

PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO SUCO DE BURITI (*Mauritia flexuosa*)¹

ANTÔNIO MANOEL DA CRUZ RODRIGUES², CAROLINA VIEIRA BEZERRA^{3*},
IVONETE QUARESMA DA SILVA⁴, LUIZA HELENA MELLER DA SILVA⁵

RESUMO – O conhecimento do comportamento reológico de sucos de frutas tropicais é muito importante para a indústria de alimentos, uma vez que permite estabelecer condições de processamento e projetos de equipamentos relacionados à transferência de calor e massa bem como as operações unitárias envolvidas em todo o processo de obtenção. Este trabalho estudou o comportamento reológico do suco de buriti (*Mauritia flexuosa*). Os dados reológicos foram obtidos através de um viscosímetro rotacional com geometria de cilindros concêntricos (Brookfield, modelo DV II+). Os ensaios foram realizados em seis diferentes temperaturas (10; 20; 30; 40; 50 e 60°C), e os resultados experimentais foram ajustados pelos modelos Lei da Potência e Mizrahi-Berk. O suco de buriti apresentou comportamento não newtoniano nas seis temperaturas. Na quantificação da viscosidade aparente (η_{ap}), os parâmetros reológicos (K e n) foram obtidos através do ajuste do modelo Lei da Potência, que se mostrou bastante adequado na predição do comportamento reológico do suco, com coeficientes de determinação $r^2 > 0,99$ para cinco das seis temperaturas investigadas. O produto apresentou comportamento pseudoplástico ($n < 1$), e o índice de comportamento de fluxo decresceu com o aumento da temperatura. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente foi descrita pela equação de Arrhenius e discutida em termos de energia de ativação (E_a), e os valores da E_a variaram de 2,84 a 3,0 kcal/gmol para a faixa da taxa de deformação utilizada.

Termos para Indexação: Reologia, Viscosidade, Arrhenius, Buriti, *Mauritia flexuosa*.

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BURITI JUICE (*Mauritia flexuosa*)

ABSTRACT - Knowing the rheological behavior of tropical fruit juices is very important for both consumers and food industry. This study investigated the rheological behavior of buriti (*Mauritia flexuosa*) juice. The rheological data were obtained through a rotational viscometer with concentric cylinder geometry (Brookfield, model DV II+). The assays were carried out at six different temperatures (10, 20, 30, 40, 50, and 60 °C) and the experimental results were adjusted through the Power Law and Mizrahi-Berk models. The buriti juice showed non-Newtonian behavior at the six temperatures. When quantifying apparent viscosity (η_{ap}), the rheological parameters (K and n) were obtained by adjusting the Power Law, which was shown to be quite appropriate in predicting the juice's rheological behavior, with determination coefficients $r^2 > 0.99$ for five out of the six temperatures investigated. The product showed pseudoplastic ($n < 1$) behavior and the flow behavior index decreased as temperature increased. The effect of temperature on apparent viscosity was described through an Arrhenius equation and discussed in terms of energy of activation (E_a) and the values of E_a ranged from 2.84 to 3.0 kcal/gmol for the strain rate used.

Index terms: Rheology. Viscosity. Arrhenius. Buriti, *Mauritia flexuosa*.

¹(Trabalho 290/14). Recebido em: 14-11-2014. Aceito para publicação: 14-08-2015.

²Universidade Federal do Pará, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém-Pará. E-mail: amc@ufpa.br

³Universidade Federal do Pará, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém-Pará. E-mail: cvb@ufpa.br (Autor Correspondente).

⁴Universidade Federal do Pará, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Belém-Pará. E-mail: ivoneteq@yahoo.com.br

⁵Universidade Federal do Pará, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Belém-Pará. E-mail: lhmeller@ufpa.br

INTRODUÇÃO

Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) é um fruto típico das regiões alagadas e úmidas localizadas na região da Amazônia. Os frutos e seus derivados são ricos em compostos antioxidantes, sendo considerada fonte de carotenoides, ácido ascórbico, compostos fenólicos, entre outros (RODRIGUES et al., 2010; KOOLEN et al., 2013). Para a retirada da polpa, algumas técnicas, tais como o remolho em água por 24 horas a 3 dias ou a utilização de água quente por 40- 60 minutos podem ser utilizadas para amolecer a estrutura do fruto e facilitar o despolpamento (SAMPAIO; CARAZZA, 2012). A polpa obtida é constituída de uma massa de cor alaranjada, com sabor ligeiramente ácido e adocicado, sendo empregada no processamento de sucos, sorvetes e doces (SILVA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2012).

