

# **DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE MODELOS REOLÓGICOS PARA O MELAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DO LEITE DE COCO**

T. B. Simões<sup>1</sup>, A. D. N. Dantas<sup>2</sup>, J. da Silva<sup>3</sup>, L. E. da Silva<sup>4</sup>, F. L. H. da Silva<sup>5</sup>, N. A. Costa<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup>Alunos de Iniciação Científica da Universidade Federal da Paraíba

<sup>3</sup>Aluno de mestrado do PPGCTA da Universidade Federal da Paraíba

<sup>4</sup>Aluno de doutorado do PPGEM da Universidade Federal da Paraíba

<sup>5</sup> Professores do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba

E-mail para contato: thiago\_bs\_06@hotmail.com

**RESUMO** – É essencial conhecer os parâmetros reológicos de substâncias de interesse da indústria. Na ciência de alimentos o estudo da reologia é fundamental para o projeto de equipamentos e para o monitoramento e controle de qualidade durante o processamento, uma vez que estão diretamente relacionados a propriedades como textura e aceitação sensorial. Esse trabalho teve como objetivo a determinação de parâmetros de modelos reológicos para o melaço de cana-de-açúcar e do leite de coco utilizando um reômetro eletrônico. Os valores da tensão de cisalhamento foram obtidos a cada 10 segundos, com uma variação da taxa de deformação de 600 a 900 s<sup>-1</sup> para o leite de coco e 1 a 50 s<sup>-1</sup> para o melaço de cana. As medidas foram realizadas em duplicata. Foi observado um comportamento não linear para o leite de coco, o que o caracteriza como um fluido não-Newtoniano. Já para o melaço de cana, foi observado um comportamento linear no reograma, característico de um fluido Newtoniano.

## **1. INTRODUÇÃO**

Ter conhecimento sobre as propriedades de deformação e escoamento de corpos sólidos e fluidos é de extrema importância para a indústria em geral, podendo auxiliar no cálculo do dimensionamento de bombas, tubulações, agitadores, trocadores de calor e homogeneizadores e facilitar o controle de qualidade do produto e prazo de validade para a indústria alimentícia e de cosméticos.

Macosko (1994) define reologia como a ciência que estuda a deformação e o fluxo da matéria, sendo que na prática restringe-se ao estudo das relações fundamentais entre a força aplicada e a deformação provocada, primeiramente nos líquidos. Na ciência de alimentos é usada para estudar o comportamento dos fluidos como resposta à aplicação de forças, sendo que a maior parte das medidas reológicas é feita baseada na aplicação de tensões de cisalhamento. As características reológicas de um produto estão diretamente relacionadas às suas propriedades de consistência e textura, que por sua vez, influenciam na aceitabilidade do mesmo. De acordo com Steffe (1996) são várias as razões para se conhecer as propriedades

reológicas dos alimentos, dentre elas destacam-se: efetuar o controle de qualidade de matérias-primas e produtos finais e conhecer a influência dos componentes da formulação.

Oliveira *et al.* (2008) relatam que é através da determinação de modelos reológicos, relacionando principalmente a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação do fluido, que explica-se o seu comportamento. Dentre os modelos reológicos, o mais simples é o newtoniano, que se caracteriza por apresentar uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Tabilo-Munizaga e Barbosa-Cánovas (2005) mencionam que poucos fluidos comportam-se como newtonianos, necessitando de modelos mais complexos para caracterizá-los.

A cana-de-açúcar é uma matéria-prima bastante abundante e de baixo custo, sendo produzida em grande parte do planeta. Ultimamente tem sido muito utilizada, seja na forma de caldo de cana ou melaço de cana, para a produção de bioetanol nos países tropicais e subtropicais, Chen *et al.* (1997). Segundo Magalhães (2007) o xarope de cana é o produto obtido da evaporação do caldo de cana clarificado, após a concentração é chamado de xarope bruto, este contém substâncias insolúveis e macromoléculas (dextrana) que são responsáveis pelo aumento da viscosidade do xarope e podem ocasionar em problemas nas etapas posteriores de fabricação do açúcar.

Mororó (2007) relata que os derivados do coco no Brasil são matérias-primas importantes na indústria alimentícia, estando presentes em bolachas, doces, iogurtes, sorvetes. Dentre os produtos originários do coco, no mercado brasileiro os que apresentam maiores demandas são o coco inteiro, a água e a polpa do coco verde, amêndoa de coco maduro, o coco ralado e o leite de coco. Este se constitui basicamente como uma emulsão óleo em água, formado a partir do extrato aquoso do endosperma do coco sólido, sendo muito utilizado como ingrediente na culinária brasileira, Sampaio Neta *et al.* (2012).

