmail.com](mailto:brunayuu@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Alimentos, Câmpus Medianeira, Paraná, Brasil.

**Igor Henrique de Mello Rodrigues Ciolin**  
[igorciolin@alunos.utfpr.edu.br](mailto:igorciolin@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira, Paraná, Brasil.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



que varia de tomate e batata a berinjela (Kulczyński e Gramza-Michałowska, 2016).

Atualmente, as *Goji berries* não são apenas consumidas na China, mas também em todo o mundo como ingrediente alimentar popular em várias formas, como sopas, bebidas e em uma variedade de alimentos sólidos (Amagase & Farnsworth, 2011) e extratos e infusões concentrados, como cápsulas (Llorent-Martínez et al, 2013).

Recentemente, o fruto tem gerado interesse particular por seus potenciais efeitos benéficos para a saúde humana, como atividades antioxidantes, anti-inflamatórias e antitumorais (Yao et al, 2011). Portanto, segundo Kulczyński e Gramza-Michałowska (2016), não sem razão são denominadas “superfrutas”.

Apesar disso, estudos sobre o comportamento reológico de suspensões de pequenas frutas, como as berries, são escassos. Desta maneira, informações de como a concentração de sólidos e a temperatura influenciam na viscosidade aparente destas suspensões são de grande importância para o projeto de tubulações e equipamentos e para operações de evaporação (NINDO et al., 2005).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo a avaliação do comportamento reológico de suspensões de *Goji Berries*, em diferentes concentrações e temperaturas de operação.

## MATERIAL E MÉTODOS

As *Goji berries* desidratadas e o leite foram adquiridos no comércio local de Foz do Iguaçu – PR em junho de 2018.

As análises reológicas foram conduzidas em um viscosímetro rotacional de cilindros concêntricos da marca Brookfield (Middleboro – MA, USA), modelo LVDV – III ULTRA, segundo metodologia adaptada de Nindo et al. (2007) e Kechinski et al. (2011).

Os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação foram coletados para suspensões de sólidos de *Goji berries* nas concentrações de 10%, 20% e 30% m/m e nas temperaturas de 20°C, 40°C e 60 °C.

O preparo das suspensões foi realizado pesando-se 10, 20 e 30 g das berries inteiras reidratadas em béqueres e adicionando-se água destilada até completar 100 g. Posteriormente, as frutas foram trituradas, para originar as suspensões, com auxílio de um mixer para alimentos da marca Black & Decker, (Towson – MD, USA). Esse procedimento foi realizado imediatamente antes das análises.

O viscosímetro foi calibrado para permitir o equilíbrio da amostra com a temperatura escolhida antes da coleta dos dados, sendo escolhido um passo de 3 min entre uma leitura e outra.

Foram utilizados três modelos reológicos utilizados para prever o comportamento reológico das suspensões de *Goji berries*: Casson, Ostwald de Waelle ou Lei da Potência, e Bingham, representados pelas equações 1 a 3, respectivamente.

$$\tau^{0.5} = K_{oc}^{0.5} + K_c(\dot{\gamma})^{0.5} \quad (01)$$

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (02)$$

$$\tau = \tau_0 + \mu_{pl}(\dot{\gamma}) \quad (03)$$

Em que,  $\tau$  é a tensão de cisalhamento,  $\tau_0$  e  $k_{0C}$  representam a tensão de cisalhamento inicial para cada modelo,  $K_C$ ,  $K$  e  $\mu$  representam a viscosidade plástica de cada modelo e  $n$  é o índice de comportamento da Lei da Potência.

O ajuste dos modelos reológicos aos dados experimentais foi avaliado considerando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), no erro quadrático médio (RMSE, Equação 4), no erro médio relativo (P, Equação 5) e no bias factor (Bf, Equação 6).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_{calc} - x_{exp})^2}{n}} \quad (04)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^N \frac{|x_{exp} - x_{calc}|}{x_{exp}} \quad (05)$$

Em que:  $x_{exp}$  é o valor experimental do parâmetro;  $x_{calc}$  é o valor predito pelo modelo;  $n$  é o número de observações experimentais.

$$B_f = 10^{\left[ \frac{\log \frac{y_c}{y_m}}{n} \right]} \quad (06)$$

Em que:  $y_m$  é o valor experimental do parâmetro,  $y_c$  é o valor predito pelo modelo;  $n$  é o número de observações experimentais.

