

Efeito da Temperatura no Comportamento Reológico de Pó de Açai (*Euterpe oleracea*) Reconstituído

Effect of Temperature on the Rheological Behavior of Reconstituted Açai Powder (*Euterpe oleracea*)

Alessandra Pinheiro Góes Carneiro^{a*}; Larissa Morais Ribeiro da Silva^a; Raimundo Wilane de Figueiredo^a; Paulo Henrique Machado de Sousa^a; Geraldo Arraes Maia^a

^aUniversidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, CE, Brasil

*E-mail: alessandrapgc@hotmail.com

Recebido: 19 de junho de 2012; Aceito: 19 de setembro de 2012

Resumo

O açai é uma fruta típica da Amazônia, cuja planta é uma palmeira tropical que se desenvolve principalmente no norte do Brasil, porém atualmente com desenvolvimento em outras regiões e outros países como a Venezuela. A polpa de açai tem sido submetida ao processo de desidratação, que além de ser utilizado como um método de conservação, impedindo a deterioração e perda do valor comercial, objetiva o beneficiamento do alimento, possibilitando de instalação de um novo produto no mercado. A operação de secagem é o método de conservação de alimentos mais antigo e está entre os mais importantes, mas apresenta algumas desvantagens como alto consumo de energia e emprego de temperaturas elevadas. As características finais de produtos desidratados, como o pó de açai, dependem de algumas variáveis de processo, tais como as características reológicas, como a viscosidade. Portanto, é importante que estas variáveis sejam estudadas, a fim de se obter produtos com melhor qualidade de solubilidade e reconstituição do pó e melhor efetividade no processo industrial. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura no comportamento reológico de pó de açai reconstituído. As medidas reológicas foram feitas nas temperaturas de 8, 15, 25, 35 e 45 °C. Os modelos de Newton e Casson foram ajustados aos parâmetros reológicos através de regressão não linear. Para todas as temperaturas estudadas, observou-se que o aumento da taxa de deformação acarretou aumento da tensão de cisalhamento. O pó de açai reconstituído, nas diferentes temperaturas estudadas, apresentou comportamento Newtoniano.

Palavras-chave: Conservação de Alimentos. Indústria de Processamento de Alimentos. Resistência ao Cisalhamento.

Abstract

Açai is a typical fruit from the Amazon. The açai plant is a tropical palm tree that grows mainly in North of Brazil, but with current development in other regions and countries such as Venezuela. The pulp of açai has been submitted to dehydration process, used as a method of food preservation, which avoids spoilage and commercial losses and also aim at the food improvement. The drying operation is the oldest and one of the most important methods for food preservation, but it has some disadvantages like high energy consumption and use of high temperatures. The final characteristics of dehydrated products like the açai powder depend on some process variables, such as rheological properties, like the viscosity. Thus, it is important to study these variables in order to obtain products with better quality. This study aimed to evaluate the effect of temperature on the rheological behavior of reconstituted açai powder. The rheological measurements were carried out at 8, 15, 25, 35 and 45 °C. Newton and Casson models were fitted to rheological parameters using nonlinear regression. For all temperatures studied, it was observed that the increase of the shear rate resulted in an increase of the shear stress. The reconstituted açai powder studied at different temperatures showed Newtonian behavior.

Keywords: Food Preservation. Food-Processing Industry. Shear Strength.

1 Introdução

O açai é uma fruta típica da Amazônia cuja planta é uma palmeira tropical que se desenvolve principalmente no norte do Brasil, mais precisamente na região amazônica¹. Populações espontâneas também são encontradas nos Estados do Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Tocantins e em países da América do Sul (Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname e Guiana) e da América Central (Panamá). Porém, o Estado do Pará é o maior centro produtor e consumidor de açai².

A porção comestível do açai representa 17% do peso do fruto, sendo os 83% restantes equivalentes ao volume do caroço³. A polpa de açai, além de apresentar um alto valor energético, também é rica em fibras, vitamina E, proteínas, minerais e ácidos graxos essenciais como Ômega-6 e Ômega-9. Ultimamente, o açai vem chamando a atenção pelo alto teor de

antocianinas presente em sua composição^{1,3,4}. As antocianinas tornaram-se conhecidas por suas diversas propriedades farmacológicas e medicinais, incluindo anticarcinogênica, anti-inflamatória e antimicrobiana, prevenindo a oxidação de proteínas de baixa densidade (LDL), enfermidades cardiovasculares e doenças neurológicas⁵⁻⁷.

