

Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba

Gilvanete Maria Ferreira

Departamento de Engenharia Química - UNICAMP
13083-970 Campinas, SP

Alexandre José de Melo Queiroz

Departamento de Engenharia Agrícola - UFPB
58109-970 Campina Grande, PB

Robson Silvestre da Conceição e Carlos Alberto Gasparetto

Departamento de Engenharia de Alimentos - UNICAMP
13083-970 Campinas, SP
Robson2@fea.unicamp.br

(Recebido: 18 de setembro de 2002)

*Resumo: Neste trabalho de caráter experimental, determinou-se o comportamento reológico das polpas de goiaba (*Psidium guajava*, L) e caju (*Anacardium occidentale*, L). As amostras foram analisadas nas temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C e 60°C, por meio de um reômetro Haake Rotovisko, com sistema de placas paralelas pQ 45, e os dados experimentais foram ajustados utilizando-se o modelo reológico Mizrahi-Berk, o qual se prestou satisfatoriamente à descrição do comportamento reológico da polpa de goiaba. A polpa de caju apresentou um comportamento reológico que não pode ser descrito adequadamente pelos modelos usuais.*

Palavras-chave: reologia, polpa, goiaba, caju

*Abstract: The aim of this experimental work was to study the rheological behavior of guava (*Psidium guajava*, L) and cashew apple pulps (*Anacardium occidentale*, L). The samples were analyzed at a set of temperatures (10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C and 60°C) using a Haake Rotovisko rheometer, with a system of parallel plates (pQ 45); the experimental data were*

fitted using the Mizrahi-Berk model, that was described satisfactorily the rheological behavior of guava pulp. The cashew apple pulp presented a rheological behavior that cannot be described appropriately by the usual models.

Key words: *rheology, pulp, guava, cashew*

1 Introdução

As questões relacionadas ao manuseio de frutas em escala industrial têm como uma das soluções mais práticas a transformação da matéria-prima em polpa, viabilizando a utilização de inúmeros processos que abrangem desde a preservação de longo prazo, por congelamento ou adição de conservantes, até a possibilidade de concentração, de elaboração de novos produtos etc. O crescimento da indústria frutícola brasileira tem se baseado, em grande parte, na produção de polpas de frutas congeladas em fábricas de pequeno porte, criadas inicialmente com a finalidade de melhorar a renda familiar de pequenos produtores rurais, ou até mesmo para aproveitar parte da matéria-prima não utilizada e, às vezes, totalmente desperdiçada. No que se refere às grandes indústrias, há muito interesse no conhecimento das propriedades físicas de polpas de frutas, pois, na fabricação de sucos, néctares, sorvetes, sobremesas, gelificados, iogurtes e outros, a fruta é geralmente utilizada na forma de polpa concentrada. Com isto, faz-se necessária uma série de noções a respeito de suas características, com vistas à adaptação dos processos e instalações industriais às exigências específicas de cada um desses produtos (QUEIROZ, 1998).

Duas espécies de frutas perfeitamente adaptadas ao clima e solo brasileiro, com amplo potencial econômico ainda inexplorado e cuja industrialização passa necessariamente pelo manuseio das polpas, são o caju e a goiaba. A industrialização do caju visa, basicamente, ao aproveitamento da amêndoa da castanha e, em menor escala, à extração do princípio oleoso da casca da castanha, existindo, ainda, grande possibilidade de aproveitamento do pedúnculo. O pseudofruto, de estrutura carnosa e muito suculento, constitui matéria residual, podendo ser industrializado sob diversas formas, tais como sucos, sorvetes, doces diversos (compota, cristalizado, ameixa, massa), licor, mel, geléias, cajuína, bem como refrigerantes gaseificados e aguardente. A goiaba constitui-se em outra importante fruta, não apenas por seu elevado valor nutritivo, com excelente aceitação para o consumo *in natura* e grande aplicação industrial, como também porque pode se desenvolver e produzir satisfatoriamente mesmo em condições adversas; motivo pelo qual está entre as frutas com melhores perspectivas econômicas nas regiões onde é cultivada (CHITARRA *et al.*, 1981).

