

Comportamento reológico de iogurte de cajá comercializado em Campina Grande, Paraíba

Flávio Farias Gurjão¹, Gilmara Gurjão Carneiro², Taciano Pessoa³, Débora Rafaelly Soares Silva⁴ e Denise Silva Amaral Miranda⁵

¹Agrônomo, Doutor em Engenharia de Processos (flaviogurjao@hotmail.com) ²Agrônoma, Doutora em Engenharia de Processos (gilmaragurjao@hotmail.com) ³Agrônomo, Doutor em Engenharia de Processos, Docente da Universidade Federal de Campina Grande (pessoat@hotmail.com) ⁴Engenheira Agrícola, Doutora em Engenharia de Processos (deborarafeally@yahoo.com.br) ⁵Doutora em Engenharia Agrícola, Docente do Instituto Federal do Maranhão (denise.amaral@ifma.edu.br)

Resumo - O estudo reológico contribui para o conhecimento da estrutura molecular, no controle de qualidade e aceitação de um determinado produto, auxilia no controle do processo industrial e em projetos de equipamentos no processamento dos materiais. Avaliaram-se o comportamento reológico de iogurte de cajá e a adequação dos dados reológicos aos modelos de Ostwald-de-Waele, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk e ainda o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico. Os dados reológicos foram obtidos por meio de um viscosímetro Brookfield DV-II+Pro. Os ensaios foram realizados nas temperaturas 20, 30 e 40 °C. Os resultados experimentais foram ajustados pelos modelos de Ostwalde-de-Waelle, Casson, Herschel Bulkey, Mizrahi-Berk com auxílio do software Statística versão 7.0. O iogurte analisado apresentou comportamento de fluido não newtoniano com característica pseudoplástica. Os modelos reológicos de Herschel Bulkey e Mizrahi-Berk representaram satisfatoriamente o comportamento reológico do iogurte de cajá nas diferentes temperaturas estudadas, apresentando coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,99.

Palavras-chave: qualidade, reologia, temperatura.

Rheological properties of hog plum yogurt marketed in Campina Grande, Paraíba state

Abstract - The rheological study contributes to the knowledge of the molecular structure, in the quality control and acceptance of a particular product, helps to control the manufacturing process and equipment designs in the processing of materials. The rheological behavior of hog plum yogurt and the adequacy of the rheological data to models of Ostwald-de-Waele, Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk were evaluated. The effect of temperature on the rheological behavior too was evaluated. The rheological data were obtained using a Brookfield DV-II + Pro. Assays were carried out in temperatures 20, 30 and 40 °C and the experimental results were adjusted by the models of Ostwalde Waelle, Casson and Herschel Bulkey Mizrahi-Berk, using the Statística software. The yogurt analyzed showed behavior of non-Newtonian fluid with pseudoplastic characteristic. The rheological models Herschel Bulkey and Mizrahi-Berk satisfactorily represented the rheological behavior of the hog plum yogurt at different temperatures studied, with determination coefficients (R^2) above 0.99.

Keywords: quality, rheology, temperature.

Introdução

O iogurte é um produto lácteo fresco, obtido pela fermentação do leite com cultivos pró-simbióticos das bactérias *Streptococcus termophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*. Surgiu no Oriente e depois entre os gregos e romanos. Esse alimento, que hoje faz parte do cotidiano da maioria das pessoas, rapidamente se difundiu, conquistando uma posição privilegiada nas dietas alimentares dos mais diversos povos (Ciribeli & Castro, 2011).

A reologia é definida como a ciência que estuda como a matéria se deforma ou escoar, quando submetida a esforços produzidos por forças externas (Machado, 1996).

O comportamento reológico representa o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação devido a um campo de tensões. A reologia tem importância nos fenômenos relacionados à transferência de massa que tem lugar nos processos industriais, durante o processo de elaboração como concentração, mistura pasteurização e outras operações; as características reológicas também são imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos alimentícios e correlação de parâmetros físicos e sensoriais. A variabilidade do comportamento reológico está relacionada com a alteração estrutural provocada pelo cisalhamento (Ferreira et al., 2002).

