

EFEITOS DA TEMPERATURA E CONCENTRAÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI

TÚLIO REIS TEIXEIRA*
ANDERSON DO NASCIMENTO OLIVEIRA**
AFONSO MOTA RAMOS***

Este trabalho objetivou estudar os efeitos da temperatura e da concentração da polpa de araçá-boi sobre as suas principais propriedades físicas. As polpas de araçá-boi em diferentes concentrações (4, 7, 10 e 13 °Brix) e temperaturas (10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C) foram avaliadas quanto à densidade e comportamento reológico, sendo os dados experimentais submetidos à análise de regressão. Observou-se que a densidade da polpa de araçá-boi diminuiu linearmente com a temperatura e aumentou conforme a concentração. Verificou-se comportamento pseudoplástico para a polpa em todas as condições estudadas, o qual foi descrito de forma adequada pelo modelo de Ostwald-de Waele ($R^2 \geq 0,983$). O modelo de Arrhenius explicou adequadamente a variação da viscosidade aparente das polpas conforme a temperatura, com energia de ativação na faixa de 7,30-13,29 kJ mol⁻¹. Os modelos exponenciais obtidos para explicar a influência da concentração das polpas na viscosidade aparente também apresentaram bons ajustamentos aos dados experimentais ($R^2 \geq 0,983$). Os modelos obtidos podem ser muito úteis para a indústria de alimentos.

PALAVRAS-CHAVE: ARAÇA-BOI; REOLOGIA; ARRHENIUS; DENSIDADE; VISCOSIDADE APARENTE.

- * Engenheiro de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG (e-mail: tulioreisvrb@gmail.com).
- ** Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Professor, Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, ES (e-mail: anderson.n.oliveira@ufes.br).
- *** Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Professor, Departamento de Tecnologia de Alimentos, UFV, Viçosa, MG (e-mail: amramos@ufv.br).

1 INTRODUÇÃO

O araçá-boi (*Eugenia stipitata*), espécie frutífera originária da Amazônia Ocidental, apresenta grande potencial econômico, podendo ser utilizado na elaboração de diversos produtos. O fruto tem aproximadamente 12 cm de diâmetro, polpa amarelo-creme e sabor ácido, podendo pesar até 450 g quando maduro (FRANCO e SHIBAMOTO, 2000; ANJOS e FERRAZ, 1999).

O fruto do araçá-boi apresenta polpa com sabor e aroma agradáveis, mas a elevada acidez limita seu consumo *in natura*. Sua polpa pode ser utilizada na preparação de sucos e néctares, principalmente em misturas de polpas de frutas com baixa acidez (FRANCO e SHIBAMOTO, 2000). Outra característica importante sob o ponto de vista industrial reside no elevado rendimento de polpa, além do araçá-boi ser facilmente cultivado em qualquer tipo de solo. Tais características evidenciam o potencial econômico do fruto no mercado nacional e internacional (GONÇALVES, 2008). O araçá-boi também é utilizado na fabricação de produtos como geleias, sorvetes, doces e chocolates (ANJOS e FERRAZ, 1999; FRANCO e SHIBAMOTO, 2000; SACRAMENTO, BARRETO e FARIA, 2008).

Em escala industrial, a transformação das frutas em polpa se apresenta como solução prática, pois viabiliza sua utilização como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos, favorecendo as operações de transporte e conservação. Além disso, a polpa pode ser submetida à operação de concentração para reduzir os gastos com transporte a locais distantes e ser utilizada na elaboração de novos produtos. Assim, torna-se fundamental o conhecimento das propriedades físicas e químicas das polpas para a definição correta dos processos e instalações industriais, atendendo às exigências específicas de cada produto (VIDAL *et al.*, 2000; FERREIRA *et al.*, 2002; BRANCO e GASPARETTO, 2003; DA SILVA, GUIMARÃES e GASPARETTO, 2005).