Os sucos de frutas, assim como outros produtos derivados de frutas (néctar, doces, sorvete), são sistemas bifásicos, compostos por partículas sólidas dispersas em um meio aquoso. Durante seu processamento, esses sistemas alimentares são expostos a vários tipos de tensão, provocadas pelo escoamento através de tubulações, bombas, trocadores de calor, misturadores, filtros, entre outros equipamentos de processamento. Estudos demonstram que as condições de processamento (centrifugação, peneiramento, concentração, temperatura) têm efeito decisivo na microestrutura e propriedades reológicas de sistemas alimentares líquidos (TONON et al., 2009; FILHO et al., 2011).

Neste contexto, o conhecimento das características reológicas torna-se relevante no controle de qualidade, controle do processo e concepção das linhas de processamento e desenvolvimento de novos produtos nas indústrias de alimentos (HAMINIUK et al., 2009; BEZERRA et al., 2013; AUGUSTO et al., 2013). Muitos fatores relacionados à matriz alimentícia, como a concentração de sólidos e o tamanho das partículas, e relacionados ao processamento, tais como a temperatura, podem influenciar diretamente no comportamento reológico de sucos de frutas (CHIN et al., 2009; QUEK et al., 2013).

A descrição desse tipo de comportamento pode ser feita através de modelos que relacionam tensão de cisalhamento e taxa de deformação, facilitando, assim, os cálculos de engenharia (KECHINSKI et al., 2011; QUEK et al., 2013). Vários modelos reológicos são utilizados para descrever o comportamento do fluxo de alimentos, tais como newtoniano (um parâmetro), lei de potência, (dois parâmetros) e modelos de Mizrahi-Berk (três parâmetros). Em

geral, a maioria dos fluidos alimentícios derivados de frutas exibe um comportamento não newtoniano (PELEGRINE et al., 2000; SATO; CUNHA, 2009).

Devido à importância da caracterização reológica da modelagem de fluidos alimentícios, o número de estudos científicos publicados sobre este assunto tem aumentado significativamente nos últimos anos (DURAN; COSTELL, 2007; MACEIRAS et al., 2007; VANDRESEN et al., 2009; SATO; CUNHA, 2009; QUEK et al., 2013). Entretanto, há uma escassez de informações relacionadas ao comportamento reológico de frutos da região amazônica, o que pode dificultar suas utilizações como matérias-primas em potencial na área industrial de sucos, uma vez que os parâmetros reológicos são fundamentais para o processamento de sucos. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento reológico do suco de buriti, sendo avaliado o efeito da temperatura sobre tal comportamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção do suco de buriti

Os frutos de buriti foram higienizados em água corrente e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio (20ppm) por 15 minutos, conforme estabelecido por Barros et al. (2014). Após o enxágue, os frutos foram mantidos em água aquecida a 90 °C por 1 hora, para facilitar o despolpamento. Estas condições foram utilizadas, pois representam as condições de pré-preparo aplicadas pelos comerciantes locais. Após o amolecimento, os frutos foram introduzidos em despulpadeira industrial, semelhante à utilizada na linha de processamento do açaí, obtendo-se diretamente a polpa de buriti. O suco obtido resultou da mistura de água a uma quantidade fixa de polpa (50%), atendendo desta forma à Instrução Normativa nº12 (BRASIL, 2003), que define parâmetros para classificação de suco.

Caracterização físico-química do suco

A amostra do suco de buriti foi analisada segundo a metodologia da AOAC (CUNNIFF, 1997), sendo realizadas as seguintes análises: umidade, determinada gravimetricamente, conforme o método 16192; lipídios totais determinados conforme método 948.22 em extrator Soxhlet (marca MARCONI, Brasil, modelo MA-487/6/250); teor de sólidos solúveis (°Brix), medido diretamente em um refratômetro de bancada (QUIMIS, Modelo ABBE Q-109B, Brasil), de acordo com o método 932.12; pH, determinado por meio de leitura direta em potenciômetro (QUIMIS, Modelo Q-400A,

Brasil), conforme método 945.10; acidez titulável, determinada de acordo com a metodologia 942.15, sendo expressa em ácido cítrico; e atividade de água determinada, utilizando-se de um higrômetro eletrônico AquaLab, 3TE (Decagon Devices Inc., USA).

