



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE ACEROLA

Mirtes Aparecida da Conceição Silva¹, mirtesacs@yahoo.com.br

Zaqueu Ernesto da Silva¹, zaqueu@ufpb.les.br

Edilma Pereira Oliveira¹, edilma_eng@yahoo.com.br

Andréa Samara Santos Oliveira², andsamara@hotmail.com

Cristiane Kelly Ferreira da Silva¹, criskfsilva@yahoo.com.br

¹Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Laboratório de energia Solar, Campus I, Cidade Universitária – Castelo Branco, Cep: 58051-970, João Pessoa, PB – Brasil – Caixa postal: 5115

²Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. Plácido Aderaldo Castelo, 1646, Planalto, Cep: 63040-000, Brasil

Resumo: O conhecimento do comportamento reológico é de grande importância no processamento, manuseio, controle de qualidade e desenvolvimento de produtos alimentícios. Neste trabalho foi realizada a caracterização reológica da polpa de acerola, utilizando um reômetro de cilindros concêntricos modelo VT550 da Haake equipado com um banho termostático para controle da temperatura das amostras, nas temperaturas de 20, 35 e 50°C. A polpa foi extraída no Laboratório de Tecnologia de Alimentos. Os dados experimentais do reograma foram ajustados aos modelos reológicos de: Ostwald-de-Walle, Herschel-Bulkley e Bingham. Observou-se um comportamento pseudoplástico para a polpa de acerola.

Palavras-chave: reologia, temperatura, polpa de acerola

1. INTRODUÇÃO

As questões relacionadas ao manuseio de frutas em escala industrial têm como uma das soluções práticas a transformação da matéria-prima em polpa, viabilizando a utilização de inúmeros processos que abrangem desde a preservação a longo prazo, por congelamento ou adição de conservantes, até a possibilidade de concentração e elaboração de outros produtos (Ferreira et al., 2002). A industrialização e comercialização de produtos de acerola vêm se destacando de forma significativa principalmente devido ao seu alto teor de vitamina C.

Atualmente no Brasil, vários trabalhos têm sido realizados a fim de se determinar as propriedades físico-químicas e reológicas de sucos, polpas e concentrados das frutas nacionais. A matéria-prima brasileira apresenta características diferentes daquela produzida em outras partes do mundo, principalmente no que diz respeito aos teores de polpa e de açúcares, que vão influenciar diretamente no teor de sólidos solúveis e insolúveis (Vidal et al., 2000).

A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados nas indústrias de processamento está ligada também a grande importância econômica que estes fluidos e equipamentos de manipulação representam (Vandresen, 2007; Vidal et al., 2000).

Durante o processamento, armazenamento, comercialização e consumo, os alimentos fluidos estão sujeitos a diversas temperaturas. O conhecimento do comportamento reológico de polpas de frutas é fundamental em engenharia de processos e equipamentos (Silva et al., 2005). Dentre as propriedades reológicas, as curvas de escoamento são as mais importantes para o projeto de tubulações e equipamentos, no controle de qualidade, no desenvolvimento de novos produtos, na aceitabilidade por parte do consumidor, bem como em um melhor entendimento do comportamento estrutural dos produtos (Sato e Cunha, 2007).

A análise reológica é considerada como uma ferramenta analítica, a qual fornece uma melhor compreensão da organização estrutural dos alimentos (Vidal et al., 2006). Vários fatores afetam o comportamento reológico das polpas de frutas, destacando-se entre eles, a temperatura, teor de sólidos solúveis e o tamanho das partículas (Vitali e Rao, 1984; Hernandez et al., 1995; Ahmed et al., 2000).

O comportamento dos fluidos é descrito através de modelos reológicos, que relacionam tensão de cisalhamento com a taxa de deformação. O modelo reológico mais simples é o newtoniano, que apresenta uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, Eq. (1). No entanto, a maioria dos alimentos fluidos não apresenta esse tipo de

comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização (Holdsworth, 1971; Tabilo-Munizaga; Barbosa-Cánovas, 2005; Oliveira et al., 2008).