A escassez de dados sobre as propriedades físicas de polpas de frutas tropicais, incluídos o caju e a goiaba e, em particular, sobre seu comportamento reológico, tem levado a indústria nacional a utilizar, no processo de fabricação de polpas, condições semelhantes às aplicadas na produção de sucos de laranja. Por terem propriedades diferentes, os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade. Para obter sucos concentrados, com qualidade capaz de conquistar o paladar dos consumidores, a indústria brasileira deverá respeitar as características de cada fruta (VIDAL *et al.*,

2000).

O comportamento reológico representa o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação devido a um campo de tensões. Importantes nos fenômenos relacionados à transferência de massa que tem lugar nos processos industriais, as características reológicas são também imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos e correlação de parâmetros físicos e sensoriais (BEZERRA, 2000).

Todos os produtos líquidos derivados de frutas são sistemas bifásicos, compostos por partículas sólidas dispersas em um meio aquoso. Alguns apresentam escoamentos newtonianos, embora a maioria flua com características pseudoplásticas, mostrando, por vezes, uma resistência inicial ao fluir e/ou uma dependência do tempo. A variabilidade do comportamento reológico está relacionado com a alteração estrutural provocada pelo cisalhamento (COSTELL & DURÁN, 1982).

De acordo com Ibarz *et al.* (1996) o comportamento reológico dos sucos de frutas, em geral, não pode ser descrito por uma equação newtoniana. Existem diversas equações que descrevem o comportamento não-newtoniano, entre as quais algumas das mais utilizadas são a Lei da Potência, a equação de Bingham e a equação de Mizrahi-Berk, apresentadas nas equações (1), (2) e (3), respectivamente

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

$$\tau = \tau_o - \mu_p \dot{\gamma} \quad (2)$$

$$\tau^{0,5} = K_{oM} - K_M(\dot{\gamma})^n \quad (3)$$

Onde τ é a tensão de cisalhamento, τ_o é a tensão inicial, $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação, K_{oM} é a raiz quadrada da tensão inicial de Mizrahi-Berk, K e K_M são os índices de consistência, n é o índice de comportamento de fluido e μ_p é a viscosidade plástica.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de se avaliar o comportamento reológico das polpas de caju e goiaba nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60° C.

2 Material e métodos

As amostras de polpa de caju e goiaba foram gentilmente cedidas por De Marchi Indústria e Comércio de Frutas Ltda, situada na cidade de Campinas, na forma congelada. Foi estudado o comportamento reológico da polpa de caju (8,14° Brix e pH 4,06) e da polpa de goiaba (4,80° Brix e pH 3,96) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C. Na determinação dos dados reológicos, utilizou-se um reômetro de placas paralelas (Haake Rotovisco modelo RV 20), equipado com um banho termostático, para controle da temperatura da amostra. Utilizou-se o sistema de placas paralelas pq 45 com 45 mm de diâmetro e separadas por uma distância 1,0 mm para polpas, atingindo-se valores de taxa de deformação de 400 s⁻¹. Esse reômetro dispõe de sistema automático de aquisição de dados para o controle de sua operação, registrando, a cada 2,4 s, os dados de temperatura, viscosidade aparente, tensão de cisalhamento

e taxa de deformação. Os experimentos foram feitos em triplicata, utilizando-se, para cada repetição, uma nova amostra. O tempo de cada determinação experimental foi de 4 minutos, obtendo-se 40 pontos de deformação, dos quais vinte em escala ascendente e vinte em escala descendente.

Com os dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação obtidos no reômetro, foram feitos ajustes com os modelos reológicos de Mizrahi-Berk, Casson, Lei da Potência e Hershel-Bulkley, usando-se o *Software Origin 5.0* para a obtenção dos parâmetros dos modelos e conseqüente escolha do modelo que melhor descreveu o comportamento reológico das polpas. Para os ajustes, foram utilizadas as curvas ascendentes e descendentes, sendo tomado o valor médio da tensão de cisalhamento para cada taxa de deformação. A análise dos ajustes dos modelos aos resultados experimentais foi feita através dos parâmetros estatísticos coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e soma dos quadrados dos resíduos (SSR). Quanto maior o valor de χ^2 , maior a diferença entre as frequências observadas e esperadas. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de R^2 e baixos valores de χ^2 e SSR .

