

Efeito da temperatura no comportamento reológico da poupa de manga

J. R. M. B. Vidal

Departamento de Química e Física - UNICENTRO
85019-990 Guarapuava, PR

C. A. Gasparetto^{1,2} e A. Grandin¹

¹Departamento de Engenharia de Alimentos - UNICAMP
²Faculdade de Engenharia de Alimentos - FEA - UNICAMP
13081-970 Campinas, SP

(Recebido em 1 de junho de 2000)

Resumo: Foi determinado o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga, variedade Keitt, na faixa de temperatura de 10°C a 60°C. A polpa integral foi produzida em planta piloto e refinada em finisher com peneira de 1,6mm. As análises reológicas foram conduzidas em um reômetro Haake Rotovisco RV-20 com geometria de cilindros concêntricos. O efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos que representam o índice de consistência (K_M) foi ajustado usando-se a equação de Arrhenius: $\ln(K_M) = A_1 + B_1/T$. No caso do modelo de Mizrahi-Berk o índice de comportamento (n_M) foi ajustado por uma função do tipo: $n_M = A_2 + B_2 T$.

Palavras-chave: reologia, temperatura, manga, poupa

Abstract: The rheological behaviour of mango pulp (Keitt) was measured in the temperature range 10°C - 60°C. Whole pulp was produced in pilot plant and finished with 1.6mm mash sieve. Rheometry was conducted in a Haake Rotovisco RV-20 rheometer with concentric cylinders. Temperature effect on rheological parameters that represent the rate of consistence (K_M) was fitted using the Arrhenius equation $\ln(K_M) = A_1 + B_1/T$. In the case of model of Mizrahi-Berk (M-B), the flow behaviour index (n_M) was fitted using a function of the type: $n_M = A_2 + B_2 T$.

Key word: rheology, temperature, mango, pulp

1 Introdução

Este é um trabalho experimental sobre o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. A variedade Keitt foi estudada devido a sua importância como fruto para consumo *in natura*. Os produtos processados são apresentados comercialmente na forma de suco, néctar, sorvete, sobremesa, gelificados e outros. Para fabricação destes produtos utiliza-se a polpa concentrada e para definição dos processos é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas e químicas. Dentre essas propriedades o comportamento reológico ocupa posição de grande destaque. A inexistência de dados reológicos sobre frutas tropicais na literatura tem levado a indústria nacional a utilizar, no processo de fabricação destes sucos, condições semelhantes às aplicadas na produção do suco de laranja. Mas 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 exclusivas de cada fruta. A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados nas indústrias de processamento está ligada também à grande importância econômica que estes fluidos e equipamentos de manipulação representam atualmente. Os resultados experimentais obtidos foram estudados no sentido de buscar uma unificação para explicar o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga.

2 Materiais e métodos

Neste trabalho foi utilizada polpa de manga integral de 16 °Brix e pH 4,5 nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50, 60 °C. A manga foi processada em despolpador com tela de 1,6mm de abertura. O material foi colocado em bandeja e submetido a congelamento rápido (30 min) em congelador de placas. Após atingir -30 °C foi retirado e embalado a vácuo em sacos de polietileno e armazenado em freezer horizontal a -20 °C, sendo este material utilizado nos ensaios posteriores. As frutas foram escolhidas entre as de melhor aspecto, dando-se preferência aos exemplares mais firmes, sem danos aparentes na casca e em estágio de maturação semelhante em todo o lote. Para este fim utilizou-se um texturômetro marca Texture Analyser modelo TA-XT2 com aquisição automática de dados.

O comportamento reológico das amostras foi medido em reômetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisco modelo RV-20, com sistema de medida ZA30 (Fig. 1).

A escolha desse sistema de medida deveu-se à possibilidade de se obter um controle eficiente da temperatura de ensaio, um vez que a quantidade da amostra era pequena, aproximadamente 10 mL, com taxa de deformação na faixa de 15 a 300 s⁻¹, (pH 4,5 e 16 °Brix). Os experimentos foram realizados em triplicatas e em cada repetição utilizou-se uma nova amostra, para evitar possíveis efeitos de tempo. O tempo de cada ensaio foi de 4 min, completando um total de 20 pontos, sendo 2 min para velocidade de rotação crescente e 2 min para decrescente. Antes de iniciar-se o ensaio, conforme recomendação do fabricante, a amostra era deixada em repouso por aproximadamente 1 min para uniformização de temperatura.