Medidas Reológicas

As propriedades reológicas foram determinadas utilizando viscosímetro Brookfield (Brookfield Engineering Laboratories, EUA: modelo DV-II+), equipado com Spindle, DIN-85, que permite leitura de taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) na faixa de 0 a 258 s^{-1} , e o acessório UL, adaptador para pequeno volume de amostra (20 mL), (Brookfield Engineering Laboratories, EUA). No controle de temperatura, foi empregado um banho termostático Haake B3 (Haake, Karlsruhe, Alemanha). As medidas foram realizadas nas temperaturas de 10; 20; 30; 40; 50 e 60 °C, por incluírem a temperatura típica de prateleira do produto acabado (refrigeração e/ou ambiente) e a temperatura representativa de pasteurização nas indústrias (pasteurização lenta 62°C – 65°C/ 30 minutos) (FERREIRA et al., 2008; CORREA et al., 2008). Os dados de viscosidade (η), tensão de cisalhamento (σ) e taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) foram obtidos utilizando-se do *software* WinGather® (versão V1.1, Brookfield Engineering Laboratories, EUA). O procedimento de medida para todas as amostras foi realizado em triplicata, sendo obtidos então valores de tensão de cisalhamento relativos às taxas de deformação aplicadas, que variaram na faixa de 0 a 258 s^{-1} , sendo que, em cada repetição, utilizou-se de nova amostra para evitar possíveis efeitos de tempo. O valor final dos parâmetros foi a média resultante das três leituras.

Os dados experimentais obtidos de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação foram avaliados pelo ajuste dos modelos reológicos Lei da Potência (Equação 1) e Mizrahi-Berk (Equação 2), utilizando o *software* STATISTICA (versão 5.5, Statsoft– USA).

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

$$\tau^{0,5} = K_{oM} + K_M (\dot{\gamma})^n \quad (2)$$

Em que: τ é a Tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$ é a Taxa de deformação (s^{-1}); k_{oM} é a raiz quadrada da tensão inicial de Mizrahi-Berk ($Pa^{1/2}$); k e k_M são os Índices de consistência da Lei da Potência ($Pa.s^n$) e de Mizrahi-Berk ($Pa^{1/2}.s^n$), respectivamente, e n é o Índice de comportamento (adimensional).

A análise desse ajuste foi feita por intermédio dos parâmetros estatísticos: coeficiente de

determinação (r^2) (Equação 3), qui-quadrado (χ^2) (Equação 4) e a soma dos quadrados dos resíduos SQR (Equação 5).

$$r^2 = \pm \frac{\sum (y_{pred} - \tilde{y})^2}{\sum (y_{med} - \tilde{y})^2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(y_{med} - y_{pred})^2}{y_{pred}} \right] \quad (4)$$

$$SQR = \sum_{i=1}^n (y_{med} - y_{pred})^2 \quad (5)$$

Em que: y_{pred} é o valor previsto pelo modelo; y_{med} é o valor experimental, e \tilde{y} é a média amostral.

A influência da temperatura sobre a viscosidade foi avaliada pelos valores da energia de ativação determinados a partir da variação da viscosidade aparente, calculada pela Equação 6, com a temperatura mediante o ajuste de Arrhenius através de regressão linear (Equação 7).

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (6)$$

Em que: τ é a Tensão de cisalhamento (Pa), e $\dot{\gamma}$ é a Taxa de deformação (s^{-1}).

$$\eta_a = \eta_o \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (7)$$

Em que: η_a é a viscosidade aparente (Pa.s); η_o o fator pré-exponencial (Pa.s); E_a é a energia de ativação para escoamento viscoso ($kcal.gmol^{-1}$); R é a constante universal dos gases ($1,987 \times 10^{-3} kcal.gmol^{-1}.K^{-1}$), e T é a temperatura absoluta (K).

RESULTADO E DISCUSSÃO

O suco de buriti apresentou em sua composição (Tabela 1), como componente majoritário, a água (89,64 g/100 mL de suco), o que justifica os valores elevados para a atividade de água (a_w), como também determina a característica de fluidez desse produto. Pode ser considerado como um suco de baixo teor de gordura, segundo RDC nº54 (BRASIL, 2012) (máximo de 3 g/100 g de alimento ou produto) e classificado como um produto muito ácido ($pH < 4,0$), segundo classificação descrita por Bobio e Bobio (2003). Apesar de não existir um padrão de identidade

e qualidade específico para o suco de buriti, o valor de sólidos solúveis (Brix) encontrado é compatível com os valores mínimo (5°Brix) e máximo (10° Brix) para sucos não adoçados, estabelecidos na instrução normativa nº 12, de 2003 (BRASIL, 2003).