Um fluido define-se como uma substância que se deforma continuamente quando se submete a um esforço constante, sem se importar quão pequeno seja este esforço (Haminiuk, 2005).

Viscosidade é a propriedade física de um líquido de resistir ao fluxo induzido pelo cisalhamento; é dependente da natureza físico-química da substância, da temperatura da substância, da pressão, da taxa de cisalhamento e do tempo (Scharamm, 2000). O comportamento reológico dos fluidos viscosos está dividido em Newtonianos e não Newtonianos, dependendo da relação entre tensão cisalhante e a taxa de cisalhamento (Machado, 1996).

O presente trabalho objetivou-se avaliar o comportamento reológico de iogurte de cajá e a adequação dos dados reológicos aos modelos de Ostwald-de-Waele, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk e ainda o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido no período agosto de 2016, no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande Campus de Campina Grande, Estado da Paraíba (PB), Brasil. O município está situado nas coordenadas geográficas 7° 13' 51" sul, longitude: 35° 52' 54" Oeste, com altitude aproximadamente de 512 metros e distando 110 km de João Pessoa que é a capital do estado.

Utilizou-se, no experimento, iogurte de cajá (*Spondias* spp.) adquiridos no comércio local de Campina Grande-PB. As medidas reológicas foram realizadas utilizando-se um viscosímetro Brookfield modelo DV - II + Pro fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, EUA nas temperaturas 20, 30 e 40°C, em triplicata, utilizando-se um spindle número 2, nas velocidades de rotação 5,0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160 rpm. Para a realização do experimento, foi utilizado um béquer de 600 mL onde foram colocadas 600 mL de amostra para obtenção das leituras no viscosímetro.

Com os dados experimentais obtidos no viscosímetro foram calculadas as tensões de cisalhamento e as taxas de deformação, para as diferentes velocidades de rotação e para as diferentes temperaturas, utilizando-se a metodologia proposta por Mitschka (1982), os quais foram correlacionados os modelos reológicos de Ostwald-de-Waele, de Casson, Herschel-Bulkley e o modelo de Mizrahi-Berk conforme pode ser observado nas Equações: 1, 2, 3 e 4. Para o ajuste dos modelos reológicos aos dados experimentais usou-se o programa STATISTICA versão 7.0.

- Modelo Ostwald-de-Waele ou Lei da potência

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

Onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1});

K - índice de consistência ($Pa s^n$);

n - índice de comportamento do fluido (adimensional).

- Modelo Casson

$$\tau^{1/2} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{1/2} \quad (2)$$

Onde:

τ - tensão de Cisalhamento (Pa)^{1/2};

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹);

K_c - viscosidade plástica de Casson (Pa s)^{1/2};

K_{oc} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)^{1/2}.

- Modelo Herschel-Bulkley

$$\tau - \tau_{OH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3)$$

Onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1});

τ_{OH} - tensão de cisalhamento inicial (Pa);

K_H - índice de consistência ($Pa s^n$);

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional).

- Modelo Mizrahi-Berk

$$\tau^{1/2} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{N-1} \quad (4)$$

Onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1});

K_{OM} - tensão de cisalhamento inicial (Pa);

K_M - índice de consistência (Pas^n);

n_M - índice de comportamento do fluido (adimensional).

Foram utilizados, como critério de determinação de melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, o coeficiente de determinação (R²) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 5:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_{exp} - X_{teor}}{X_{exp}} \right| \quad (5)$$

Resultados e Discussão

Os parâmetros dos modelos reológicos de Ostwald-de-Waele, (Lei da potência), Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk, ajustados aos dados experimentais de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação do iogurte de Polpa de cajá nas temperaturas de 20, 30 e 40

°C, bem como os coeficientes de determinação (R^2) são apresentados na Tabela 1. Verifica-se que todos os modelos aplicados indicaram coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,97, resultando em bom ajuste dos dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação do iogurte de cajá, nas três temperaturas analisadas.