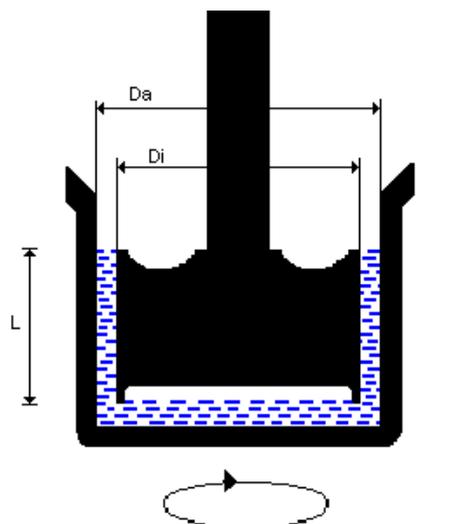


Figura 1. Sistema de medida ZA30-Reômetro Haake Rotovisco.

As curvas de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação foram ajustadas pelo modelo de Mizrahi-Berk, que é dado pela equação:

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \gamma^{n_M}$$

onde K_{OM} é a raiz quadrada da tensão inicial (Pa)^{0.5}; K_M é o índice de consistência (Pa.s); n_M é o índice de comportamento do fluido, τ é a tensão de cisalhamento (Pa); e γ é a taxa de deformação (s⁻¹).

A decisão do modelo mais adequado foi tomada com base nos parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação (R^2), chi-quadrado (χ^2) e soma dos quadrados dos resíduos (SSR). O melhor ajuste foi analisado com base nos parâmetros R^2 (mede a proporção da variação total da medida explicada pela regressão), definido como a razão entre a soma quadrática total e χ^2 que expressa a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores experimentais. Quanto maior for o valor de χ^2 maior será a discrepância entre as frequências observadas e esperadas. Quanto menor o valor de R^2 maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Portanto o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de R^2 (máximo 1) e baixos valores de χ^2 (mínimo 0).

3 Resultados e discussão

O comportamento reológico da polpa de manga integral pode ser visto na Figura 2, onde estão plotados os pontos experimentais com suas respectivas curvas de ajustes com eixo $\tau^{0,5}$ *versus* taxa de deformação γ .

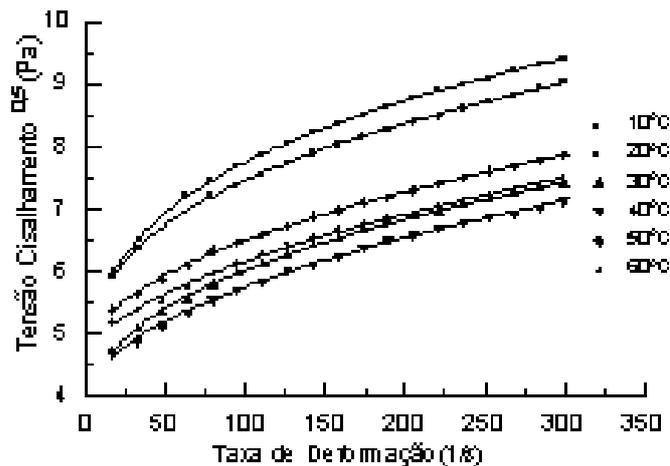


Figura 2. Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação pelo modelo de Mizrahi-Berk.

| | 10°C | 20°C | 30°C | 40°C | 50°C | 60°C |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| K_{OM} | 3,41 | 4,12 | 3,47 | 3,81 | 4,57 | 4,51 |
| K_M | 1,12 | 0,68 | 0,41 | 0,20 | 0,20 | 0,14 |
| n_M | 0,29 | 0,35 | 0,40 | 0,48 | 0,48 | 0,54 |
| erro K_{OM} | 0,06 | 0,02 | 0,09 | 0,11 | 0,07 | 0,13 |
| erro K_M | 0,04 | 0,11 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,04 |
| erro n_M | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,04 |
| χ^2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SSR | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,03 |
| R^2 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 |