Nas Figuras 1 e 2, são apresentados os valores experimentais das tensões e taxas obtidos para o suco de buriti nas diferentes temperaturas, juntamente com os valores preditos pelos modelos Lei da Potência (Equação 2) e Mizrahi-Berk (Equação 3), respectivamente. Nenhuma mudança significativa foi observada entre a tendência da curva de subida da taxa de cisalhamento de 6,0 a 235 s⁻¹ e a tendência de descida dessa curva para taxa de cisalhamento de 235 a 6,0 s⁻¹; dessa forma, os valores dos parâmetros reológicos considerados foram a média entre as duas curvas (subida e descida), para a obtenção do gráfico da taxa de deformação versus a tensão de cisalhamento.

Observa-se, nas Figuras 1 e 2, o comportamento não newtoniano do suco de buriti através da pseudoplasticidade caracterizada através da inclinação das curvas de escoamento, que diminuíram com o aumento da taxa de deformação. Observa-se ainda que, para taxa de deformação fixa, a tensão de cisalhamento diminuiu com o aumento da temperatura. De acordo com Hassan e Hobani (1998), com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam devido à redução das forças intermoleculares.

A análise do ajuste dos modelos foi feita com base nos parâmetros coeficiente de determinação (r²) (mede a proporção da variação total da média explicada pela regressão), definido como razão entre a soma quadrática total, pelo qui-quadrado (χ²), que expressa a diferença entre valores obtidos experimentalmente, e pela soma dos resíduos, a qual identifica o erro no ajuste do modelo.

Quanto maior for o valor de χ², maior será a discrepância entre as frequências observadas e esperadas. Quanto menor o valor de r², maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de r² (máximo = 1) e baixos valores de χ² (mínimo = 0) (PANCHARIYA et al. 2002).

Os parâmetros de escoamento relativos aos modelos Lei da Potência e Mizrahi-Berk estão listados nas Tabelas 2 e 3. Foi verificado em toda a faixa de temperatura estudada, que o coeficiente de determinação (r²) para ambos os modelos foi maior do que 0,9, e χ² e SQR apresentaram valores baixos, próximos a zero, ao nível de 95% de confiança, que confirmam o bom ajuste dos modelos aos dados

experimentais obtidos neste estudo.

Analisando os resultados das Tabelas 2 e 3, observou-se que, com o aumento da temperatura, houve aumento do índice de comportamento (n) e diminuição no índice de consistência (k) para o modelo Lei da Potência. Foi observado, também, que os valores dos parâmetros k_{oM} e k_M do modelo Mizrahi-Berk decresceram com o aumento da temperatura.

Para os dois modelos, verifica-se que o índice de comportamento (n) em todas as temperaturas analisadas apresentou valores inferiores a um (1), confirmando um comportamento não newtoniano e tipicamente pseudoplástico para as amostras de suco de buriti. Comportamento semelhante foi observado em outros estudos de caracterização reológica de fluidos derivados de frutas (PELEGRINE et al., 2002; SILVA et al., 2005; DAK et al., 2007; GUEDES et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011; BEZERRA et al., 2013; FARAONI et al., 2013).

Neste estudo, na quantificação da viscosidade aparente (η_{ap}), optou-se pelo modelo Lei da Potência, que se mostrou bastante adequado na predição do comportamento reológico do suco de buriti, com coeficientes de determinação r² > 0,99, para cinco das seis temperaturas investigadas. Também se observa na Tabela 3 que os valores obtidos para τ₀ foram muito baixos, pois variaram de 0,089 a 0,503 Pa, indicando que o modelo da Lei da Potência é o mais apropriado para descrever o comportamento reológico deste produto. Comportamento semelhante foi observado no estudo realizado por Faraoni et al. (2013) na avaliação do comportamento reológico de sucos mistos de frutas tropicais.

Para o modelo da Lei da Potência, a viscosidade aparente pode ser definida como, Eq.8:

$$\eta_a = \eta_o \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (8)$$

Na Figura 3, apresenta-se a relação entre a taxa de deformação e a viscosidade aparente (calculada utilizando a Equação 7) para o suco de buriti. Conforme esperado, observa-se o decréscimo da viscosidade aparente, considerando isoladamente o aumento da taxa de deformação.