Os modelos de Herschel–Bulkley e Mizrahi-Berk apresentaram melhores ajustes, com os maiores coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99 e os menores desvios percentuais médios, inferiores a 1,39%. Verifica-se que, no modelo de Ostwald-de-Waele, o índice de consistência (K) diminuiu com o aumento da temperatura; no entanto, observa-se também que houve um aumento pontual, na temperatura de 40 °C. No modelo de Casson o parâmetro K_{oc} (tensão de cisalhamento inicial) diminuiu com o aumento da temperatura, tendência também observada por Oliveira et al. (2008) ao avaliar o comportamento reológico de amostras de sorvetes de iogurte, cujos valores variaram de 0,2927 a 0,2172, nas temperaturas de -2 a 2 °C, no entanto, observa-se um aumento da tensão de cisalhamento na temperatura a 40 °C.

Os valores da viscosidade plástica de Casson K_c demonstraram tendência de diminuição com o aumento da temperatura. Os índices de consistência, K_H determinados a partir dos modelos de Herschel-Bulkley, também mostraram tendência de decrescer com a elevação da temperatura. Haminiuk (2005) verificou comportamento semelhante para o parâmetro K ao ajustar o modelo de Herschel-Bulkley aos dados experimentais da polpa de amora-preta integral para a faixa de temperatura entre 10 e 60 °C; Oliveira (2006)

constatou o comportamento oposto para polpa de pitanga integral nas temperaturas de 10 a 50 °C, onde ocorreu um aumento do índice de consistência com a elevação da temperatura. O índice de consistência K_M , determinado a partir do modelo de Mizrahi-Berk, também mostrou tendência de decrescer com a elevação da temperatura, no entanto, observa-se que houve um aumento pontual, na temperatura de 40 °C. A tensão de cisalhamento inicial K_{OM} (raiz quadrada da tensão inicial) no modelo de Mizrahi-Berk apresentou tendência de diminuição com o aumento da temperatura; comportamento semelhante foi encontrado por Oliveira (2006) estudando polpa de pitanga integral.

Para o parâmetro n (índice de comportamento do fluido) dos modelos de Ostwald-de-Waele, (Lei da potência), Casson, Herschel–Bulkley e Mizrahi-Berk, verifica-se que os valores ficaram abaixo do valor da unidade, o que caracteriza as amostras como fluidos não newtonianos com características pseudoplásticas, sabendo-se que quanto mais distante o n estiver do valor unitário, mais distante o fluido também estará do comportamento newtoniano. Na indústria este comportamento se reflete no aumento de velocidade de fluxo quando submetido a estreitamento de tubos (por exemplo, envase) e possibilidade de intensa homogeneização em processos de mistura (Bezerra, 2010). Fluidos não-newtonianos apresentando valores de n abaixo de um foram observados por Cabral et al. (2002) para polpa de cupuaçu; por Carneiro (2011) ao avaliar o comportamento reológico de geleias de pimenta; por Bezerra (2010) ao avaliar o comportamento reológico de iogurtes de leite de cabra, de búfala e de sua mistura.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais da tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação de iogurte de polpa de cajá

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		K	n			
Lei da Potência (Ostwald-de-Waele)	20	2,1418	0,3591		0,9884	4,54
	30	1,4090	0,4060		0,9964	3,12
	40	1,8717	0,2788		0,9756	5,01
Casson		K_{oc}	K_c			
	20	4,4118	0,0768		0,9926	3,50
	30	3,0289	0,0713		0,9832	6,16
	40	3,5330	0,0332		0,9941	2,38
Herschel–Bulkley		K_H (Pas ⁿ)	n_H	t_{0H}		
	20	2,0711	0,2533	1,3638	0,9999	0,36
	30	0,6005	0,5618	1,4253	0,9992	1,20
	40	0,1137	0,7600	3,0879	0,9981	1,39
Mizrahi & Berk		K_{OM}	K_M	n		
	20	3,3001	0,3491	0,6903	0,9998	0,41
	30	1,4253	0,6005	0,5618	0,9992	1,20
	40	3,0879	0,1137	0,7600	0,9981	1,39