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

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos parâmetros obtidos através do ajuste aos reogramas do modelo de Mizrahi-Berk, onde proporcionou melhores parâmetros de ajuste, apresentando os menores valores de χ^2 , além dos valores mais elevados para o coeficiente de determinação R^2 . O efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos que representam o índice de consistência K_M do modelo de Mizrahi-Berk foram ajustados através do programa estatístico (ORIGIN), usando o comportamento descrito pelo modelo de Arrhenius $\ln K_M = A + B/T$. Como a polpa de manga integral foi descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk, buscou-se uma dependência do tipo linear para o índice de comportamento n_M em função da temperatura, como representada na Figura 3. Nessa figura o ponto relativo à temperatura de 40°C (313 K) não foi utilizado na obtenção da reta de ajuste.

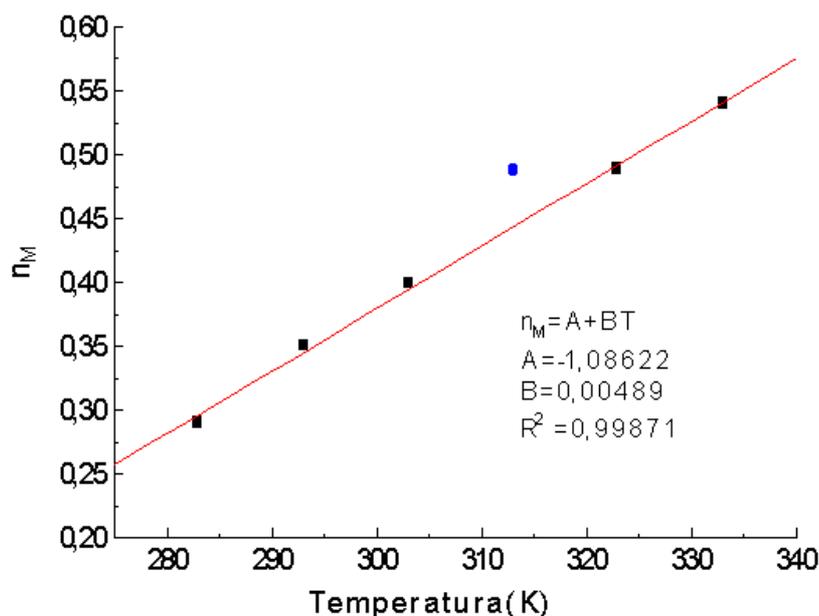


Figura 3. Efeito da temperatura sobre o parâmetro n_M Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | n_M (ajuste ao reograma) | n_M (por $n_M = A + BT$) |
|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 10 | 0,29 | 0,30 |
| 20 | 0,35 | 0,35 |
| 30 | 0,40 | 0,40 |
| 40 | 0,49 | 0,44 |
| 50 | 0,49 | 0,49 |
| 60 | 0,54 | 0,54 |

Tabela 2. Parâmetros de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

Na Tabela 2 são mostrados os parâmetros de índice de comportamento n_M ajustados ao reograma e aqueles obtidos pelo ajuste de uma dependência linear com temperatura conforme ilustrado na Figura 3. Para a descrição do parâmetro K_M (índice de consistência), buscou-se uma dependência do tipo de Arrhenius $\ln K_M = A + B/T$, para K_M em função da temperatura, como representada na Figura 4. O ponto relativo à temperatura de 40°C (313 K) não foi considerado para ajuste. Na Tabela 3 são mostrados os parâmetros K_M (índice de consistência) ajustados ao reograma e aqueles obtidos pelo ajuste de uma dependência tipo Arrhenius com a temperatura, conforme ilustrado na Figura 4.