Segundo Ferreira et al. (2002), todos os produtos líquidos derivados de frutas são sistemas bifásicos, compostos por partículas sólidas dispersas em meio aquoso. Alguns dos modelos matemáticos mais utilizados na descrição do comportamento reológico de fluidos alimentícios não-newtonianos são os modelos de Ostwald-de Walle, Herschel-Bulkley e Bingham, modelos empíricos que relacionam os dados da tensão de cisalhamento com a taxa de deformação, representados pelas Eqs. (2), (3) e (4), respectivamente:

$$\tau = \mu\gamma \quad (1)$$

$$\tau = K\gamma^n \quad (2)$$

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^n \quad (3)$$

$$\tau = \tau_0 + \mu_p\gamma \quad (4)$$

Onde: τ é a tensão de cisalhamento (Pa), K o índice de consistência ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), γ a taxa de deformação (s^{-1}), n o índice de comportamento (adimensional), τ_0 a tensão inicial (Pa) e μ_p é a viscosidade plástica ($\text{Pa}\cdot\text{s}$).

O índice de comportamento indica fisicamente o afastamento do fluido do modelo newtoniano. Enquanto isso, o valor do índice de consistência indica o grau de resistência do fluido diante do escoamento (Machado, 2002).

Vários trabalhos avaliaram a influência da temperatura e concentração na reologia de diferentes alimentos fluidos incluindo sucos de acerola, cajá e laranja (Silva et al., 2005; Assis et al., 2005; Telis-Romero et al., 1999), polpas de jabuticaba e manga (Sato e Cunha, 2007; Barros, 2009; Vidal et al., 2006) e purês de fruta (Guerrero e Alzamora, 1998; Ditchfield et al., 2004).

Durante o processamento de polpa de frutas, frequentemente utilizam-se tratamentos térmicos e/ou resfriamento, o que faz com que o estudo da influência da temperatura sobre o comportamento reológico destes produtos seja de grande importância. Os objetivos desse trabalho foram: avaliar a influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de acerola e testar a aplicabilidade dos quatro modelos reológicos, citados anteriormente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A polpa de acerola utilizada no experimento foi extraída no Laboratório de Tecnologia de Alimentos LTA da Universidade Federal da Paraíba, e caracterizada físico-quimicamente nos laboratórios de Análises de Alimentos e de Bioquímica de Alimentos da mesma Instituição. Foram utilizadas acerolas adquiridas no mercado central de João Pessoa- PB.

Inicialmente, a limpeza dos frutos foi feita em água potável, seguida de desinfecção por imersão em solução de hipoclorito de sódio, com concentração de 40 ppm por 10 minutos, enxaguando-se em seguida com água potável e escorrendo-se o excesso de água antes do processamento. A extração da polpa foi obtida através do extrator tipo escova, com diâmetro da malha de 0,5mm.

A experiência reométrica foi realizada no Laboratório de Fluidos do prédio da Recogás (Rede Cooperativa de Pesquisa Norte/Nordeste de Gás Natural) situado no núcleo de pesquisa de energia solar da Universidade Federal da Paraíba, utilizando o reômetro rotacional Haake modelo VT550, com geometria de cilindros concêntricos, nas temperaturas de 20°C, 35°C e 50°C.

Para determinação das propriedades reológicas, o cilindro interno foi acoplado ao equipamento e a amostra foi adicionada ao cilindro externo, conectado ao equipamento, após a estabilização da temperatura desejada. Foram realizadas duas repetições para cada temperatura. A taxa de deformação variou de 47,0 a 323 s^{-1} obtendo-se 42 pontos para cada temperatura estudada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A variação na composição físico-química de frutas, polpas e sucos de frutas é decorrente de muitos fatores, tais como variedade, grau de maturação, local de plantio, época de plantio e colheita, entre outros. A Tab. 1 apresenta os dados da caracterização da polpa de acerola utilizada neste trabalho.

Tabela 1. Caracterização Físico-química da polpa de acerola.