Dentre as propriedades físicas das polpas de fruta, o comportamento reológico ocupa lugar de destaque. Apesar disso, é comum a indústria desconhecer os dados reológicos específicos de certas polpas de frutas e utilizar condições semelhantes às aquelas empregadas em produtos com características similares, como o suco de laranja (VIDAL, GASPARETTO e GRANDIN, 2000). Para a otimização dos processos industriais como, por exemplo, a fabricação de sucos concentrados e para atender às exigências de mercado, a indústria deve conhecer as características específicas de cada fruta (BEZERRA, QUEIROZ e GASPARETTO, 2001).

As polpas, durante o processamento, são submetidas a variações de temperatura e concentração, o que altera as propriedades reológicas do produto. Essas alterações precisam ser consideradas para o correto dimensionamento de equipamentos e operações unitárias (DA SILVA, GUIMARÃES e GASPARETTO, 2005).

O presente trabalho teve como objetivo estudar a influência da temperatura e da concentração sobre a densidade e comportamento reológico da polpa de araçá-boi.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATÉRIA-PRIMA E PROCESSAMENTO

As frutas de araçá-boi utilizadas no experimento, provenientes do estado da Bahia, foram transportadas sob congelamento e mantidas a -18 °C até sua utilização. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Ciência de Produtos de Frutas e Hortaliças do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Após descongelamento até a temperatura ambiente, as frutas foram lavadas em água corrente para a remoção de sujidades e selecionadas, visando separar aquelas com características

impróprias ao processamento. Em seguida, as frutas foram processadas manualmente para a remoção da casca e do caroço, sendo as partes comestíveis submetidas à trituração em microprocessador PHILIPS WALITA, modelo RI 1861. Realizou-se a etapa de refino a fim de separar, por centrifugação, as fibras insolúveis. Concentrou-se a polpa refinada em evaporador rotativo MARCONI, modelo MA 120 (Piracicaba-SP, Brasil), na faixa de temperatura entre 65-70 °C, até que a polpa atingisse teor de sólidos solúveis totais de 13 °Brix. Diluiu-se essa concentração com água destilada para obtenção das demais concentrações (10, 7 e 4 °Brix).

2.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas foram realizadas somente com a polpa de araçá-boi *in natura*, em triplicata, segundo as normas do Instituto Adolfo Lutz (2004). Determinou-se o pH diretamente nas amostras por potenciometria, utilizando pHmetro marca TECNOPON, modelo MPA 210 (Piracicaba-SP, Brasil). O teor de sólidos solúveis totais foi determinado mediante leitura direta com o auxílio de refratômetro modelo ATC-1E HAND REFRACTOMETER, marca ATAGO (Saitama, Japão), sendo os resultados expressos em °Brix. Determinou-se a acidez total titulável por titulometria, utilizando fenolftaleína como indicador. Para a determinação do teor de umidade utilizou-se o método gravimétrico com emprego de calor, baseado na perda de peso das amostras submetidas ao aquecimento em estufa QUIMIS, modelo 206 MP (Diadema-SP, Brasil), a 105°C até peso constante. Utilizou-se o método volumétrico de Eynon-Lane para a determinação de açúcares das amostras. As coordenadas de cor foram determinadas diretamente em colorímetro Minolta, color reader CR-10 (Minolta, Japão), sistema CIELAB.

2.3 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE

Determinou-se a densidade da polpa com o auxílio de picnômetros nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C e nas concentrações de 4, 7, 10 e 13 °Brix, conforme descrito por Guedes, Ramos e Diniz (2010). Os picnômetros foram previamente calibrados com água destilada em processo de aquecimento, no qual o conjunto picnômetro-água foi pesado a cada 10 °C na faixa entre 10 e 60 °C. A temperatura da amostra foi controlada utilizando-se banho termostático (BROOKFIELD, modelo TC-502), com o auxílio de termômetros presentes nos próprios picnômetros.