3 Resultados e discussão

As Figuras 1 e 2 representam as relações entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as diferentes temperaturas das polpas de goiaba integral e caju integral, respectivamente. Os pontos marcados representam os pontos experimentais dos reogramas, enquanto que as linhas contínuas são os resultados dos ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk, escolhido pelo fato de haver proporcionado os melhores parâmetros de ajuste para as polpas, em todas as temperaturas estudadas, com menores valores para o χ^2 e SSR e maiores para R^2 .

Na Figura 1, observam-se três grupos de curvas representando relações distintas entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento, onde se observa que a temperatura dentro de cada faixa pouco altera o comportamento das curvas: o primeiro com as temperaturas de 10 e 20°C, o outro com as temperaturas de 30, 40 e 50°C; a curva correspondente à temperatura de 60°C situa-se num patamar de viscosidades diferente dos verificados nos demais grupos. Comparando-se os três conjuntos, constata-se a diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura, concordando com os resultados obtidos por Silva (2000), Ibarz *et al.* (1989). Na Figura 1, verifica-se ainda que as inclinações das curvas de escoamento diminuem com o aumento da taxa de deformação, evidenciando, assim, decréscimo da viscosidade aparente, com o aumento da taxa de deformação, confirmando visualmente o comportamento pseudoplástico das amostras – comportamento este típico de polpas de frutas, como observado por Gasparetto & Guimarães (2000).

Na Tabela 1, observa-se que os valores do índice de comportamento (n_M) para a polpa de goiaba estão abaixo da unidade, configurando caráter pseudoplástico para as amostras; Guerrero & Alzamora (1997) encontraram este mesmo comportamento quando estudaram o purê de banana. Entre as amostras a 10°C e 20°C, o n_M sofreu

redução de cerca de 52%. A partir de 20°C até 60°C, o n_M apresentou uma variação

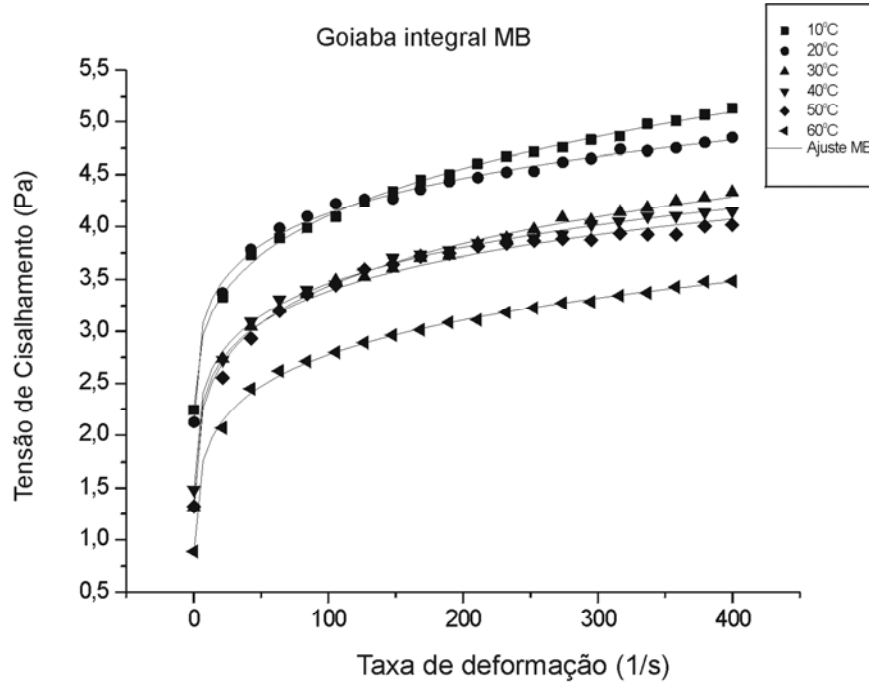


Figura 1. Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de goiaba integral.