<i>Determinação</i>	<i>Valor Médio obtido</i>
Umidade base úmida (%)	94,76
Teor de sólidos solúveis (°Brix)	6,7
Atividade de água	0,988
pH	3,9
Teor de ácido ascórbico (mg/100ml)	1185,60
Acidez titulável (% ácido cítrico)	0,167

De acordo com a Tab.(1), pode-se verificar que o valor da umidade obtido para a polpa de acerola foi maior que os encontrados por Cerezal-Mezquita e Garcia-Vigoa, (2000) e por Soares et al., (2001), que foram 90,3% e 89,82%, respectivamente. O teor de ácido ascórbico obtido pelo presente trabalho, foi inferior aos encontrados por estes pesquisadores que foi 1790 e 1620 mg de ácido ascórbico/100g de polpa, respectivamente. O valor de pH foi maior do que o encontrado por Lopes (2005), que foi de 3,56 e o teor de sólidos solúveis foi ligeiramente inferior ao desse mesmo trabalho que foi de 7,2°Brix.

Na Fig.(1) abaixo, encontram-se os reogramas da polpa de acerola nas temperaturas de 20, 35 e 50°C, os quais foram obtidos a partir da média dos valores de tensão de cisalhamento nas duas repetições para cada temperatura estudada.

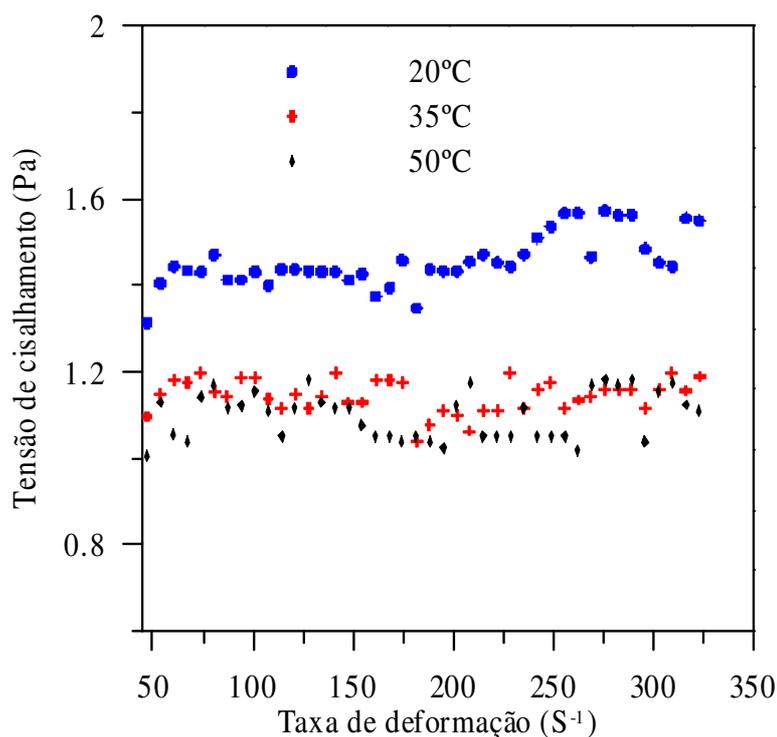


Figura 1. Reogramas para a polpa de acerola.

Os reogramas mostram que a polpa de acerola apresenta uma relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Portanto, seu comportamento é caracterizado como não newtoniano.

Comportamento similar (não-newtoniano) foi obtido em outros estudos do comportamento reológico de polpas de frutas: Haminiuk et al. (2006), para a polpa integral de araçá; Pelegrine et al. (2002), estudando o comportamento reológico de polpa de abacaxi e manga; Silva et al. (2005) no estudo da reologia do suco de acerola e Vidal et al. (2006), para polpa de manga centrifugada.

Observa-se também que o conjunto de pontos apresenta uma distribuição um pouco dispersa, tornando pouco representativa a utilização de modelos reológicos para definir um comportamento genérico a partir dos pontos

experimentais, o que pode ser comprovado através da Tab.(2). Este mesmo comportamento foi observado por Ferreira et al., (2002) para a polpa de caju, entre 10 e 60°C. Os pesquisadores atribuíram este comportamento incomum a fibras longas presentes no material, as quais não teriam fragmentado durante o despulpamento e que se entrelaçariam durante a deformação dificultando o escoamento do material.