2.4 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO

O comportamento reológico das polpas foi determinado mediante reômetro rotacional de cilindros concêntricos, tipo Searle, marca BROOKFIELD, modelo R/S plus SST 2000 (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Stoughton, EUA). As medidas foram efetuadas nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C, mantidas constantes por meio de banho termostático (Brookfield, modelo TC-502) acoplado ao equipamento. O equipamento forneceu diretamente os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação.

O tempo de corrida para cada ensaio foi de 4 minutos, completando o total de 48 pontos, sendo 2 minutos para velocidade de rotação crescente e 2 minutos para velocidade decrescente, com taxa de deformação variando de 0 a 500 s⁻¹. Utilizou-se o sensor CC14 para os ensaios nas concentrações de 7 a 13 °Brix e o sensor DGDIN para o ensaio a 4 °Brix. As leituras foram efetuadas em duplicata, utilizando-se nova amostra em cada medida.

Os valores experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação foram ajustados aos modelos reológicos de Ostwald-de Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley e Casson

(Equações 1, 2 e 3, respectivamente):

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

$$\tau = \tau_0 + K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2)$$

$$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5} \quad (3)$$

Em que:

τ = tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$ = a taxa de deformação (s^{-1}); K e K_H = índices de consistência ($Pa \cdot s^n$); K_C = viscosidade plástica de Casson ($Pa \cdot s^{1/2}$); τ_0 e K_{OC} = tensões de fluência para os modelos de Hershel-Bulkley (Pa) e Casson ($Pa^{1/2}$); n e n_H = índices de comportamento ao escoamento (adimensional).

O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente, na taxa de deformação de 100 s^{-1} , normalmente utilizada nas operações de transporte realizadas nas indústrias, foi analisado ajustando-se a equação de Arrhenius aos dados experimentais (Equação 4):

$$\eta_a = \eta_0 \times \exp(E_a/RT) \quad (4)$$

Em que:

η_a = viscosidade aparente ($mPa \cdot s$); η_0 = constante empírica ($Pa \cdot s$); E_a = energia de ativação ao escoamento ($kJ \cdot mol^{-1}$); R = constante do gás ideal ($8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ} \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$) e T = temperatura em escala absoluta (K).

Os valores de η_a foram determinados a partir do modelo reológico de melhor ajuste. A ordem de grandeza da energia de ativação mostra a dependência entre a viscosidade e a temperatura (FERREIRA, GUIMARÃES e MAIA, 2008).

O efeito da concentração sobre a viscosidade aparente da polpa de araçá-boi foi descrito mediante modelo exponencial (Equação 5):

$$\eta_a = K_1 \exp(A_1 \cdot C) \quad (5)$$

Em que:

C = concentração de sólidos solúveis ($^{\circ}Brix$); K_1 e A_1 = constantes empíricas a serem determinadas.

Para os ajustamentos dos modelos aos dados experimentais utilizou-se o programa estatístico SAS®, versão 9.1 (SAS, 2008), licenciado para a Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. Verificou-se a qualidade do ajuste do modelo por meio do nível de significância dos coeficientes (p), falta de ajustamento e coeficiente de determinação (R^2).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físico-químicas da polpa de araçá-boi utilizada neste trabalho estão apresentadas na Tabela 1.

**TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA
POLPA DE ARAÇÁ-BOI**

Variável	Média
pH	2,82 ± 0,01
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	5,15 ± 0,07
Acidez Total Titulável (g/100 mL) ¹	2,26 ± 0,07
Umidade (%)	94,69 ± 0,89
Açúcares Redutores (%)	2,32 ± 0,32
Açúcares Totais (%)	8,42 ± 0,12
L*	53,20 ± 0,85
a*	5,95 ± 0,07
b*	36,10 ± 0,14

¹ Acidez total titulável expressa em g de ácido cítrico/100 mL de polpa.

3.1 DENSIDADE

Os resultados experimentais obtidos para a densidade da polpa de araçá-boi nas diferentes concentrações e temperaturas são mostrados na Tabela 2.