Conhecer as características reológicas de insumos como o melaço de cana-de-açúcar e do leite de coco é contribuir para o conhecimento da estrutura molecular, planejamento de equipamentos que serão utilizados para o processamento de tais matérias-primas, auxilia no controle do processo industrial, além de influenciar no controle de qualidade e aceitação das mesmas. Assim, esse trabalho teve como objetivo a determinação de parâmetros de modelos reológicos para o melaço de cana-de-açúcar e do leite de coco utilizando um reômetro eletrônico.

## **2. METODOLOGIA**

As matérias-primas utilizadas foram o leite de coco e o melaço de cana adquiridos em supermercado. As análises do comportamento reológico do leite de coco e do melaço de cana foram realizadas no laboratório de fluidos da Recogás, no Campus I da Universidade Federal da Paraíba. O comportamento reológico foi feito com o auxílio de um reômetro Thermo Haake (modelo VT550) com geometria de cilindros concêntricos (MV/MV1). As medidas

foram realizadas em duplicata a uma temperatura de equilíbrio de 30 °C, por meio de um banho termostático.

Para o controle do processo e registro das medidas efetuadas, utilizou-se o software Rheowin Pro Job Manager. Os valores da tensão de cisalhamento foram obtidos a cada 10 segundos, com uma variação da taxa de deformação de 600 a 900 s<sup>-1</sup> para o leite de coco e 1 a 50 s<sup>-1</sup> para o melão de cana. A modelagem reológica foi realizada com o auxílio do software Statistica versão 5.0, ajustando os dados experimentais aos modelos de Newton ( $\tau = \mu(\dot{\gamma})$ ), Ostwald-De-Waele ( $\tau = K(\dot{\gamma})^n$ ), Bingham ( $\tau = \tau_0 + \eta_{\infty}(\dot{\gamma})$ ) e Herschel-Bulkley ( $\tau = \tau_0 + K(\dot{\gamma})^n$ ).

Para verificação da qualidade estatística da regressão dos dados experimentais para determinação dos parâmetros dos modelos reológicos, foram utilizados o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e o erro (calculado a partir da raiz quadrada da variância), fornecidos pelo software Statistica versão 5.0.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos reogramas do leite de coco (Figura 1) e do melão de cana (Figura 2), foi observado um comportamento não linear para o leite de coco, o que caracteriza um fluido não-Newtoniano. Já para o melão de cana, foi observado um comportamento linear no reograma, característico de um fluido Newtoniano.

Figura 1 – Reograma do leite de coco

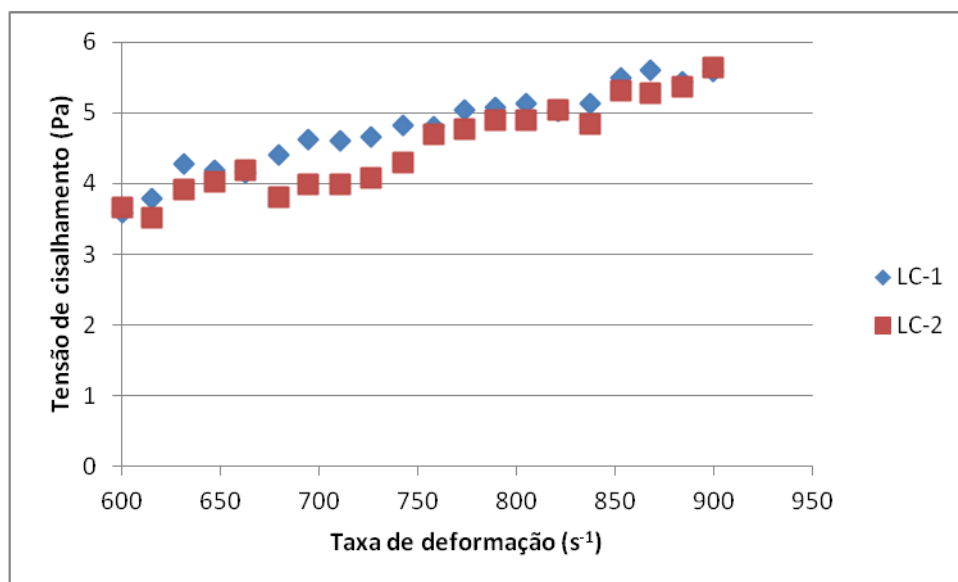
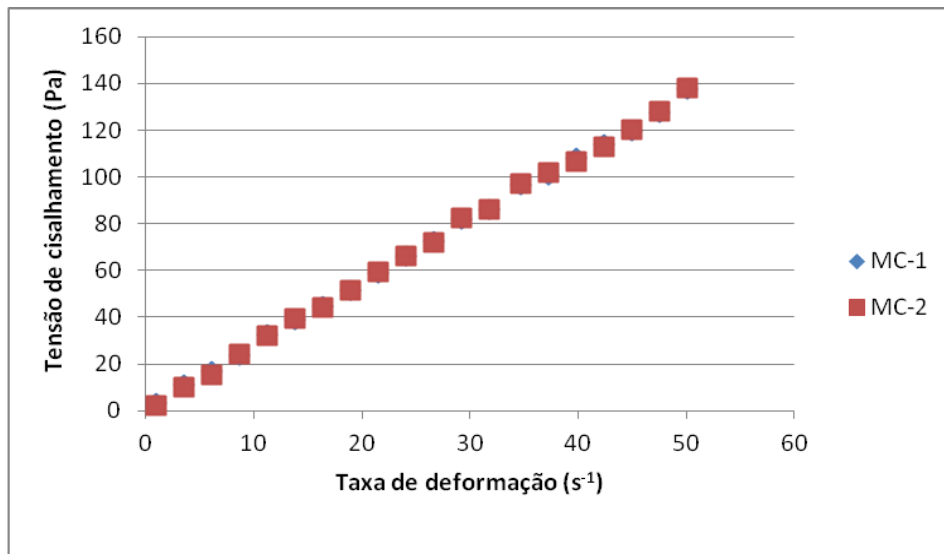