Tabela 2. Parâmetros Reológicos e estatísticos da polpa de acerola.

Modelo	Parâmetros	Temperaturas		
		20°C	35°C	50°C
Newton	μ	0,006	0,005	0,005
	Chi ²	19,72	13,83	18,48
	r	-3,384	-3,704	-5,805
Ostwald-de-Waele	K	1,103	1,378	0,9068
	N	0,0583	-0,058	0,0184
	Chi ²	1,415	0,8466	0,5211
	r	0,3261	0,3148	0,1478
Herschel-Bulkley	τ_0	1,098	0,993	1,096
	K	6,48e-12	8,636	0,434
	N	0,246	-1,168	0,0357
	Chi ²	0,9394	0,8221	0,5211
	r	0,6378	0,3538	0,1479
Bingham	τ_0	1,359	1,154	1,039
	μ_p	0,0005	-0,0001	0,0001
	Chi ²	1,184	0,8862	0,5225
	r	0,5021	0,2385	0,1385

Observa-se através da Tab. (2), que para as condições utilizadas neste trabalho (6,7°Brix, temperaturas de 20, 35 e 50°C, taxa de deformação de 47 a 323S⁻¹), os modelos utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de acerola não proporcionaram bons parâmetros de controle de ajuste. Aqui, vale ressaltar que as equações para o cálculo da taxa de deformação dada pelos fabricantes de reômetros se baseiam em um suposto comportamento newtoniano do fluido estudado. Quando o fluido apresenta um comportamento pseudoplástico, o erro decorrente do uso das equações mencionadas dependerá da magnitude do desvio do comportamento newtoniano e do volume que a amostra ocupa dentro dos cilindros concêntricos (Silva et al, 2005).

Dentre os modelos aplicados, o de Hershel-Bulkley foi o que apresentou os menores valores para o Chi² e também os maiores valores do coeficiente de correlação (r). Este modelo tem sido usado para descrever o comportamento de diversos fluidos alimentícios, como polpa de jabuticaba (Sato e Cunha, 2007), polpa de açaí (Carneiro, 2000), suco de acerola (Silva et al.,2005), pasta de amendoim (Citerne et al., 2001) e molho de tomate (Rao e Cooley, 1992).

Segundo Machado, (2002), o valor do índice de comportamento (n) indica o grau de pseudoplasticidade do fluido. Para n > 1, o fluido apresenta comportamento dilatante. Entretanto se n < 1, o material apresenta um comportamento pseudoplástico e, quanto mais afastado for este valor da unidade, maior será a pseudoplasticidade do produto. Para n=1, o fluido se comporta como Newtoniano.

Observamos na Tab. (2) que os valores de n, calculados pelos modelos de Ostwald-De-Waele e de Herschel-Bulkley foram menores que 1 o que indica que a polpa de acerola apresenta um comportamento pseudoplástico.