**TABELA 2 - VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE OBTIDOS PARA A POLPA DE ARAÇÁ-BOI
NAS DIFERENTES CONCENTRAÇÕES (C) E TEMPERATURAS**

Densidade (kg/m ³)						
C (°Brix)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
4	1011,72	1004,54	997,00	987,10	977,62	965,79
7	1037,48	1031,03	1023,50	1015,39	1003,03	991,97
10	1038,81	1031,78	1024,82	1015,11	1003,93	991,22
13	1053,06	1047,24	1034,04	1022,98	1009,43	997,54

Os valores médios de densidade obtidos para a polpa de araçá-boi mostraram-se semelhantes aos encontrados por Ramos e Ibarz (1998) e Guedes, Ramos e Diniz (2010) para suco de laranja e polpa de melancia, respectivamente. Conforme observado na Tabela 2, a densidade da polpa de araçá-boi aumentou com a elevação da concentração e diminuiu com o aumento da temperatura. Os dados experimentais foram então submetidos à análise de regressão para a obtenção do modelo que melhor explicasse a variação da densidade da polpa de araçá-boi em função desses fatores combinados, os quais são muito úteis em cálculos de engenharia de processos. O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi uma equação do tipo polinomial (Equação 5), podendo se observar efeito linear da temperatura e polinomial da concentração sobre

a densidade. Obteve-se para esse coeficiente de determinação R^2 de 0,953. Todos os coeficientes foram significativos ao nível de 0,1 % de probabilidade.

$$\rho = 987,72 - 0,9793T + 11,602C - 0,4651C^2 \quad (6)$$

Em que:

ρ = a densidade (kg/m^3), T = a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e C = a concentração ($^{\circ}\text{Brix}$).

Modelos semelhantes foram obtidos por Diniz (2009) para polpa de manga, por Ramos e Ibarz (1998) para suco de laranja e por Guedes, Ramos e Diniz (2010) para polpa de melancia.

3.2 COMPORTAMENTO REOLÓGICO

Todos os modelos estudados ajustaram-se adequadamente aos dados experimentais, podendo ser utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa. No entanto, optou-se pelo modelo de Ostwald-de Waele por ser mais simples e muito utilizado para explicar esse comportamento em polpas de fruta.

Os comportamentos reológicos das polpas de araçá-boi na concentração de 10 $^{\circ}\text{Brix}$ e nas diferentes temperaturas estão apresentados na Figura 1, sendo que para as demais concentrações foram verificados comportamentos semelhantes. Os parâmetros do modelo Ostwald-de Waele para as diferentes concentrações e temperaturas das polpas são apresentados na Tabela 3.