	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
K_{oM}	1,8219	0,3899	0,1116	-0,0657	-0,9351	-0,4336
K_M	0,6918	2,1174	1,5611	1,9125	2,6499	1,6573
n_M	0,2594	0,1235	0,1642	0,1329	0,1062	0,1434
Erro	0,0661	0,3199	0,1789	0,2193	0,7483	0,1499
K_{oM}						
Erro	0,0514	0,3116	0,1664	0,2117	0,7351	0,1433
K_M						
Erro	0,0096	0,013	0,011	0,0102	0,0221	0,0084
n_M						
χ^2	0,0010	0,0019	0,0016	0,0011	0,0057	7,0391E-4
SSR	0,0173	0,0318	0,0264	0,0193	0,0975	0,0119
R^2	0,9981	0,9958	0,9971	0,9974	0,9876	0,9983

Tabela 1. Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de goiaba integral.

máxima em torno de 33% (entre 20°C e 30°C) e mínima de cerca de 7,5% (entre as temperaturas de 20°C e 40°C). Porém, não se verifica tendência definida, ou seja, aumento ou decréscimo desse parâmetro com a temperatura. Em relação ao índice de consistência (K_M), observa-se variação máxima em torno de 73,9% (entre 10°C e 50°C) e mínima em cerca de 5,8% (para 30°C e 60°C).

Na Figura 2, referente à polpa de caju, observa-se que o conjunto de pontos apresenta um comportamento aleatório, com distribuição dispersa, tornando pouco representativa a utilização de modelos reológicos para definir um comportamento genérico a partir dos pontos experimentais. Mediante ajuste pela equação de Mizrahi-Berk, observa-se que o modelo não descreve de forma satisfatória, mesmo nas temperaturas em que os resultados foram mais favoráveis, o comportamento da polpa de caju integral. As polpas nas temperaturas de 50 e 60°C foram as que apresentaram o melhor coeficiente de determinação (R^2), porém, como pode ser visto na Tabela 2, os valores de χ^2 foram muito altos, o que demonstra a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os experimentais, e os valores de SRR , que identificam o erro no ajuste da curva, também foram muito altos para estas duas temperaturas. Trata-se de resultados que não encontram paralelo na literatura direcionada ao estudo do comportamento reológico de polpas e sucos de frutas, mesmo tropicais, como a manga, maracujá, mamão e goiaba (ADORNO, 1997).

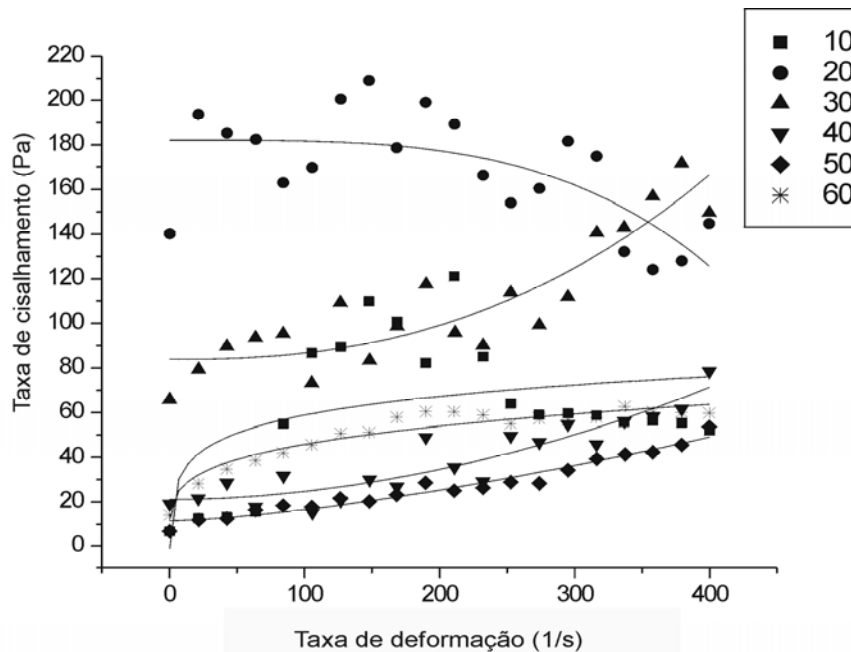


Figura 2. Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para polpa de caju integral.