Figura 2 – Reograma do melão de cana



Os parâmetros reológicos, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os erros estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros reológicos das amostras de leite de coco e melão de cana

Amostra	Modelo Reológico								
	Newton				Ostwald-De-Waele				
	$\mu$ (Pa.s)	$R^2$	Erro	$K$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$	$R^2$	Erro		
Leite de Coco	0,006	0,942	0,206	0,005	1,016	0,942	0,208		
Melão de Cana	2,720	0,999	1,393	2,917	0,980	0,999	1,306		
	Bingham				Herschel-Bulkley				
	$\tau_0$ (Pa)	$\eta_\infty$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$	Erro	$\tau_0$ (Pa)	$K$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$	$R^2$	Erro
Leite de Coco	-0,079	0,006	0,942	0,208	-1,147	0,026	0,813	0,942	0,211
Melão de Cana	0,849	2,695	0,999	1,341	-0,179	2,952	0,977	0,999	1,322

Confirmando a observação do perfil do reograma do leite de coco que apresenta característica de um fluido não newtoniano, o modelo de Newton não se ajustou adequadamente. Os modelos de Bingham e de Herschel-Bulkley forneceram valores negativos para o  $\tau_0$ , o que não possui nenhum significado físico, tendo em vista que esse parâmetro representa a tensão mínima de cisalhamento que deve ser aplicada para que o fluido comece a escoar. Deste modo, o modelo de Ostwald-De-Waele foi o que mais se

adequou para representar o comportamento reológico do leite de coco. O reograma do melão mostrou que ele possui um comportamento característico de um fluido Newtoniano.

Observa-se que os dados experimentais em replicatas (Figura 1 e 2) apresentam boa reprodutibilidade.

#### **4. CONCLUSÃO**

O modelo de Ostwald-De-Waele foi o que mais se adequou para representar o comportamento reológico do leite de coco, enquanto o fluido melão apresenta um comportamento característico de um fluido Newtoniano. Há excelente reprodutibilidade dos dados experimentais analisados em replicatas.

#### **5. NOMENCLATURA**

$\tau$  = tensão de cisalhamento (Pa)

$\gamma$  = taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$\mu$  = viscosidade (mPa.s)

$K$  = índice de consistência ( $Pa.s^n$ )

$n$  = índice de comportamento de escoamento (adimensional)

$\tau_0$  = tensão limite de escoamento (Pa)

$\eta_\infty$  = viscosidade plástica ( $Pa.s^n$ )

#### **6. REFERÊNCIAS**

Macosko, C.W. Rheology - Principles, Measurements and Applications. *New York, John Wiley & Sons Inc.* 1994.

Magalhães, A.C.M. *Fabricação do Açúcar*, 2007. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/alcool-acucar-unidade-ii-fabricacao-acucar-doc-a-17226.html>  
Acesso em: 25/02/2015.

Mororó, R. Industrialização do coco. *Revista tecnol. e trein.*. Disponível em: <http://www.tecnologiaetreinamento.com.br>. Acesso em: 25 fevereiro de 2015.

Oliveira, K. H.; de Souza, J. A. R.; Monteiro, A. R. Caracterização reológica de sorvetes. Rheological characterization of ice cream. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, p. 592-598, jul.-set. Campinas, 2008.

Sampaio Neta, N. A.; dos Santos, J. C. S.; Sancho, S. O.; Rodrigues, S.; Gonçalves, L. R. B.; Rodrigues, L. R.; Teixeira, J. A.. Síntese enzimática de ésteres de açúcar e seu potencial como estabilizadores de tensoativos de emulsões de leite de coco. *Food Hydrocolloids*, p. 324-331, 2012.

Steffe, J. F. Rheological methods in food process engineering. *East Lansing: Fremann Press*, 1996.

Tabilo-Munizaga, G.; Barbosa-Cánovas, G. V. Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, v. 67, p. 147-156, 2005.