A modelagem reológica foi realizada em três concentrações de sólidos (10, 15 e 20%) e três temperaturas de operação (20, 40 e 60°C), e os experimentos foram definidos a partir de um planejamento fatorial  $2^2$ , com três repetições no ponto central. Nesse trabalho, serão apresentados somente os resultados do ajuste dos modelos reológicos para cada uma das condições, enquanto, os resultados relativos aos efeitos das variáveis (concentração e temperatura) nos parâmetros do modelo escolhido serão apresentados, oportunamente, em outro trabalho.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 a 3, estão apresentados os resultados da modelagem matemática da reometria das suspensões de sólidos de *Goji berries* desidratadas, para os três modelos matemáticos e para cada uma das faixas de concentração e temperatura avaliadas.

Como é possível visualizar, o modelo de Casson apresentou um bom ajuste dos dados experimentais, apresentando ótimos valores do coeficiente de determinação, baixos valores dos erros quadrático e médio e o valor do Bias factor ideal (=1), para todas as condições analisadas.

Verifica-se que o modelo de Ostwald de Waelle ajustou bem os dados experimentais em algumas das condições. No entanto, principalmente nas concentrações maiores, o ajuste apresentou elevados erros e o bias factor inferior a 1.

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos obtidos para o modelo de Casson, nos diferentes ensaios.

Concentração (%)	Temperatura (°C)	$R^2$	RMSE	P	Bf
10	20	0,995	0,0118	0,0132	1,00
10	60	0,987	0,0133	0,0261	1,00
20	20	0,987	0,0594	0,1281	1,00
20	60	0,993	0,0455	0,0580	1,00
15	40	0,988	0,0236	0,0443	1,00
15	40	0,998	0,0110	0,0083	1,00
15	40	0,990	0,0224	0,0319	1,00

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos obtidos para o modelo de Ostwald de Waelle, nos diferentes ensaios.

Concentração (%)	Temperatura (°C)	$R^2$	RMSE	P	Bf
10	20	0,995	0,0200	0,0512	1,00
10	60	0,977	0,0189	0,0916	0,99
20	20	0,986	0,3309	1,9394	1,00
20	60	0,989	0,3169	1,1829	0,99
15	40	0,998	0,0210	0,0284	1,00
15	40	0,998	0,0318	0,0536	1,00
15	40	0,995	0,0418	0,1036	1,00

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos obtidos para o modelo de Bingham, nos diferentes ensaios.

Concentração (%)	Temperatura (°C)	$R^2$	RMSE	P	Bf
10	20	0,984	0,0360	0,1543	1,01
10	60	0,983	0,0160	0,0752	1,00
20	20	0,983	0,3637	1,5402	1,00
20	60	0,985	0,3655	1,2580	1,00
15	40	0,970	0,0876	0,6113	1,01
15	40	0,989	0,0679	0,2858	1,00
15	40	0,973	0,0983	0,5033	1,01

Fonte: Autoria própria (2019).

Claramente, o modelo Bingham foi que menos ajustou os dados experimentais, uma vez que, comparando com os outros modelos, apresentou os menores valores do coeficiente de determinação e os maiores valores para o erro quadrático médio (RMSE) e para o erro médio relativo (P).

Em um trabalho semelhante, Lenhard et al. (2018) avaliaram o comportamento reológico de suspensões de cranberries desidratadas e verificaram que o modelo de Casson também foi o que melhor ajustou os dados experimentais, em diferentes concentrações e temperaturas das suspensões.

Como o modelo de Casson foi o que melhor ajustou os dados experimentais foram determinados os parâmetros reológicos do modelo, para cada uma das condições experimentais, cujos valores estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros reológicos do modelo de Casson, obtidos para as diferentes condições experimentais.