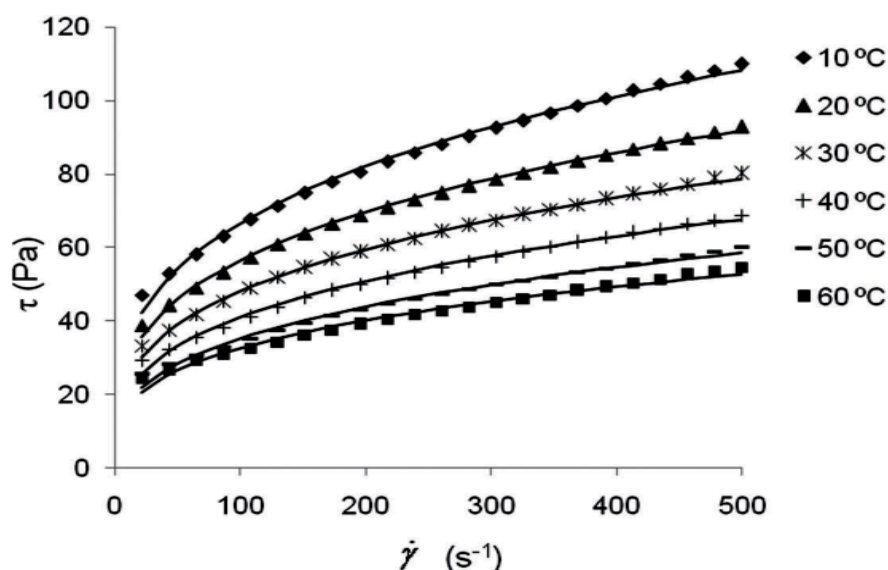


FIGURA 1 - DADOS EXPERIMENTAIS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO VERSUS TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA A POLPA DE ARAÇÁ-BOI A 10 °BRIX E EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Observou-se que o modelo de Ostwald-de Waele apresentou bom ajustamento aos dados para todas as condições experimentais estudadas ($R^2 \geq 0,983$). Verificou-se índice de comportamento ao escoamento (n) da polpa de araçá-boi menor que a unidade em todas as concentrações e temperaturas avaliadas, o que identifica fluido não newtoniano com características pseudoplásticas. Não foi possível a obtenção dos dados reológicos da polpa de araçá-boi com 7 $^{\circ}\text{Brix}$ a 50 e 60 $^{\circ}\text{C}$, pois nessas temperaturas a viscosidade tornou-se muito baixa para ser detectada pelo sensor utilizado.

TABELA 3 - PARÂMETROS DO MODELO DE OSTWALD-DE WAELE (LEI DA POTÊNCIA) PARA AS DIFERENTES CONCENTRAÇÕES (C) DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI

C (°Brix)	Parâmetro	Temperatura (°C)					
		10	20	30	40	50	60
4	K	2,66	2,58	1,73	2,12	1,85	1,70
	n	0,33	0,31	0,35	0,31	0,32	0,32
	R ²	0,986	0,988	0,991	0,994	0,992	0,994
7	K	6,99	5,53	4,29	3,34	-	-
	n	0,32	0,33	0,34	0,36	-	-
	R ²	0,999	0,999	0,995	0,987	-	-
10	K	16,56	13,96	11,68	9,72	8,16	8,16
	n	0,30	0,30	0,30	0,31	0,32	0,30
	R ²	0,994	0,997	0,997	0,993	0,989	0,983
13	K	36,08	27,73	25,83	20,84	17,83	14,86
	n	0,27	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30
	R ²	0,996	0,997	0,996	0,995	0,991	0,990

K = Índice de consistência (Pa sⁿ); n = Índice de comportamento ao escoamento; R² = Coeficiente de determinação.

Para a mesma concentração, o índice de consistência (K) diminui com o aumento da temperatura, enquanto que o índice de comportamento ao escoamento tende a se manter constante. Por outro lado, mantendo-se a temperatura constante e aumentando a concentração ocorre elevação do índice de consistência e o valor de n tende a diminuir. Assim, a polpa de araçá-boi tornou-se mais pseudoplástica com o aumento da concentração de sólidos solúveis. Resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho foram encontrados para suco de acerola com teor de sólidos solúveis na faixa de 4-16 °Brix (DA SILVA, GUIMARÃES e GASPARETTO, 2005); polpa de melancia com 8 a 35 °Brix (GUEDES, RAMOS e DINIZ, 2010); polpa de marmelo com concentração entre 12,3 a 28 °Brix (RAMOS, 1997); polpa de jabuticaba (SATO e CUNHA, 2009); polpa de manga com 10 a 30 °Brix (DINIZ, 2009); polpa de manga com diferentes concentrações de sólidos insolúveis (VIDAL e GASPARETTO, 2000; PELEGRINE, VIDAL e GASPARETTO, 2000) e polpa de abacaxi (PELEGRINE, VIDAL e GASPARETTO, 2000).

3.3 EFEITOS DA TEMPERATURA E DA CONCENTRAÇÃO

Para melhor quantificar o efeito da temperatura sobre as características reológicas dos produtos, realizou-se o ajustamento do modelo de Arrhenius aos dados experimentais de viscosidade aparente (η_a), calculados a partir do modelo de Ostwald-de Waele, com taxa de deformação de 100 s⁻¹. Os parâmetros do modelo de Arrhenius e o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente são mostrados na Tabela 4 e Figura 2, respectivamente.