Este comportamento pode ser explicado pela quebra estrutural das moléculas, devido às forças hidrodinâmicas geradas e ao aumento no alinhamento das moléculas constituintes (ALPARSLAN; HAYTA, 2002). Pequenas forças hidrodinâmicas em baixa velocidade de deformação não são capazes de perturbar os entrelaçamentos entre as moléculas; logo, maior é a viscosidade inicial. No entanto, se

aumentamos a velocidade de deformação, as forças hidrodinâmicas irão dominar, e o rompimento das ligações entre as moléculas; passa a ser maior, deste modo causando uma redução na viscosidade. Ainda na Figura 3, observa-se o decréscimo da viscosidade aparente, considerando-se isoladamente o aumento com o aumento da temperatura do suco de buriti, o que é um comportamento comum para sucos de frutas, assim como para outros produtos derivados de frutas (néctar, polpas concentradas, sorvetes), pois a maioria deles apresenta-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. O aumento da temperatura promove a diminuição da viscosidade na fase líquida, o que permite maior mobilidade das partículas (proteínas, açúcares, fibras, lipídios) em suspensão e, conseqüentemente, facilitando o alinhamento dos constituintes sólidos (VIDAL, 2006; ANTONIO et al., 2009). Observa-se também (Figura 3) para valores de taxa de deformação maiores que 100 s^{-1} , e a viscosidade aparente do suco de buriti tende a ficar constante para o intervalo de temperatura estudado, de 10 a 60 °C. Do ponto de vista industrial, a diminuição da viscosidade aparente facilita o escoamento do fluido e a troca de calor durante o processamento. Foi observado também menor perda de carga durante o escoamento, podendo, desta forma, diminuir os custos de potência com o bombeamento e, conseqüentemente, os custos energéticos (LUCENA et al., 2005; BRAGA et al., 2013; BEZERRA et al., 2013).

Mediante um ajuste não linear dos dados de viscosidade aparente (η_a) à equação tipo Arrhenius (Equação 6), determinaram-se os valores de energia de ativação e do parâmetro η_0 das polpas nas

temperaturas de 10°C a 60°C. Os parâmetros estão apresentados na Tabela 4 para a viscosidade aparente, nas taxas de 100; 150 e 200 s^{-1} , pois estes constituem valores importantes nas operações industriais de processamento, onde a taxa de deformação é sempre maior que 100 s^{-1} (STEFFE, 1996). A equação do tipo Arrhenius apresentou uma boa descrição do efeito da temperatura na viscosidade aparente do suco de buriti, nas taxas de deformação utilizadas, como pode ser visto na Figura 4. A variação explicada em torno da média (r^2) apresentou valores superiores a 0,98. Observa-se (Tabela 4) que os valores de energia de ativação variaram de 2,84 a 3,0 kcal/gmol na faixa de Q e Q_{mi} , comparáveis aos apresentados por outros estudos. Braga et al. (2013) observaram que a uma taxa de deformação de 103 s^{-1} , a energia de ativação de suco de abacaxi foi de 4,54 kcal/gmol. Silva et al. (2005), estudando suco de acerola com 4,0 °Brix, obtiveram energia de ativação de 3,50 kcal/gmol a uma taxa de deformação de 100 s^{-1} . Keshani et al. (2012), avaliando o efeito da temperatura no comportamento reológico do suco de pomelo com 20 °Brix e taxa de deformação de 100 s^{-1} , encontraram energia de ativação de 2,174 kcal/gmol. Antonio et al. (2009), estudando o comportamento reológico de suco de mirtilo com taxa de deformação de 100 s^{-1} e 14,46 °Brix, encontraram energia de ativação de 2,241 kcal/gmol.

Neste estudo, em que foi considerada constante a concentração de sólido solúvel, observou-se (Figura 4) que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da temperatura e da taxa de deformação.

TABELA 1- Parâmetros físico-químicos do suco de buriti.

Variáveis	Suco de Buriti
Umidade (g/100 g)	89,64 ± 0,31
Lipídeos (g/100 g)	0,98 ± 0,01
pH	3,63 ± 0,02
Sólidos Solúveis (°Brix) a 20°C	4,35 ± 0,03
Acidez Total Titulável (% ácido cítrico)	0,59 ± 0,01
Densidade (g/cm ³) a 25 °C	1,04 ± 0,01
Atividade de água (a_w)	0,98 ± 0,01

TABELA 2- Parâmetro do ajuste do modelo Lei da Potência para o suco de buriti.