Nas Figuras 1 a 4 são apresentadas as curvas de ajuste dos dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, ajustadas pelos modelos Ostwald-de-Waele (Lei da potência), Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C para o iogurte de cajá. Observa-se que para uma dada tensão de cisalhamento a taxa de deformação a diminui com o aumento da temperatura. Bezerra (2010) ao avaliar o comportamento reológico de iogurtes na temperatura de 5 °C, observou um comportamento semelhante. Verifica-se que as curvas não apresentaram uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, caracterizando o iogurte de cajá como fluidos não newtonianos.

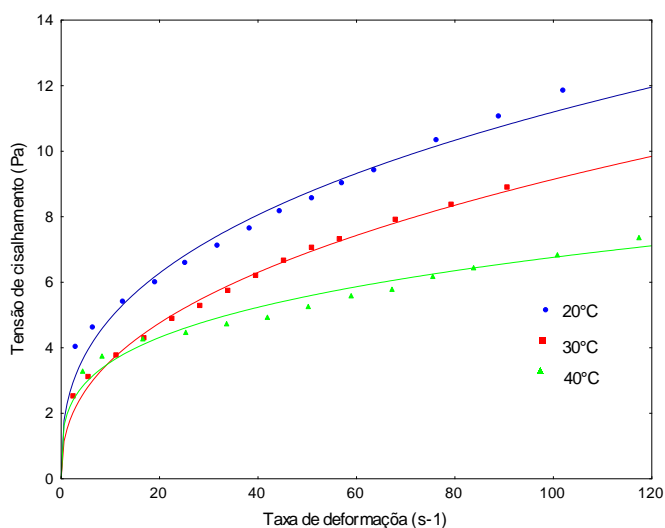


Figura 1. Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para o iogurte de cajá, nas temperaturas 20, 30 e 40 °C, descrita pelo modelo de Ostwald-de-Waele

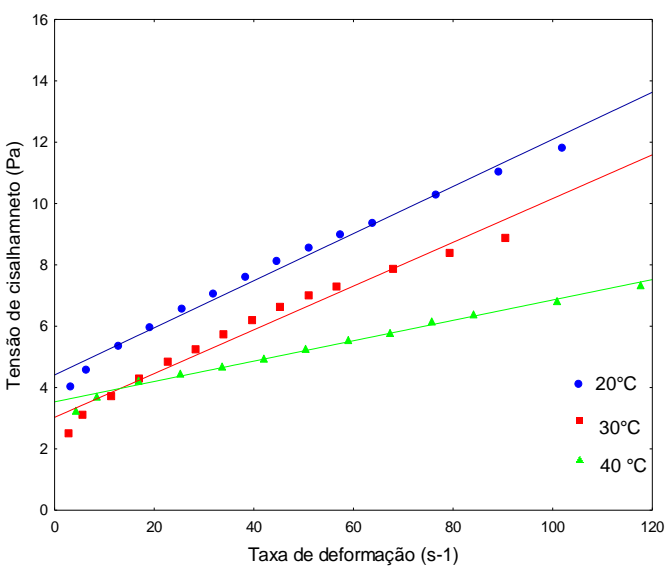


Figura 2. Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para o iogurte de cajá, nas temperaturas 20, 30 e 40 °C, descrita pelo modelo de Casson