TABELA 4 - PARÂMETROS DO MODELO DE ARRHENIUS PARA A POLPA DE ARAÇÁ-BOI EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES

Concentração (°Brix)	η_0 (mPa.s)	E_a (kJ.mol ⁻¹)	R ²
4	5,25	7,30	0,904
7	1,07	13,29	0,998
10	4,86	11,56	0,996
13	9,43	11,43	0,982

* η_0 = Constante empírica; E_a = Energia de ativação ao escoamento; R² = Coeficiente de determinação.

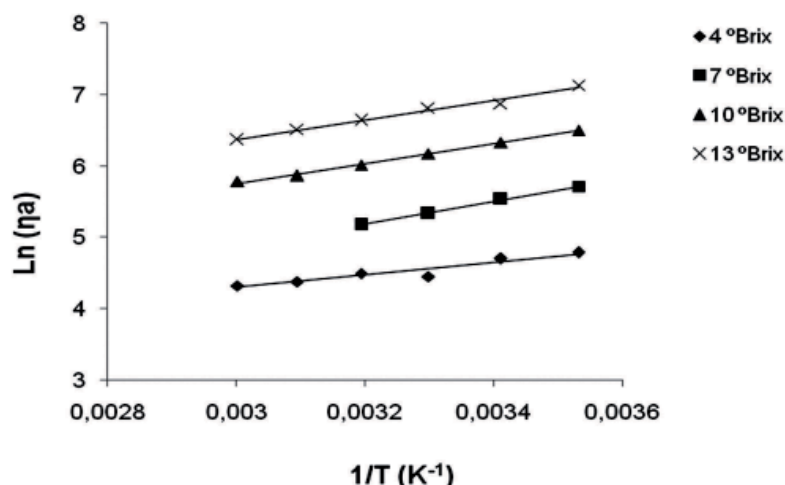


FIGURA 2 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE A VISCOSIDADE APARENTE DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES

Observou-se que o modelo de Arrhenius apresentou bom ajustamento aos dados experimentais de viscosidade aparente em função da temperatura para a polpa de araçá-boi em todas as concentrações, com coeficientes de determinação na faixa de 0,982-0,998 (Tabela 2).

A ordem de grandeza da energia de ativação ao escoamento (E_a) mostra a dependência entre a viscosidade e a temperatura (FERREIRA, GUIMARÃES e MAIA, 2008). Segundo Steffe (1996), quanto maior o valor de E_a , maior será a sensibilidade do sistema a mudanças na temperatura. Assim, a viscosidade aparente mostrou-se mais dependente da temperatura para a polpa de araçá-boi na concentração de 7 °Brix, ou seja, ela diminuiu mais acentuadamente com o aumento da temperatura (maior inclinação da curva). Por outro lado, menor influência da temperatura foi verificada para a polpa com concentração de 4 °Brix. As polpas com 10 e 13 °Brix apresentaram energias de ativação semelhantes (em torno de 11,5 kJ mol⁻¹). Esses comportamentos podem ser visualizados na Figura 2. Diniz (2009) também observou pequeno efeito da concentração sobre a energia de ativação ao escoamento para polpa de manga Ubá, assim como Guedes, Ramos e Diniz (2010) para polpa de melancia.