Considerando que os fatores teor de sólidos e temperatura afetam o comportamento reológico das polpas de frutas (QUEIROZ, 1998, SILVA, 2000) e que estas variáveis, no presente trabalho, para a polpa de caju, encontram-se dentro das faixas utilizadas por outros autores, pode-se atribuir seu comportamento incomum às fibras

longas presentes nesse material, não fragmentadas por ocasião do despulpamento. Essas fibras se entrelaçariam durante a deformação, formando fios que dificultariam o escoamento do material, opondo forças de arraste ao movimento. O resultado deste efeito impossibilitou uma interpretação matemática utilizável do escoamento da polpa de caju, ao contrário do que ocorreu com relação à polpa de goiaba, cujos valores dos parâmetros foram obtidos pelo ajuste dos dados experimentais ao modelo Mizrahi-Berk.

	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
K_{0M}	-106,8277	181,9751	83,84344	21,1468	11,4745	3,6966
K_M	119,2742	-2,49841E-5	3,7512E-5	5,5925 E-4	0,0068	13,0399
n_M	0,07137	3,5949	2,4378	1,9034E-4	1,4366	0,2546
Erro	614,3299	6,9729	5,8034	1,9033	1,6140	8,0579
K_{0M}						
Erro	613,0626	3,0095E-4	1,4814E-4	3,5383	0,0078	6,3025
K_M						
Erro	0,3043	1,9173	0,6386	0,00156	0,1853	0,0615
n_M						
χ^2	828,1637	378,1033	182,3174	51,1582	7,4525	13,0550
SSR	14078,78	6427,7565	3099,3959	869,6899	126,6917	221,9349
R^2	0,2931	0,4676	0,8100	0,85155	0,9565	0,9309

Tabela 2. Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de caju integral.

Na Figura 3, encontra-se apresentada a relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para a polpa de goiaba. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente foi verificado mediante um ajuste não linear dos dados de viscosidade aparente (η_a). Para tanto, foram calculados os valores de viscosidade aparente a partir do modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais; neste caso, o modelo de Mizrahi-Berk, para taxas de deformação de 200 s^{-1} (Tabela 2). Observa-se que o aumento da temperatura provoca diminuição da viscosidade. Esta tendência é similar ao comportamento observado por Ibarz *et al.* (1987), ao estudar o comportamento reológico do suco de maçã e pera.

Dos valores da Tabela 2, tem-se uma redução total de 33% na viscosidade aparente para um aumento de temperatura da ordem de 5. Entre viscosidades, têm-se reduções de 2,5%, 13,3%, 3,6%, 1,5% e 16,8% entre cada temperatura subsequente, demonstrando não haver proporcionalidade entre as reduções.