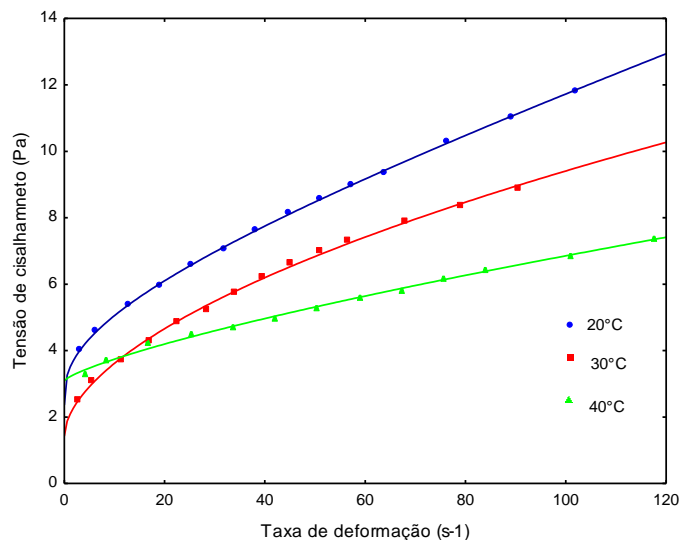


Figura 3. Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para o iogurte de cajá, nas temperaturas 20, 30 e 40 °C, descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley

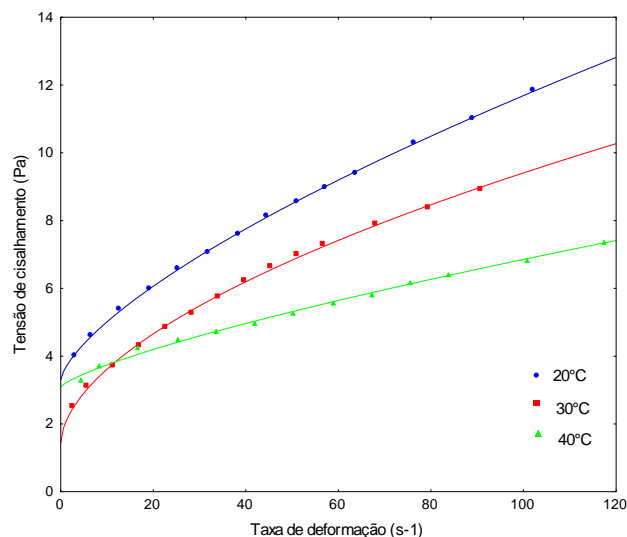


Figura 4. Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para o iogurte de cajá, nas temperaturas 20, 30 e 40 °C, descrita pelo modelo de Mizrahi & Berk

Conclusões

1. O iogurte de cajá apresentou comportamento de fluido não newtoniano com características pseudoplásticas.
2. Os modelos reológicos Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk apresentaram os melhores ajustes, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,99 e os desvios percentuais médios inferiores a 1,39%.

Referências

BEZERRA, M.F. *Caracterização física química, reológica e sensorial de iogurte obtido pela mistura de leites bubalinos e caprinos*. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado)

em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

BRANDÃO, S.C.C.; **Tecnologia da produção industrial de iogurte**. XXXV Semana do laticinista – Instituto Cândido Tostes Juiz de Fora, 1997. 52 p.

CABRAL, M.F.P.; QUEIROZ, A.J. de M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. de. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) Peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 37- 40, 2002.

CARNEIRO, G.G. **Elaboração de geléia de pimenta da variedade cambuci em diferentes estádios de maturação e concentração de sacarose**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

CIRIBELI, J.P.; CASTRO, L.S. de. Descrição da cadeia produtiva do iogurte: um estudo de caso realizado no Laticínio do Centro Federal de Educação Tecnológica de Rio Pomba. **Revista Gestão Empresarial**, Rio Pomba, v. 1, n. 1, p.75-87, 2011.

FERREIRA, G.M.; QUEIROZ, A.J.M.; CONCEIÇÃO, R.S.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 175-184, 2002.

HAMINIUK, C.W.I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) e amora-preta (*Rubus* spp)**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

MACHADO, J.C.V. **Reologia, viscosidade e escoamento**. Rio de Janeiro: Petrobrás/SEREC/CENNOR, 1996. 89p.

OLIVEIRA, F.M.N. de. **Secagem e armazenamento da polpa de pitanga**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande. 2006. 197 p. Dissertação Mestrado

SCHARAMM, G. **A practical approach to rheology and rheometry**. Germany: Karlsruhe, 2000. 291 p.