Os valores de energia de ativação ao escoamento determinados para a polpa de araçá-boi estão de acordo com os obtidos em trabalhos anteriores, tais como os determinados por Da Silva, Guimarães e Gasparetto (2005) para suco de acerola com concentração entre 4 e 16 °Brix, cujos valores variaram de 1,79-3,50 kcal mol⁻¹ (7,48-14,63 kJ mol⁻¹); polpa de melancia com 8-35 °Brix (12,92-16,35 kJ mol⁻¹) conforme Guedes, Ramos e Diniz (2010); polpa de manga Ubá com 10-30 °Brix (6,97-10,44 kJ mol⁻¹) segundo Diniz (2009), e polpa de cupuaçu (6,35 kJ mol⁻¹) de acordo com Ferreira, Guimarães e Maia (2008). Valores de E_a semelhantes também foram verificados para polpa de goiaba integral (6,14 kJ mol⁻¹) por Ferreira (2002), polpa de banana (7,98 kJ mol⁻¹) por Guerrero e Alzamora (1998) e polpa de açaí integral (6,27 kJ mol⁻¹), segundo Alexandre (2002).

Avaliou-se o efeito da concentração sobre a viscosidade aparente da polpa de araçá-boi utilizando modelo exponencial (Equação 4). Os parâmetros obtidos para esse modelo são apresentados na Tabela 5.

Observa-se que o parâmetro K_1 diminuiu com a elevação da temperatura, enquanto que os valores de A_1 praticamente não variaram. Tal comportamento também foi observado para suco de laranja (RAMOS, 1997), polpa de melancia (GUEDES, RAMOS e DINIZ, 2010) e purê de pêssego homogeneizado (TORALLES, VENDRUSCOLO e VENDRUSCOLO, 2006). De acordo com Guedes, Ramos e Diniz (2010), isso ocorre porque o efeito da concentração é maior em temperaturas mais baixas.

TABELA 5 - EFEITO DA CONCENTRAÇÃO SOBRE A VISCOSIDADE APARENTE DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI

T (°C)	Parâmetros estimados		
	K ₁ (Pa.s)	A ₁ (°Brix ⁻¹)	R ²
10	0,0610	0,233	0,996
20	0,0608	0,214	0,991
30	0,0418	0,238	0,996
40	0,0388	0,221	0,997
50	0,0361	0,225	0,999
60	0,0390	0,208	0,997

4 CONCLUSÃO

A densidade da polpa de araçá-boi diminuiu linearmente com a temperatura e aumentou conforme a concentração. A polpa de araçá-boi apresentou comportamento de fluido pseudoplástico em todas as temperaturas e concentrações estudadas, o qual foi adequadamente explicado pelo modelo de Ostwald-de Waele. Observou-se que a viscosidade aparente da polpa diminuiu com a elevação da temperatura e aumentou com maior concentração. Os modelos de Arrhenius e exponencial descreveram adequadamente os efeitos da temperatura e da concentração, respectivamente, sobre a viscosidade aparente da polpa de araçá-boi.

ABSTRACT

EFFECTS OF TEMPERATURE AND CONCENTRATION OVER THE PHYSICAL PROPERTIES OF ARAÇÁ-BOI PULP

This work aimed to evaluate the effects of temperature and concentration on the main physical properties of *araçá-boi* pulp. Pulps of *araçá-boi* at different concentrations (4, 7, 10 and 13 °Brix) and temperatures (10, 20, 30, 40, 50 and 60 °C) were evaluated for density and rheological behavior, and the experimental data submitted to regression analysis. It was observed that the density of *araçá-boi* pulp decreases linearly with temperature and increases with concentration. Shear thinning behavior was observed for the pulp in all studied conditions, which was well described by the model of Ostwald-de Waele ($R^2 \geq 0.983$). The effect of temperature on the apparent viscosity of *araçá-boi* pulp was adequately explained by the Arrhenius model with activation energy in the range of 7.30-13.29 kJ mol⁻¹. The exponential models obtained to explain the influence of concentration on apparent viscosity showed good adjustments to the experimental data ($R^2 \geq 0.983$). The models obtained in this work can be very useful for the food industry.