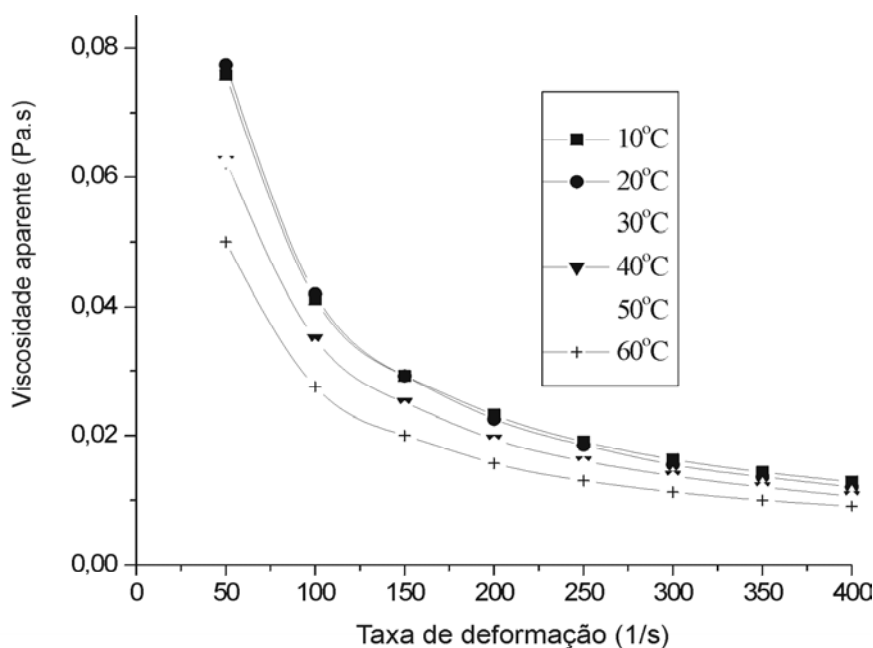


Figura 3. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para polpa de goiaba integral.

T ($^{\circ}\text{C}$)	viscosidade aparente ($mPa \cdot s$)
10	23,1
20	22,5
30	19,5
40	18,8
50	18,5
60	15,4

Tabela 3. Valores da viscosidade aparente calculada para taxa de deformação de 200 s^{-1} a partir dos parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para polpa de goiaba integral.

4 Conclusões

O comportamento reológico da polpa de goiaba nas temperaturas de 10°C a 60°C pode ser representado pela equação de Mizrahi-Berk. O comportamento reológico da polpa de cajú apresentou dispersão nos seus pontos em todas as temperaturas

estudadas, não sendo possível atribuir-lhe um comportamento padrão mediante a utilização de um modelo específico. Os índices de comportamento de fluido (n) da polpa de goiaba encontram-se abaixo da unidade, o que caracteriza o comportamento pseudoplástico. A viscosidade aparente da polpa de goiaba diminuiu com o aumento da temperatura.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao chefe e ao técnico do Laboratório de Engenharia de Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, por concederem o reômetro para os ensaios deste trabalho.

Referências

- ADORNO, R. A. C. *Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba*. UNICAMP, Campinas, SP: 1997. (Dissertação de Mestrado).
- BEZERRA, J. R. M. V. *Comportamento da polpa de manga*. UNICAMP, Campinas, SP: 2000. (Tese de doutorado).
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B.; CARVALHO, V. D. de. Algumas características dos frutos de duas cultivares de goiabeiras (*Psidium guajava* L.) em fase de maturação. *Anais do VI Congresso Brasileiro de Fruticultura*. Recife, PE, v. 3, p. 771-778, 1981.
- COSTELL, E.; DURAN, L. Reología físico-química del puré de albaricoque. Parte I. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, v. 22, n. 3, p. 381-394, 1982.
- GASPARETTO, C. A.; GUIMARÃES, D. H. P. Rheological Behavior of Pineapple and Mango Pulp: effect of the measuring systems. *Revista de Ciência e Tecnologia*. v. 8, n. 16, p. 91-96, 2000.
- 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. 33, p. 239-256, 1997.
- IBARZ, A.; GARVIN, A.; COSTA, J. Rheological Behaviour of Sloe (*Prunus Spinosa*) Fruit juices. *Journal of Food Engineering*. v. 27, p. 423-430, 1996.
- IBARZ, A.; PAGAN, J.; GUTIÉRREZ, J.; VICENTE, M. Rheological Properties of Clarified Pear juice Concentrates. *Journal of Food Engineering*, v.10, n. 1, p. 57-63, 1989.
- IBARZ, A.; VICENTE, M.; GRAELL, J. Rheological Behavior of Apple Juice and Pear Juice and their Concentrates. *Journal of Food Engineering*. v. 6, n. 4, p. 257-267, 1987.

- QUEIROZ, A. J. M. *Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga*. UNICAMP, Campinas, SP: 1998. (Tese de Doutorado).
- SILVA, F. C. *Reologia do Suco de Acerola: Efeito da Concentração e da Temperatura*. UNICAMP, Campinas, SP: 2000. (Tese de Mestrado).
- VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. ; GRANDIN, A. Efeito do Comportamento Reológico da Polpa de Manga. *Revista Ciências Exatas e Naturais*. Ano 1, n. 2, p. 69-76, 2000.