Atualmente, vários estudos têm sido realizados com o açai, confirmando seus benefícios à saúde, sendo considerado uma fruta com elevada capacidade antioxidante^{4,7,8,12,13} e elevado teor de compostos fenólicos^{4,9}, características estas também relatadas no pó de açai^{5,10}. O açai também possui elevado valor de vitamina E^{4,11}, carotenóides totais, antocianinas^{1,4,12} e fibras dietéticas^{4,13}.

O açai é considerado uma fruta altamente perecível, apresentando curta vida de prateleira, portanto as indústrias

processadoras dessa fruta estão constantemente à procura de novos processamentos da polpa¹⁴. Com o crescente aumento da busca por alimentos nutritivos e práticos para o consumo, pesquisas envolvendo processamento e caracterização de produtos vegetais, como o açaí, têm sido impulsionadas.

Dessa forma, a polpa de açaí tem sido submetida ao processo de desidratação^{15,16}, que além de ser utilizada como um método de conservação, impedindo a deterioração e perda do valor comercial, objetiva também o beneficiamento do alimento, tendo-se como consequência a instalação de um novo produto no mercado, o que usualmente vem motivando os investimentos na produção agrícola, face aos benefícios monetários que derivam da transformação do produto¹⁷.

Processos que incluem a remoção de água permitem estender a vida de prateleira do produto por longos períodos. A operação de secagem é o método mais antigo e está entre os mais importantes na conservação de alimentos, mas apresenta algumas desvantagens como alto consumo de energia e o emprego temperaturas elevadas¹⁸.

O comportamento molecular de uma substância é fortemente influenciado pela temperatura, devido a trocas em suas interações inter e intramoleculares¹⁹.

A reologia estuda a deformação e fluxo de sólidos e fluidos sob a influência de forças mecânicas. As determinações reológicas de um produto no estágio de produção podem ser úteis no controle de qualidade. A microestrutura de um produto pode ser correlacionada com o comportamento reológico, permitindo desenvolver novos materiais²⁰.

As características finais de produtos desidratados, destacando-se o pó de açaí, dependem de algumas variáveis de processo, tais como as características reológicas, como a viscosidade. Portanto, é importante que estas variáveis sejam estudadas, a fim de se obter produtos com melhor qualidade de solubilidade e reconstituição do pó e melhor efetividade no processo industrial.

Para a indústria de alimentos, o estudo reológico é de grande utilidade em projetos de engenharia de processos, como o dimensionamento de trocadores de calor, sistemas de bombeamento, filtração e concentração, e avaliação de adequação tecnológica²¹. Dados relativos ao efeito da temperatura em pós de frutas são ainda escassos na literatura^{15,16}. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura no comportamento reológico de pó de açaí reconstituído.

2 Material e Métodos

2.1 Matéria-prima

O pó de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) utilizado nesse trabalho foi fornecido por uma indústria processadora de frutos, localizada na região norte do Estado do Ceará, obtido através do processo de secagem por atomização e embalado em sacos laminados com capacidade de 100 g sendo realizada a reconstituição a partir dos valores de solubilidade

determinados por Carneiro²², que encontrou valores diferenciados para três lotes do processamento do pó de açaí. Foram utilizados pós de açaí em três lotes: lote 1 e 2 (0,17g de pó de açaí para cada 20 mL de água destilada) e lote 3 (0,18g de pó de açaí para cada 20 mL de água destilada).