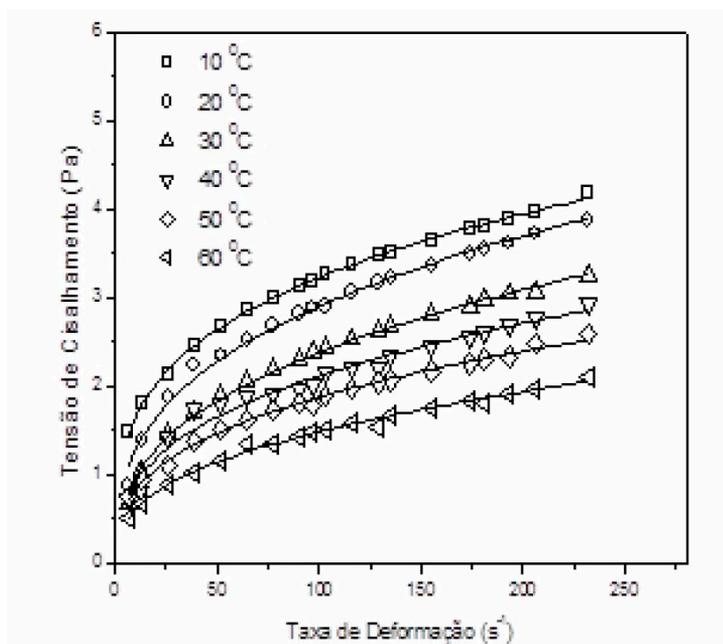
Variáveis	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
k (Pa s ⁿ)	0,851	0,582	0,416	0,408	0,372	0,256
n	0,289	0,349	0,378	0,357	0,351	0,382
χ^2	6,0x10 ⁻⁴	5,7x10 ⁻³	2,39x10 ⁻³	0,010	1,42x10 ⁻³	1,52x10 ⁻³
SQR	0,010	0,097	0,041	0,171	0,024	0,026
R ²	0,9989	0,9917	0,9954	0,9735	0,9949	0,9925

TABELA 3- Parâmetro do ajuste do modelo Mizrahi-Berk para o suco de buriti.

Variáveis	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
τ_0 (Pa)	0,503	0,410	0,265	0,144	0,216	0,089
K_{0M} (Pa)	0,709	0,640	0,515	0,379	0,465	0,298
K_M (Pa s ⁿ)	0,339	0,271	0,259	0,339	0,250	0,276
N	0,251	0,294	0,297	0,249	0,278	0,260
χ^2	0,00157	0,0135	6,95x10 ⁻³	0,012	1,24x10 ⁻³	1,84x10 ⁻³
SQR	0,025	0,216	0,111	0,193	0,019	0,029
R ²	0,9975	0,9814	0,9875	0,9702	0,9958	0,9915

TABELA 4- Parâmetros da equação de Arrhenius para diferentes taxas de deformação.

Taxa de Deformação (s ⁻¹)	η_0 (mPa. s)	E_a (kcal/gmol)	R ²
100	0,165	3,00	0,9876
150	0,157	2,87	0,9859
200	0,138	2,84	0,9841

**FIGURA 1-** Modelo da Lei da Potência ajustado ao comportamento reológico do suco de buriti.

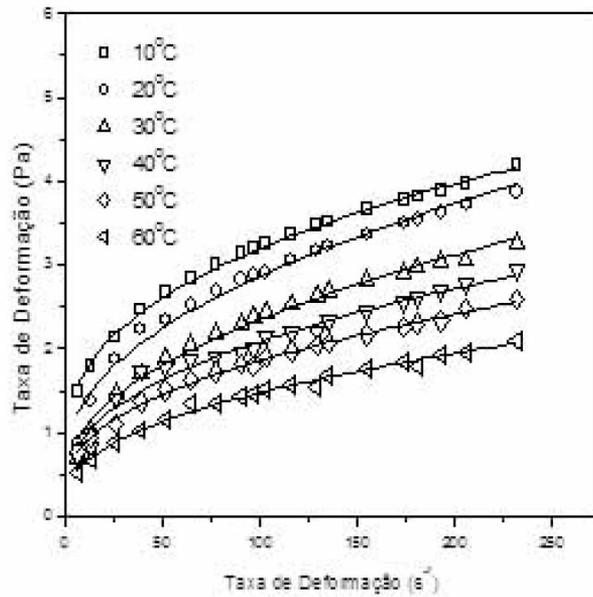


FIGURA 2 - Modelo Mizrahi-Berk ajustado ao comportamento reológico do suco de buriti.

