

## COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPA DE MELANCIA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E ADIÇÃO DE GOMA ARÁBICA

RAFAEL AUGUSTUS DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, MARIANA LUIZA MAJER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agríc., Prof. Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI, UNICAMP, Campinas – SP, (0XX19) 3521-1173, [augustus@feagri.unicamp.br](mailto:augustus@feagri.unicamp.br).

<sup>2</sup> Graduanda, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI, UNICAMP, Campinas – SP.

Apresentado no  
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015  
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

**RESUMO:** Reologia pode ser vista como a ciência da deformação e do escoamento da matéria, ou seja, é o estudo da maneira segundo a qual os materiais respondem à aplicação de uma determinada tensão ou deformação. O estudo dessas propriedades em alimentos é essencial para várias aplicações que incluem desde os projetos e avaliação de processos até o controle de qualidade, a correlação com a avaliação sensorial e a compreensão da estrutura de materiais. Este trabalho teve como objetivo o estudo do comportamento reológico de polpa de melancia a diferentes concentrações de material encapsulante e temperaturas. A polpa foi extraída de frutos in natura e processada com adição de goma arábica em diferentes proporções, de acordo com planejamento experimental. A posterior análise desses comportamentos foi realizada em reômetro capaz de medir os níveis de tensão e de deformação. A partir das informações detalhadas em relação à tensão e taxa de deformação, pôde-se avaliar estatisticamente estes dados a fim de se obter o melhor modelo matemático para caracterizar a polpa e também obter a superfície de resposta da viscosidade conforme variação de concentração e temperatura. O modelo que melhor descreveu o comportamento reológico da polpa de melancia foi o modelo de Herschel-Bulkley.

**PALAVRAS-CHAVE:** reologia, viscosidade, modelo de Herschel-Bulkley

### RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF WATERMELON PULP DEPENDING ON TEMPERATURE AND GUM ARABIC ADDITION

**ABSTRACT:** Rheology can be defined as the study of deformation and flow of matter, i.e., the study of the way in which the material respond to application of a given strain or deformation. The study of these properties in food is essential for various applications ranging from the design and evaluation processes to the quality control, including correlation of sensory evaluation and understanding the materials structure. This work aimed to study the rheological behavior of watermelon pulp to different encapsulating material concentrations and temperatures. The pulp was extracted from fresh fruit and, then, processed with gum arabic added in different proportions, according to experimental design. Further behavior analysis was performed on rheometer which measured the stress and deformation strain levels of fluid. Based on the detailed information regarding the stress and strain rate, it was possible to statistically evaluate the data in order to obtain the best model to characterize the pulp viscosity and also get response surface according to variation of concentration and temperature. The model that best described the rheological behavior of watermelon pulp was the model of Herschel-Bulkley.

**KEYWORDS:** rheology, viscosity, Herschel-Bulkley model

**INTRODUÇÃO:** A melancia (*Citrullus vulgaris* Schard syn. *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai.) pertence à família das Cucurbitáceas, a mesma da abóbora e do melão. É uma planta de caule rasteiro e ramificado, com folhas ovais divididas em 3 lobos, apresentando estruturas em espiral presas ao caule. A melancia é arredondada ou alongada, de casca lisa, verde ou rajada por manchas amareladas. É uma hortaliça de grande porte que em condições normais de produção tem seu peso