2.2 Análise reológica

O comportamento reológico do pó de açaí reconstituído foi determinado através de um reômetro rotacional de cilindros concêntricos tipo Searle, marca Brookfield, modelo R/S plus SST 2000. As medidas foram feitas nas temperaturas de 8, 15, 25, 35 e 45° C, selecionadas de acordo com as possíveis temperaturas a que o produto possa ser submetido durante os processos de fabricação, armazenamento e comercialização, ajustadas em banho termostático acoplado ao equipamento. O equipamento forneceu os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação através do programa RHEO V 2.8. Para análise reológica da amostra, o pó de açaí foi reconstituído em água destilada, de acordo com sua solubilidade pré-determinada. As análises reológicas foram obtidas com variação da taxa de deformação de 0 a 500 s⁻¹ (curva ascendente) e de 500 a 0 s⁻¹ (curva descendente), com um tempo de 1 minuto para cada curva e leitura de 25 pontos de subida e 25 pontos de descida para cada ensaio. As leituras foram realizadas em triplicata e, em cada medida, foi utilizada uma nova amostra.

Na descrição do comportamento reológico, foram utilizados dois modelos empíricos para relacionar os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação: Newton e Casson, descritos nas equações 1 e 2, respectivamente. Os dados foram ajustados aos modelos através de regressão não linear, utilizando o *Software* SAS, tendo sido determinados os parâmetros reológicos de cada modelo, assim como os respectivos coeficientes de determinação (R²) e quadrados médios do erro (QME).

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (1)$$

$$(\tau)^{0,5} = K_{oc} + K_c (\dot{\gamma})^{0,5} \quad (2)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa), η = viscosidade de Newton, $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹), K_{oc} = tensão inicial (Pa), K_c = viscosidade plástica de Casson (Pa.s^{0,5}).

É importante ressaltar que neste estudo foram realizados testes preliminares com os dados obtidos a partir da análise reológica (tensão de cisalhamento e taxa de deformação), aplicando os mesmos em diferentes modelos, como Ostwald-de-Waelle e Mizrahi e Berk, os quais não apresentaram ajustes significativos, devido a característica própria da amostra, não sendo considerados ideais para a descrição do comportamento reológico do pó de açaí reconstituído.

A decisão do modelo mais adequado foi tomada com base nos parâmetros estatísticos de coeficiente de determinação (valores próximos a unidade) e quadrado médio do erro

(valores próximos a zero).

3 Resultados e Discussão

O comportamento reológico do pó de açaí reconstituído utilizando os modelos de Casson e Newton está apresentado

nas Figuras 1 e 2, respectivamente, onde estão plotados os pontos experimentais (medias das triplicatas) com suas curvas de ajustes. Para todas as temperaturas estudadas, observou-se que o aumento da taxa de deformação acarretou aumento da tensão de cisalhamento em ambos os modelos.