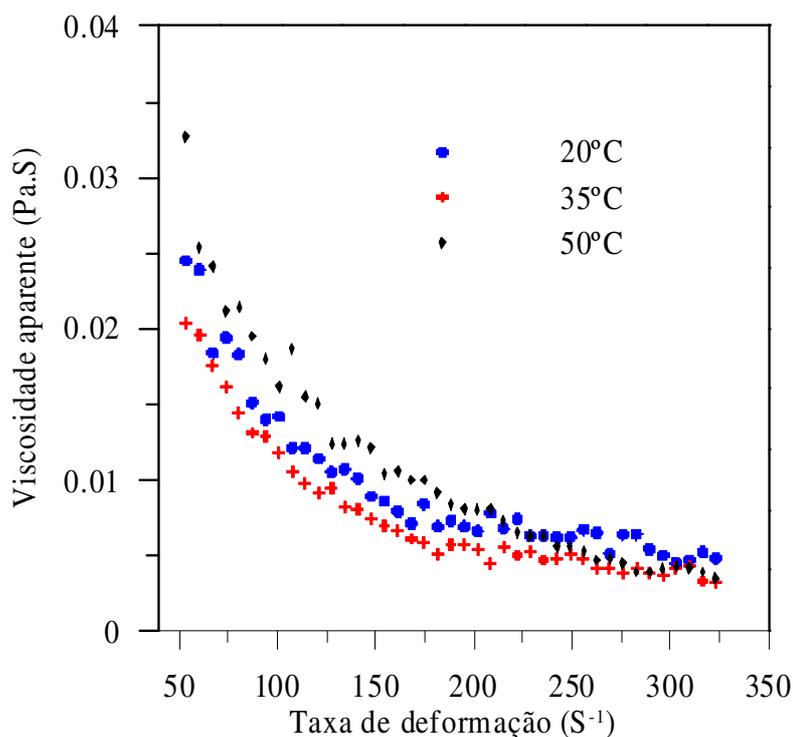


Figura 2. Curvas da viscosidade aparente para a polpa de acerola .

Observando as curvas de viscosidade da Fig. (2), podemos afirmar que a polpa de acerola possui um comportamento pseudoplástico, pois a viscosidade da mesma diminui com o aumento da taxa de deformação. Este fato está de acordo com Schramm (2006) que afirma que os fluidos pseudoplásticos diminuem sua viscosidade com o aumento da taxa de deformação.

4. CONCLUSÃO

A polpa de acerola apresentou, nas três temperaturas estudadas, um forte comportamento não-Newtoniano, com características pseudoplásticas. Os modelos utilizados neste trabalho para descrever o comportamento reológico da polpa de acerola, não apresentaram bons parâmetros de ajuste, tornando evidente a necessidade da aplicação de outros modelos e/ou outras condições experimentais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ (processo nº 141522/2007-0), pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Ahmed, J.; Shivhare, U.S. and Raghavan, G.S.V., 2000, "Rheological characteristics and kinetics of colour degradation of green chilli puree", *Journal of Food Engineering*, Vol. 44, pp. 239-244.
- Assis, M.M.M., Tadini, C.C. and Lannes, S.C. da S., 2005, "Influence of temperature and concentration on rheological properties of caja juice (*Spondia mombin*, L)", *Proceedings of the 77th Eurotherm Seminar – Heat and mass transfer in Food Processing*, Parma, Italy.
- Barros, A.C.F., 2009, "Estimação de parâmetros reológicos de polpa de manga (*Mangifera indica*)", Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba.
- Carneiro, F.R.B.D., 2000, "Conservação de polpa de açaí por métodos combinados. Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia de Alimentos – FEA, Unicamp, Campinas - São Paulo.
- Cerezal-Mezquita, P.; García-Vigoa, Y., 2000, "La acerola – fruta marginada de America com alto contenido de ácido ascórbico". *Alimentaria*, Vol.37, n.2, pp.113-125.
- Citerne, G.P.; Carreau, P.J.; Moan, M., 2001, "Rheological properties of peanut butter". *Rheologica Acta*, v.40, n.1, pp.86-96.
- Ditchfield, C.; Tadini, C.C.; Singh, R.K. and Toledo, R.T., 2004, "Rheological properties of banana purée at high temperatures", *International Journal of Food Properties*, Vol.7, pp.571-584.
- Ferreira, G.M.; Queiroz, A.J.M.; Conceição, R.S. e Gasparetto, C.A., 2002, "Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba", *Revista Ciências Exatas e Naturais*, Vol.4, n.2, pp.176-184.