variando entre 10 e 25 kg, conforme o cultivo. Sem refrigeração, conserva-se bem durante uma semana, se guardado em lugar fresco e arejado (MIRANDA, 2005). Os principais açúcares presentes na melancia são a glicose, frutose, sacarose e maltose. Os teores de glicose e frutose (aproximadamente 5,0%) são mais altos que os de sacarose e maltose (aproximadamente 2,5%). O total de substâncias pécicas varia de 0,09 a 0,10% (TEOTIA et al., 1984, citado por MORI, 1996). Além de doce, a melancia é muito refrescante e muito nutritiva. Possui hidratos de carbono (em especial açúcares),  $\beta$ -caroteno (pró-vitamina A) e vitaminas do complexo B. Também apresenta cálcio, fósforo e ferro. Apresenta uma quantidade considerável de licopeno, em torno de 4,1 mg de licopeno/100 g de polpa, o qual confere uma intensa coloração vermelha a polpa e ao qual se atribui a propriedade de reduzir o risco de câncer e oxidação celular (PERKINS-VEAZIE et al., 2002). A melancia, como todas as frutas de modo geral, apresenta teor de água elevado e é considerada fonte importante de nutrientes essenciais à manutenção das atividades corporais. Porém, essas mesmas frutas são caracterizadas por sua instabilidade, fato este que acarreta em um período curto de utilização na cadeia produtiva. Assim, em geral é consumida *in natura* e sua polpa pode ser usada para suco. O conhecimento do comportamento reológico de polpas de frutas é indispensável no controle de qualidade, no controle intermediário em linhas de produção, no projeto e dimensionamento dos equipamentos e processos. STEFFE (1996) descreve reologia como a ciência dos materiais em alimentos. De acordo com o autor, podem-se destacar diversas áreas na indústria de alimentos nas quais o conhecimento dos dados reológicos é essencial. Essas áreas vão desde cálculos em engenharia de processos até a determinação da funcionalidade de ingredientes no desenvolvimento de produtos. A descrição do comportamento reológico dos materiais é feita através de modelos que relacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação (reogramas). De acordo com BRANCO (1995), os modelos reológicos podem relacionar as propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas como concentração, temperatura, índice de maturação, etc. Para fluidos não-newtonianos, os modelos existentes são todos empíricos e representam o ajuste mais conveniente do reograma correspondente ao produto analisado. Dentre os modelos matemáticos existentes, alguns dos mais aplicados para sistemas de alimentos são: *Ostwald-De-Waelle* (Lei da Potência), Casson e *Herschel-Bulkley*.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A polpa de melancia foi obtida através da separação da casca e da polpa vermelha dos frutos, obtidos no mercado regional. Essa polpa foi processada em liquidificador industrial, homogeneizada e congelada para posterior utilização nas análises e ensaios experimentais. Prepararam-se, então, diferentes amostras de polpa de melancia variando a temperatura (T [°C]) e a concentração de goma arábica (C [%]), conforme planejamento experimental, visando aplicar Metodologia de Superfície de Resposta (RSM). Construiu-se então, um planejamento experimental central composto com ensaios com a polpa de melancia, mostrada na Tabela 1. Goma arábica foi incorporada ao extrato de melancia, com o intuito de avaliar o comportamento de produto a ser submetido a futuros processos de estabilização e secagem.

Para determinação do comportamento reológico da polpa de melancia, utilizou-se o viscosímetro de cilindros concêntricos rotacionais Brookfield modelo LVDV II, com sistema de sensor SC4-18, conectado a um sistema computadorizado de aquisição de dados (Wingather V.1.1 Brookfield Engineering Laboratories) para registrar taxa de deformação, viscosidade aparente e tensão de cisalhamento. Foram utilizadas velocidades de rotação do *spindle* variáveis entre 35 e 200 rpm, o que correspondeu a taxas de deformação entre 46 e 264 s<sup>-1</sup>.

Cada análise reológica foi executada em quatro etapas consecutivas, sendo a primeira com taxa de deformação crescente (ida) e a segunda, com taxa decrescente (volta) e assim sucessivamente, para eliminação de possíveis efeitos tixotrópicos. Para a manutenção e fixação da temperatura, utilizou-se de um banho térmico (Brookfield, modelo TC-501).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Tendo realizado todos os ensaios experimentais, os modelos matemáticos citados foram utilizados no ajuste dos resultados de tensão e taxa de deformação por meio de regressão não-linear do pacote estatístico Statistica, versão 9.0.

Dentre os três modelos matemáticos utilizados, o que melhor caracterizou o comportamento da polpa de melancia foi o modelo de *Herschel-Bulkley* (considerando as tensões residuais do extrato), já que para este foi obtido um coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de aproximadamente 0,999. A viscosidade média, para cada ensaio realizado, encontra-se na Tabela 1.

TABELA 1. Valores de viscosidade aparente média ( $\eta$ ) encontrada para cada ensaio, em função dos valores de temperatura e concentração de goma arábica de acordo com planejamento experimental central composto.

Ensaio	$X_T$	$X_C$	T [°C]	C [%]	$\eta$ [N s m <sup>-2</sup> ]
1	-1,00	-1,00	20,0	5,0	0,041
2	-1,00	1,00	20,0	15,0	0,164
3	1,00	-1,00	60,0	5,0	0,024
4	1,00	1,00	60,0	15,0	0,098
5	-1,41	0,00	11,7	10,0	0,121
6	1,41	0,00	68,3	10,0	0,095
7	0,00	-1,41	40,0	2,9	0,019
8	0,00	1,41	40,0	17,1	0,133
9	0,00	0,00	40,0	10,0	0,058
10	0,00	0,00	40,0	10,0	0,057
11	0,00	0,00	40,0	10,0	0,055

A Tabela 2 apresenta os efeitos lineares e quadráticos dos parâmetros, bem como suas possíveis interações na avaliação do comportamento reológico da polpa de melancia.

TABELA 2. Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística (p) para a polpa de melancia.

Variáveis	Efeito Estimado	Erro padrão/Erro puro	p
Média	0,056700	0,000954	0,000283
Temperatura T (Linear)	-0,029901	0,001168	0,001523
Temperatura T (Quadrática)	0,046113	0,001391	0,000908
Concentração C (Linear)	0,089420	0,001168	0,000171
Concentração C (Quadrática)	0,014463	0,001391	0,009119
Interação T x C	-0,024600	0,001652	0,004481

Posteriormente, foi feita uma análise de variância (ANOVA) e aplicado o teste F para se verificar a significância da regressão e gerar os modelos preditivos (Tabela 3).