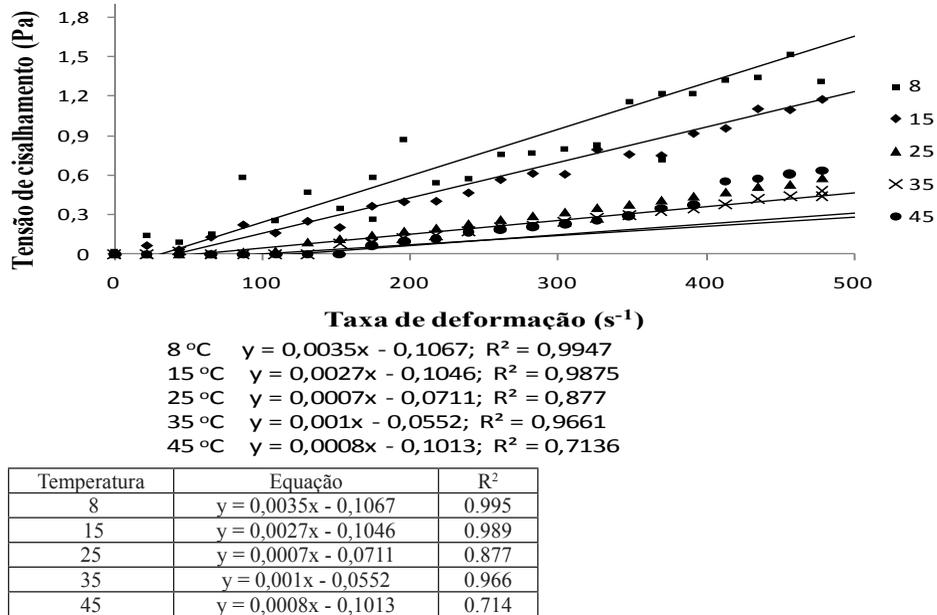


Figura 1: Modelo de Casson ajustado para pó de açaí reconstituído

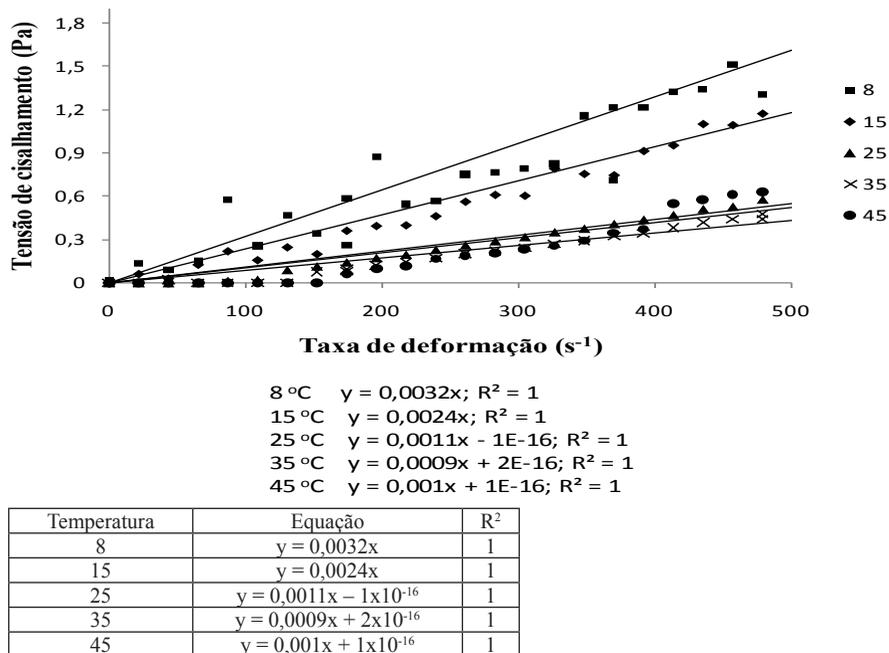


Figura 2: Modelo de Newton ajustado para pó de açaí reconstituído

Na Figura 2, o aumento da temperatura resultou em comportamento reológico semelhante entre algumas temperaturas, conforme verificado para 25, 35 e 45 °C. Maior distinção foi observada para as temperaturas de 8 e 15 °C.

O aumento da temperatura de um produto resulta em

diminuição de sua viscosidade, devido sua modificação estrutural, onde o movimento das partículas é maior em temperaturas mais elevadas²⁹. Dessa forma, nesse estudo verificou-se que, para as temperaturas estudadas, inicialmente a tensão de cisalhamento observada foi zero; porém, com o

aumento da taxa de deformação, houve aumento da tensão de cisalhamento.

O aumento da temperatura pode resultar também em redução do índice de comportamento do fluido. Outros autores têm constatado este tipo de comportamento, como em polpa de cupuaçu²¹ e néctares mistos de frutas²³.

O pó de açai reconstituído, nas diferentes temperaturas estudadas, apresentou comportamento gráfico semelhante ao Newtoniano, pois é verificada uma relação próxima à linear quanto à tensão de cisalhamento e taxa de deformação. Tonon²⁴ avaliou o efeito da temperatura no comportamento reológico de polpa de açai, obtendo comportamento gráfico semelhante, com tensões de cisalhamento mais elevadas que as obtidas neste estudo, devido às diferenças na composição da polpa e do pó de açai reconstituído.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores dos parâmetros obtidos por ajuste dos modelos de Casson e Newton aos reogramas referentes ao pó de açai reconstituído, pois estes modelos proporcionaram melhores parâmetros de ajuste. Pelo modelo de Casson, observou-se uma tensão crítica negativa, reforçando o comportamento Newtoniano do fluido analisado. Silva²³ avaliou o comportamento reológico de néctares mistos de caju, manga e acerola, constatando valores de tensão inicial na faixa 0,6026 a 0,8846, comportamento contrário ao obtido neste estudo, tendo em vista que as amostras são diferentes, uma vez que o néctar foi elaborado com 35% de polpa e não foi utilizada goma como estabilizante ou espessante para esses produtos. Logo, essas polpas de fruta, de maneira geral, apresentam comportamento não Newtoniano.