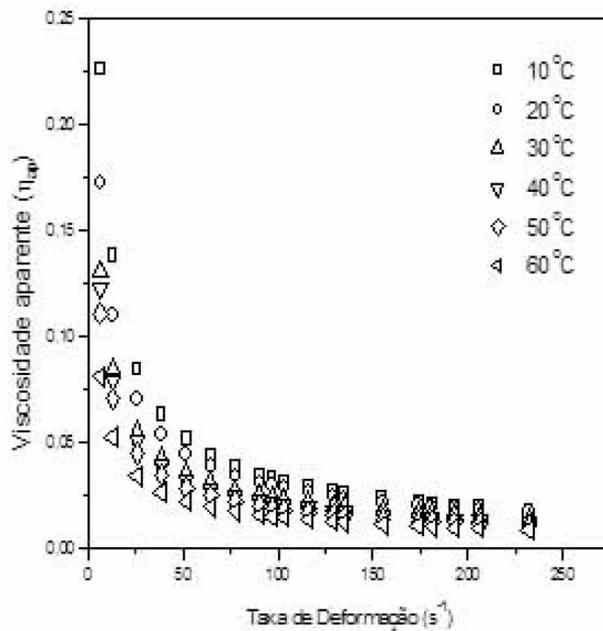


FIGURA 3- Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do suco de buriti calculada pelo modelo Lei da Potência.

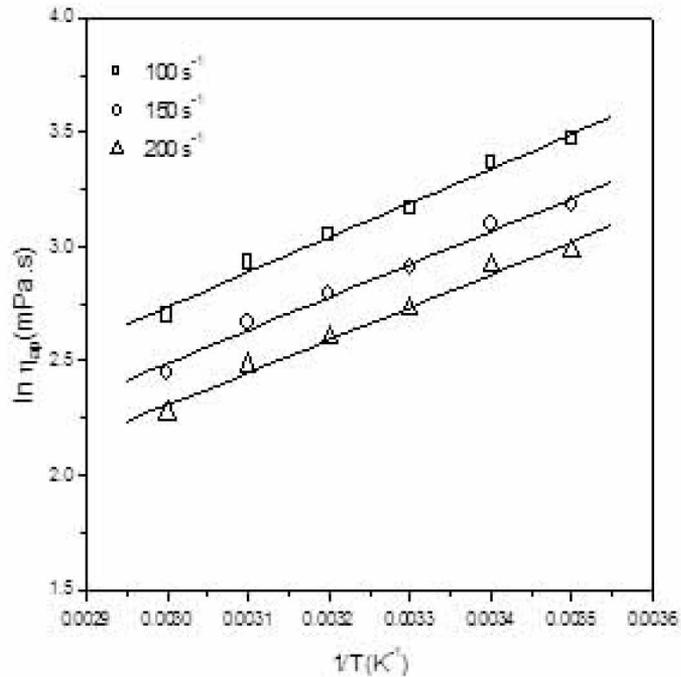


FIGURA 4- Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente do suco de buriti ajustado pela equação de Arrhenius.

CONCLUSÃO

Foi verificado, em toda a faixa de temperatura estudada, que os coeficientes de determinação (r^2) para os dois modelos empregados na predição do comportamento reológico do suco de buriti foram elevados, maiores do que 0,97, e χ^2 e SQR apresentaram valores baixos, próximos a zero, ao nível de 95% de confiança, que confirmam o bom ajuste dos modelos aos dados experimentais obtidos, mas o modelo Lei da Potência foi o selecionado pela sua ampla aplicação tecnológica e pelos baixos valores da tensão inicial (τ_0 , médio 0,271) encontrados para o modelo de Mizrahi-Berk.

Os valores dos índices de comportamento ao escoamento (n) para o suco de buriti, em toda a faixa de temperatura estudada, foram inferiores à unidade, caracterizando o suco como um fluido não newtoniano, com características pseudoplásticas.

A viscosidade aparente do suco de buriti foi correlacionada satisfatoriamente em função da temperatura, mediante equação de Arrhenius, apresentando valores de r^2 superiores a 0,98. Os valores de E_a variaram de 3,00 a 2,84 kcal.gmol⁻¹ com o aumento da taxa de deformação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte efetuado pelo: CNPq (Processo 620209/2008-9), CAPES/PROCAD- NF (processo 2256/2008) e PROPESP/UFPA para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALPARSLAN, M; HAYTA, M. Rheological and sensory properties of Permez (grape molasses)/tahin (sesame paste) blends. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.54, n1, p.89-93, 2002.
- ANTONIO, G.C; FARIAS, F.R; TAKEITI, C.Y; PARK, K.J Rheological behaviours of blueberry. **Food Science and Technology**, Campinas, v.29, n.4, p.732-737, 2009.
- AUGUSTO, P.E.D; IBARZ, A; CRISTIANINI, M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: creep and recovery behaviors. **Food Research International**, United Kingdom, v.54, p.169-176, 2013.