- Guerrero, S.N. and Alzamora, S.M., 1998, "Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behavior of fruit purées: II. Peach, papaya and mango purées", *Journal of Food Engineering*, Vol.37, pp.77-101.
- Haminiuk, C.W.I.; Sierakowski, M.R.; Vidal, J.R.M.B.; Masson, M.L., 2006, "Influence of temperature on rheological behavior of whole Araça pulp (*Psidium cattleianum sabine*)". *Food Science and Technology*, Vol.39, n.4, pp.427-431.
- Hernandez, E.; Chen, C.S.; Johnson, J. and Carted, R.D., 1995, "Viscosity changes in orange juice after ultra-filtration and evaporation", *Journal of Food Engineering*, Vol. 25, pp.387-396.
- Holdsworth, S.D., 1971, "Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products", *Journal of Texture Studies*, Vol.2, No.4, pp.393-418.
- Lopes, A.S., 2005, "Pitanga e acerola: Estudo de processamento, estabilidade e formulação de néctar misto". Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, SP.
- Machado, J.C., 2002, "Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria de Petróleo. Rio de Janeiro, Interciência.
- Oliveira, K.H.; Souza, J.A.R. and Monteiro, A.R., 2008, "Caracterização reológica de sorvetes", *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 28, No.3, pp.592-598.
- Pelegrine, D.H.; Silva, F.C.; Gasparetto, C.A., 2002, "Rheological behavior of pineapple and mango pulps". *Food Science and Technology*, Vol.35, pp.645-648.
- Rao, M.A.; Cooley, H.J., 1992, "Rheological behavior of tomato pastes in steady and dynamic shear". *Journal of Texture Studies*, V.23, n.4, pp.415-425.
- Sato, A.C.K. e Cunha, R.L., 2007, "Influencia da temperatura no comportamento reológico da polpa de jabuticaba", *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 27, No. 4, pp. 879-884.
- Schramm, G., 2006, "Reologia e reometria – Fundamentos teóricos e práticos. 2ª Ed., São Paulo, Artliber.
- Silva, F.C.; Guimarães, D.H.P. and Gasparetto, C.A., 2005, "Reologia do suco de acerola: Efeitos da concentração e temperatura", *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 25, No. 1, pp.121-126.
- Soares, E.C.; Oliveira, G.S.F. de; Maia, G.A.; Monteiro, J.C.S.; Silva Jr., A.; Filho, M.de S., 2001, "Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo "foam-mat"", *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, v.21, n.2, p.164-170.
- Tabilo-Munizaga, G. e Barbosa-Cánovas, G.V., 2005, "Rheology for the food industry", *Journal of Food Engineering*, Vol.67, pp.147-156.
- Telis-Romero, J.; Telis, V.R.N. and Yamashita, F., 1999, "Friction factors and rheological properties of orange juice", *Journal of Food Engineering*, Vol. 40, pp. 101-106.
- Vandresen, S., 2007, "Caracterização físico-química e comportamento reológico de sucos de cenoura e laranja e suas misturas". Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.
- Vidal, J.R.M.B; Gasparetto, C.A.; Grandin, A., 2000, "Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga". *Revista Ciências Exatas e Naturais*, No.2, pp.69-76.
- Vidal, J.R.M.B.; Sierakowski, M.R.; Haminiuk, C.W.I. and Masson, M.L., 2006, "Propriedades Reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada", *Ciência Agrotecnologica*, Vol. 30, No.5, pp.955-960.
- Vitali, A.A. and Rao, M.A., 1984, "Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration", *Journal of Food Science*, Vol. 49, pp.882-888.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

TEMPERATURE INFLUENCE AT THE RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF THE WEST INDIAN CHERRY PULP

Mirtes Aparecida da Conceição Silva¹, mirtesacs@yahoo.com.br

Zaqueu Ernesto da Silva¹, zaqueu@ufpb.les.br

Edilma Pereira Oliveira¹, edilma_eng@yahoo.com.br

Andréa Samara Santos Oliveira², andsamara@hotmail.com

Cristiane Kelly Ferreira da Silva¹, criskfsilva@yahoo.com.br

¹Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Laboratório de energia Solar, Campus I, Cidade Universitária – Castelo Branco, Cep: 58051-970, João Pessoa, PB – Brasil – Caixa postal: 5115

²Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. Plácido Aderaldo Castelo, 1646, Planalto, Cep: 63040-000, Brasil

Abstract. *Knowledge of the rheological behavior is of great importance in the processing, handling, quality control and development of food products. In this work we made the rheological characterization of the West Indian cherry pulp, using a rheometer of concentric cylinders of Haake VT550 model equipped with a thermostatic bath for samples temperature control, at 20, 35 and 50°C. The pulp was extracted in the Food Technology Laboratory. The experimental data were fitted to Rheograms rheological models: Ostwald-de-Walle, Herschel-Bulkley and Bingham. There was a pseudoplastic behavior to the pulp.*

Keywords: *rheology, temperature, West Indian cherry pulp*