Tabela 1: Parâmetros reológicos do modelo de Casson para pó de açai reconstituído.

Parâmetros	Temperatura (°C)				
	8	15	25	35	45
K_{oc} (Pa)	-0,205±0,157	-0,250±0,062	-0,198±0,017	-0,240±0,025	-0,380±0,055
K_c (Pa.s ⁿ)	0,068±0,008	0,061±0,003	0,044±0,000	0,042±0,001	0,052±0,003
R ²	0,8071	0,9609	0,9942	0,9846	0,9408
QME	0,0694	0,0068	0,0002	0,0005	0,0032

K_{oc} = tensão inicial de Casson, K_c = viscosidade plástica de Casson, R²= coeficiente de correlação; QME= quadrado médio do erro.

Tabela 2: Parâmetros reológicos do modelo de Newton para pó de açai reconstituído.

Parâmetros	Temperatura (°C)				
	8	15	25	35	45
η	0,0003±0,000	0,001±0,000	0,0024±0,000	0,0009±0,000	0,0010±0,000
R ²	0,8025	0,9527	0,9340	0,9147	0,8089
QME	0,0710	0,0019	0,0115	0,0025	0,0104

η = viscosidade Newtoniana, R²= coeficiente de correlação; QME= quadrado médio do erro.

Ferreira *et al.*²⁵ analisaram reologicamente a polpa de caju a diferentes temperaturas e verificaram que o produto apresentou um comportamento reológico que não pode ser descrito adequadamente pelo modelo de Mizhari e Berk, tal qual foi para o pó de açai reconstituído desse estudo.

O modelo de Casson apresentou melhor ajuste aos dados experimentais, pois apresentou maiores índices de correlação (Tabela 1). Comportamentos reológicos relatados efetivamente pelo modelo de Casson para produtos a base de vegetais foram também citados por outros autores, a saber: Branco e Gaspareto²⁶, para misturas de polpa de manga e suco de laranja; Vandressen *et al.*²⁷, para suco de cenoura; Silva²³, para néctares mistos de caju, manga e acerola e Haminiuk²⁸, para misturas ternárias de polpas de morango, amora-preta e framboesa.

Observou-se que, com o aumento da temperatura, houve um aumento da viscosidade Newtoniana até 25 °C. Esse fato pode ser justificado pela possível formação de gel, decorrente da gelatinização do polissacarídeo presente na amostra. Com o aumento da temperatura para 35 e 45 °C, observou-se uma

redução da viscosidade Newtoniana.

4 Conclusão

Na análise reológica do pó de açai reconstituído, verificou-se que, para todas as temperaturas estudadas, o aumento da taxa de deformação acarretou aumento da tensão de cisalhamento. O pó de açai reconstituído apresentou comportamento Newtoniano. De uma maneira geral, com o aumento da temperatura observou-se redução da viscosidade (até 35 °C) e aumento da viscosidade Newtoniana (até 25 °C).

Agradecimentos

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

1. Bobbio FO, Druzian JI, Abrão PA, Bobbio PA, Fadelli S. Identificação e qualificação das antocianinas do fruto do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). Ciênc Tecnol Aliment 2000;20(3):388-90.
2. Nogueira OL, Figuerêdo FJC, Muller AA. Sistema de