- BARROS, Z.M.P.; SALGADO, J.M.; MELO, P.S.; BIAZOTTO, F.O. Enrichment of Commercially-Prepared Juice With Pomegranate (*Punica granatum* L.) Peel Extract as a Source of Antioxidants. **Journal of Food Research**, Toronto, v.3, n.6, p.170-187, 2014.
- BEZERRA, C.V; SILVA, L.H.M; COSTA, R.D.S; MATTIETTO, R.A; RODRIGUES, A.M.C. Rheological properties of tropical juice. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.16, n.2, p.155-162, 2013.
- BOBIO, F.O; BOBIO, P.A. **Introdução a química dos alimentos**. 3.ed. São Paulo: Varela, 2003, 238 p.
- BRAGA, A.C.C; RODRIGUES, A.M.C; SILVA, L.H.M; ARAUJO, L.A. Avaliação da influência da temperatura e do tratamento enzimático no comportamento reológico do suco de abacaxi pérola (*Ananas Comosus* L. merr). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.226-237, 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução normativa nº12 de 4 setembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade gerais para sucos tropicais de abacaxi, acerola, cajá, caju, goiaba, graviola, mamão, manga, mangaba, maracujá e pitanga; e os padrões de identidade e qualidade dos néctares de abacaxi, acerola, cajá, caju, goiaba, graviola, mamão, manga, maracujá, pêssego e pitanga. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 set. 2003.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento Técnico para regulamentação de informação nutricional complementar, RDC nº54 de 12 de dezembro de 2012. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 out. 2006.
- CHIN, N.L; CHAN, S.M; YOSUF, Y.A; CHUAH, T.G; TALIB, R.A. Modelling of rheological behaviours of pummelo juice concentrates using master-curve. **Journal of Engineering**, Oxford, v.93, n.1, p.134-140, 2009.
- CORREIA, L.F.M; FARAONI, A.S; PINHEIRO-SANT'ANA, H.M. Efeitos do processamento industrial de alimentos sobre a estabilidade de vitaminas. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.1, p.83-95, 2008.
- CUNNIFF, P. (Ed.). **Official methods of analysis**. 16th ed. Gaithersburg: AOAC, 1997. 1.v.
- DAK, M., VERMA, R.C., JAAFFREY, S.N.A. Effect of temperature and concentration on rheological properties of "Kesar" mango juice. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.80, n.4, p.1011-1015, 2007.
- DURAN, L; COSTELL, E. Rheology of apricot puree: characterization of flow. **Journal of Texture Studies**, United Kingdom, v.13, n.1, p.43-50, 2007.
- FARAONI, A.S; RAMOS, A.M; GUEDES, D.B; MOACIR, M.R; PINTO, R. Rheological properties of mixed juice of mango, guava and acerola with added phytochemicals. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.16, n.1, p.21-28, 2013.
- 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 (*Theobroma grandiflorum Schum*) integral. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n. 2, p. 385 -389, 2008.
- FILHO, Z.A; TELIS, V.R.N; OLIVEIRA, E.B; COIMBRA, J.S.R; ROMERO, J.T. Rheological and fluid dynamics properties of sugarcane juice. **Biochemical Engineering Journal**, Netherlands, v.53, n.3, p.260-265, 2011.
- GUEDES, D.B; RAMOS, A.M; DINIZ, M.D.M.S. Effect of temperature and concentration on the physical properties of watermelon pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.13, n.4, p.279-285, 2010.
- HAMINIUK, C.W.I; SIERAKOWSKI, M.R; IZIDORO, D.S; MACIEL, G.M; SCHEER, A.P; MASSON, M.L. Comportamento reológico de sistemas pécticos de polpas de frutas vermelhas. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.1, p.225-231, 2009.

TONON, R.V; ALEXANDRE, D; HUBINGER, M.D; CUNHA, R.L. Steady and dynamic shear rheological properties of açai pulp (*Euterpe oleraceae* Mart). **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.92, n.4, p.425-431, 2009.

VANDRESEN, S.; QUADRI, M. G. N.; SOUZA, J. A. R. D.; HOTZA, D. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. **Journal of Food Engineering**, United Kingdom, v.92, n.3, p.269-274, 2009.

VIDAL, J.R.M.B. Propriedades reológicas da polpa de manga centrifugada. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.30, n.5, p.955-960, 2006.