TABELA 3. Análise de variância (ANOVA) para análise reológica da polpa de melancia.

	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	$F_{calc}$	$F_{tab}$	$F_{calc}/F_{tab}$
Regressão	2,14E-02	5	4,28E-03	32,15	5,05	6,37
Resíduo	6,65E-04	5	1,33E-04			
Falta de ajuste	6,60E-04	3	2,20E-04	80,56	19,16	0,24
Erro puro	5,46E-06	2	2,73E-06			
Total	2,21E-02	10				

Verifica-se que os modelos apresentaram regressão significativa ( $F_{calc}$  superior ao  $F_{tab}$  com os respectivos graus de liberdade). Entretanto,  $F_{calc}$  é apenas seis vezes maior que  $F_{tab}$ , o que faz com que a regressão não seja tão útil para fins preditivos, conforme BARROS NETO et al., 2002).

Os valores de  $F_{calc}$  para falta de ajuste ficou muito acima do valor de  $F_{tab}$ , o que significa evidência de falta de ajuste do modelo.

Considerando que o coeficiente de determinação ficou em torno de 97% ( $R^2 = 0,970$ ) e que, apesar de o valor de  $F_{calc}$  para a regressão não ter sido dez vezes maior que  $F_{tab}$ , pode-se afirmar que o modelo é preditivo somente para as condições do processo estudadas. Assim, foi gerada a superfície de resposta da polpa de melancia, a partir dos valores de viscosidade aparente e das variáveis independentes temperatura e concentração de goma arábica, conforme Figura 1.

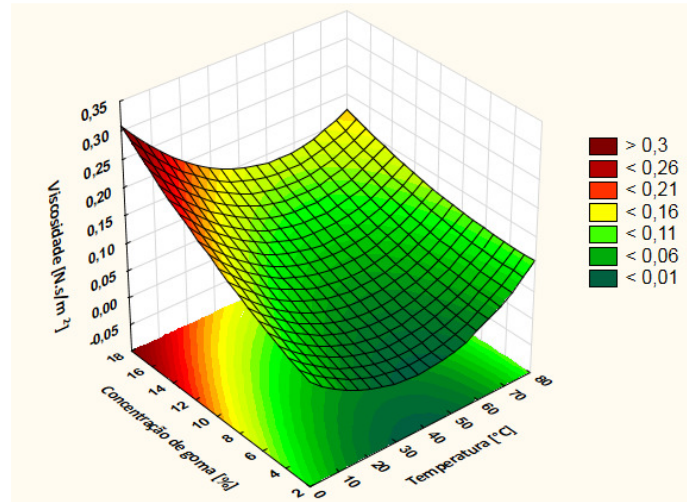


FIGURA 1. Superfície de resposta da viscosidade da polpa de melancia em função da temperatura e concentração de goma arábica.

O modelo proposto para representar a viscosidade da polpa de melancia está apresentado na equação codificada mostrada a seguir (Equação 1). Ressalta-se que, devido à evidência de falta de ajuste, o modelo só é válido para a faixa de valores estudada, ou seja, não é considerado um modelo preditivo e não pode ser utilizado para valores diferentes dos parâmetros utilizados.

$$\eta = 0,0567 - 0,0149X_T + 0,0230X_C^2 + 0,0447X_C + 0,0072X_C^2 - 0,0123X_T X_C \quad (1)$$

em que,

$\eta$  – viscosidade aparente média, [N s m<sup>-2</sup>]

$X_T$  – Temperatura codificada, [-]

$X_C$  – Concentração codificada de goma arábica. [-]

**CONCLUSÕES:** Para a polpa de melancia, a concentração do agente encapsulante foi o fator mais significativo sobre a variação da viscosidade. Na temperatura de 40°C, a polpa de melancia apresenta a menor viscosidade possível para uma baixa concentração de goma arábica. O aumento do agente encapsulante resultou em valores maiores de viscosidade da polpa, principalmente para temperaturas abaixo de 20 °C.

## REFERÊNCIAS

- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2002. 401p.
- BRANCO, I.G. **Suco de laranja concentrado: comportamento reológico a baixas temperaturas**. Campinas, 1995. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1995.
- MIRANDA K. F. **Estudo da Concentração de Licopeno por Ultrafiltração a partir de suco de Melancia**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, 2005.
- MORI, E. E. M. **Suco de melancia [*Citrullus lanatus* (Tunberg) Matsumura and Nakai]: processamento, formulação, caracterização física, química, microbiológica e aceitabilidade**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Campinas, UNICAMP, 1996.
- PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J. K.; PAIR, S. D. Watermelon packs a powerful lycopene punch, **Agricultural Research**, p.12-13, 2002.
- STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2nd edition. East Lansing - Freeman Press. 1996. 412p.
- TEOTIA, M.S.; RAMAKRISHNA, P. Chemistry and technology of melon seeds. **Journal of Food Science and Technology**, v. 21, p. 332-340, 1984.