- produção do açaí. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; 2006.
3. Maia GA, Sousa PHM, Lima AS. Principais frutas tropicais para processamento de polpas, sucos e néctares. Fortaleza: UFC; 2007.
 4. Rogez H. Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação. Belém: UFPA, 2000.
 5. Menezes EMS, Torres AT, Srur AUS. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. Acta Amazôn 2008;38(2):311-6.
 6. Anjo DFA. Alimentos funcionais em angiologia e cirurgia vascular. J Vasc Bras 2004;3(2):145-54.
 7. Da Silva EM. Otimização de métodos de análise de antocianinas: poder antioxidante e quantificação rápida. 2002. 126f. Dissertação [Mestrado em Engenharia Química] - Universidade Federal do Pará; 2002.
 8. Spada PDS, Dani C, Bortolini GV, Funchal C, Henriques JAP, Salvador M. Frozen fruit pulp of *Euterpe oleracea* mart. (Acai) prevents hydrogen peroxide-induced damage in the cerebral cortex, cerebellum, and hippocampus of rats. J Med Food 2009;12(5):1084-8.
 9. Heinrich M, Dhanji T, Casselman I. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.): phytochemical and pharmacological assessment of the species' health claims. Phytochemistry 2010:1-12.
 10. Crozier SJ, Preston AG, Hurts WJ, Payne MJ, Mann J, Hainly L, et al. Cacao seeds are a "Super Fruit": a comparative analysis of various fruit powders and products. Chem Cen J 2011;5(5):1-14.
 11. Darnet S, Serra JL, Rodriguez AMC, Silva LHM. A high-performance liquid chromatography method to measure tocopherols in assai pulp (*Euterpe oleracea*). Food Res Int 2001:1-5.
 12. Rufino MSM, Alves RE, Brito ES, Perez-Jimenez J, Saura-Calixto F, Mancini-Filho J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. Food Chem 2010;121:996-1002.
 13. Rufino MSM, Pérez-Jiménez J, Arranz S, Alves RE, Brito ES, Oliveira MSP, et al. Açaí (*Euterpe oleraceae*) 'BRS Pará': a tropical fruit source of antioxidant dietary fiber and high antioxidant capacity oil. Food Res Int 2010;44(7):2100-6.
 14. Tonon RV, Brabet C, Pallet D, Brat P, Hubinger MD. Physicochemical and morphological characterisation of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. Int J Food Sci Technol 2009;44:1950-8.
 15. Tonon RV. Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto. 2009. 212f. Tese [Doutorado] - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos; 2009.
 16. Tonon RV, Brabet C, Hubinger MD. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. Ciênc Tecnol Aliment 2009;29(2):444-50.
 17. Ordóñez JA. Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed; 2005.
 18. Martins MCP, Cunha TL, Silva MR. Efeito das condições da desidratação osmótica na qualidade de passas de caju-do-cerrado. Ciênc Tecnol Aliment 2008;28:158-65.
 19. Lannes SCS, Medeiros ML, Amaral RL. Formulação de "chocolate" de cupuaçu e reologia do produto líquido. Rev Bras Ciênc Farm 2002;38(4):463-9.
 20. Gonçalves EV, Lannes SCS. Chocolate rheology. Ciênc Tecnol Aliment 2010;30(4):845-51.
 21. Ferreira GM, Guimarães MJOC, Maia MCA. Efeito da temperatura e taxa de cisalhamento nas propriedades de escoamento da polpa de cupuaçu (*T. grandiflorum Schum*) integral. Rev Bras Frutic 2008;30(2):385-9.
 22. Carneiro APG. Estuda da estabilidade do pó de açaí orgânico. Dissertação [Mestrado Tecnologia de Alimentos] - Universidade Federal do Ceará; 2011.
 23. Silva LMR. Caracterização reológica, química, físico-química e sensorial de néctares mistos de caju, manga e acerola. Dissertação [Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos] - Universidade Federal do Ceará; 2011.
 24. Tonon RV, Alexandre D, Hubinger MD, Cunha RL. Steady and dynamic shear rheological properties of açaí pulp (*Euterpe oleraceae* Mart.). J Food Eng 2009;92:425-31.
 25. Ferreira GM, Queiroz AJM, Gasparetto RSCCA. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. Rev Ciênc Exatas Naturais 2002;4:175-84.
 26. Branco IG, Gasparetto CA. Comportamento reológico de misturas de polpa de manga utilizando modelo de Casson. Braz J Food Technol 2005;8(2):183-9.
 27. Vandressen S, Quadri MGN, Souza JAR, Hotza D. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. J Food Eng 2009;92:269-74.
 28. Haminiuk CWI. Estudo do comportamento reológico e colorimétrico de misturas ternárias e sistemas pécticos de polpas de morango, amora-preta e framboesa. Tese [Doutorado em Tecnologia de Alimentos] - Universidade Federal do Paraná; 2007.
 29. Pelegrine DH. Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi. 1999. 115f. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Alimentos] - Universidade Estadual de Campinas; 1999.