KEY-WORDS: *Eugenia stipitata*; RHEOLOGY; ARRHENIUS; DENSITY; VISCOSITY.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, D. **Conservação da polpa de açaí através da tecnologia de obstáculos e caracterização reológica**. 2002. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2002.
- ANJOS, A.M.G.; FERRAZ, I.D.K. Morfologia, germinação e teor de água das sementes de araçá-boi (*Eugenia stipitata* sp. *sororia*). *Acta Amazonica*, v.29, n.3, p.337-348, jul./set.1999.
- BEZERRA, J.R.M.V.; QUEIROZ, A.J.M.; GASPARETTO, C.A. Reologia da polpa de manga e ajuste dos parâmetros reológicos em função da temperatura. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.3, n.1, p. 37-42, 2001.
- BRANCO, I.G.; GASPARETTO, C.A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.23, p.166-171, dez.2003.

- 5 DA SILVA, F.C.; GUIMARÃES, D.H.P.; GASPARETTO, C.A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.1, p.121-126, jan./mar.2005.
- 6 DINIZ, M.D.M.S. **Caracterização do comportamento reológico e determinação de propriedades termofísicas de polpa de manga Ubá**. 2009. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- 7 FERREIRA, G.M.; GUIMARÃES, M.J.O.C.; MAIA, M.C.A. Efeito da temperatura e taxa de cisalhamento nas propriedades de escoamento da polpa de cupuaçu (*T. grandiflorum* Schum) integral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.2, p.385-389, jun.2008.
- 8 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, jul./dez.2002.
- 9 FERREIRA, G.M. **Reologia de polpas de caju (*Anacardium occidentale* L.) e goiaba (*Psidium guajava* L.)**. 2002. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002.
- 10 FRANCO, M.R.B.; SHIBAMOTO, T. Volatile composition of some Brazilian fruits: umbu-caja (*Spondias citherea*), camu-camu (*Myrciaria dubia*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*), and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.48, p.1263-1265, Apr.2000.
- 11 GONÇALVES, A.E.S.S. **Avaliação da capacidade antioxidante de frutas e de polpas de frutas nativas e determinação dos teores de flavonóides e vitamina C**. 2008. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, 2008.
- 12 GUEDES, D.B.; RAMOS, A.M.; DINIZ, M.D.M.S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de manga. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.13, n.4, p.279-285, out./dez.2010.
- 13 GUERRERO, S.N.; ALZAMORA, S.M. Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behavior of fruit purées I. Banana purée. **Journal of Food Engineering**, v.37, n.1, p. 239-256, Jun.1998.
- 14 INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4.ed. São Paulo, 2004. 1004 p.
- 15 PELEGRINE, D.H.; VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.128-131, abr.2000.
- 16 RAMOS, A.M. **Caracterización reológica y transmisión de calor en derivados de frutas en el interior de tanques agitados**. 1997. 304 p. Tesis (Doctorado en Ciencia e Tecnologia de los Alimentos) - Escola Técnica Superior d'Enginyeria Agrària de Lleida, Universitat de Lleida, Lleida, 1997.
- 17 RAMOS, A.M.; IBARZ, A. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. **Journal of Food Engineering**, v.35, n.1, p.57-63, Jan.1998.
- 18 SACRAMENTO, C.K.; BARRETO, W.S.; FARIA, J.C. Araçá boi: uma alternativa para agroindústria. **Revista Bahia Agrícola**, v.8, n.2, p.22-24, nov.2008.
- 19 SAS Institute Inc. **Statistical analysis system**. Cary, NC, USA, 2008.
- 20 SATO, A.C.K.; CUNHA, R.L. Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.4, p. 890-896, out./dez.2007.
- 21 STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. 2nd ed. Michigan: Freeman Press, 1996. 428 p.
- 22 TORALLES, R.P.; VENDRUSCOLO, J.L.; VENDRUSCOLO, C.T. Reologia de purê homogeneizado de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.9, n.1, p.1-8, jan./mar.2006.
- 23 VIDAL, J.R. M.B.; GASPARETTO, C.A. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica* L.) – efeitos dos sólidos insolúveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.2, p.172-175, maio/ago.2000.
- 24 VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.1, n.2, p.69-76, jan./jun.2000.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa concedida.