Concentração (%)	Temperatura (°C)	Parâmetro do modelo	
		$K_{0c}$ (Pa <sup>0,5</sup> )	$K_c$ (Pa <sup>0,5</sup> ·s <sup>0,5</sup> )
10	20	0,1496	0,0874
10	60	0,0354	0,0610
20	20	1,4368	0,2721
20	60	1,2318	0,2901
15	40	0,3032	0,1152
15	40	0,3990	0,1297
15	40	0,4147	0,1211

Fonte: Autoria própria (2019).

Pode-se observar para a mesma concentração de sólidos, um aumento na temperatura provoca uma diminuição no  $K_{0c}$ , ou seja, uma tensão de cisalhamento inicial menor é necessária quando a temperatura se eleva. Também é possível verificar que para uma mesma temperatura, ao se duplicar a concentração de sólidos (de 10 para 20%), há um aumento significativo no  $K_{0c}$ , ou seja, um aumento na concentração implica em um aumento razoável na tensão inicial. O mesmo é observado para o parâmetro  $K_c$ , com o aumento da concentração de sólidos aumentou este parâmetro, o que é, de certa forma, esperado uma vez que  $K_c$  representa o índice de consistência do fluido (viscosidade), ou seja, o fluido fica mais viscoso, escoando com maior dificuldade, quando sua concentração aumenta.

No entanto, o efeito estatisticamente significativo da temperatura e da concentração nos parâmetros reológicos do modelo de Casson, só poderá ser efetivamente determinado a partir da análise do planejamento experimental e, oportunamente, será apresentado em outro trabalho.

### CONCLUSÃO

Com este trabalho pode-se concluir que as suspensões de *Goji berries*, nas concentrações e temperaturas avaliadas, foram classificadas como fluidos não newtonianos, e os dados experimentais foram bem representados pelo modelo de Casson. Embora não seja completamente conclusivo, é possível verificar a influência da temperatura e da concentração nos parâmetros reológicos do modelo de Casson, com o aumento da tensão de cisalhamento inicial e da viscosidade plástica com o aumento da concentração de sólidos e diminuição da tensão de cisalhamento inicial com o aumento da temperatura.

## REFERÊNCIAS

AMAGASE, H., FARNSWORTH, N. R. A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum* fruit (Goji). *Food Research International*. 2011, V. 44, P. 1702-1717. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996911001840>. Acesso em 08 ag. 2019.

YAO, X., PENG, Y., XU, L. J., LI, L., WU, Q. L., XIAO, P. G. Phytochemical and Biological Studies of *Lycium Medicinal Plants*. *Chemistry and Biodiversity*. 2011, V. 8, p. 976–1010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cbdv.201000018>. Acesso em 09 ag. 2019.

KULCZYŃSKI, B., GRAMZA-MICHAŁOWSKA, A. Goji Berry (*Lycium barbarum*): Composition and Health Effects – a Review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2016, V. 66, N. 2, p. 67–75. Disponível em: <https://content.sciendo.com/view/journals/pjfn/66/2/article-p67.xml>. Acesso em 08 ag. 2019.

LLORENT-MARTÍNEZ, E. J., FERNÁNDEZ-DE-CÓRDOVA, M. L., ORTEGA-BARRALES, P., Ruiz-Medina, A. Characterization and comparison of the chemical composition of exotic superfoods. *Microchemical Journal*. 2013. V. 110. P. 444-451. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X13001136>. Acesso em 09 ag. 2019.

NINDO, C. I.; TANG, J.; POWERS, J. R.; SINGH, P. Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications. *J. of Food Eng.*, v. 69, n. 3, p. 343-350, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877404003826>. Acesso em 09 ag. 2019.

NINDO, C. I.; TANG, J.; POWERS, J. R.; TAKHAR, P. S. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *Food Sci. and Tech.*, v. 40, n. 2, p. 292-299, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643805002331>. Acesso em 09 ag. 2019.

KECHINSKI, P. C.; SCHUMACHER, B. A.; MARCZAK, D. F. L.; TESSARO, C. I.; CARDOZO, S. M. NILO. Rheological behavior of blueberry (*Vaccinium ashei*) purees containing xanthan gum and fructose as ingredients. *Food Hydro.*, v. 25, n. 3, p. 299-306, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X10001219> . Acesso em 09 ag. 2019.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio técnico e tecnológico para o desenvolvimento do trabalho.