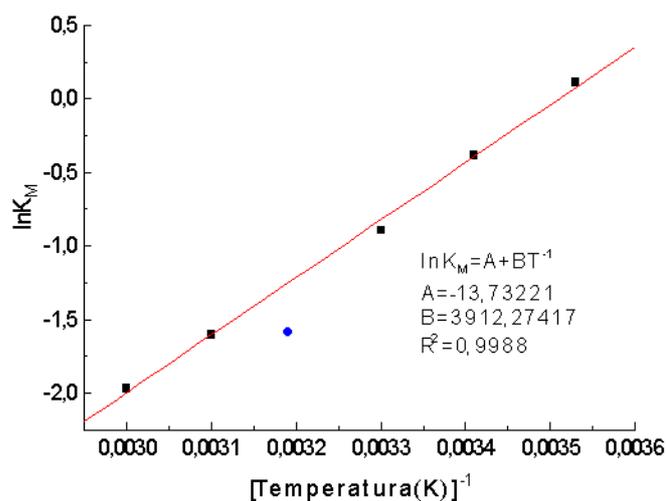


Figura 4. Efeito da temperatura sobre o parâmetro K_M Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

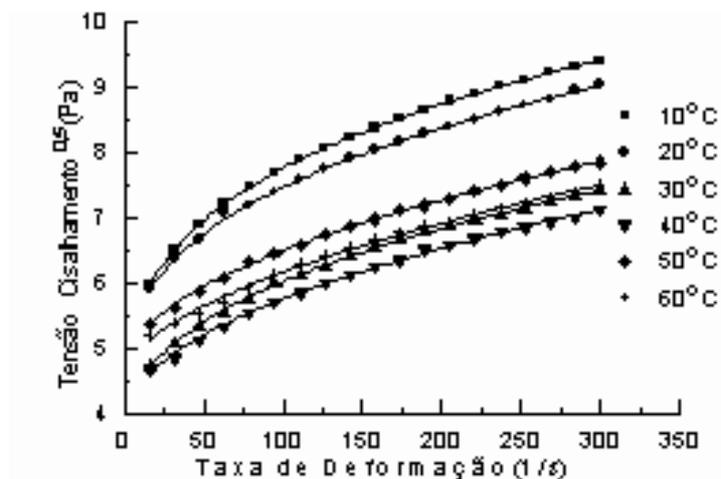


Figura 5. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para polpa de manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.

| Temperatura (°C) | K_M (Pa·s) (ajuste ao reograma) | K_M (Pa·s) ($\ln K_M = A + B/T$) |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 10 | 1,12 | 1,08 |
| 20 | 0,68 | 0,68 |
| 30 | 0,41 | 0,49 |
| 40 | 0,21 | 0,29 |
| 50 | 0,20 | 0,20 |
| 60 | 0,14 | 0,14 |

Tabela 3. Parâmetro de Mizrahi-Berk para polpa integral.

| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | K_{OM} (Pa.s) (ajuste ao reograma) | K_{OM} (Pa.s) (recalculado) |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 10 | 3,41 | 3,49 |
| 20 | 4,12 | 4,13 |
| 30 | 3,47 | 2,90 |
| 40 | 3,81 | 3,54 |
| 50 | 4,57 | 4,53 |
| 60 | 4,51 | 4,51 |

Tabela 4. Parâmetro de Mizrahi-Berk para polpa de manga integral.

Na Figura 5 os pontos marcados representam os valores fornecidos diretamente no levantamento de dados do reograma. As linhas contínuas representam o modelo de Mizrahi-Berk com os novos parâmetros K_M e n_M ajustados pela dependência com a temperatura; valores esses dados nas Tabelas 2 e 3. Neste caso o parâmetro K_{OM} da Tabela 4 foi obtido a partir de uma regressão linear usando-se os pontos experimentais e os novos valores de K_M e n_M fornecidos pela dependência com a temperatura.

Portanto este é o novo ajuste para o modelo que descreve o comportamento reológico da polpa de manga integral, levando agora em consideração a dependência dos parâmetros reológicos com a temperatura. A sua vantagem é que esses parâmetros, índice de consistência K_M e índice de comportamento n_M , estão descritos de maneira mais coerente, pois todos podem ser representados diretamente em função da temperatura. Essa representação é muito mais conveniente, principalmente para uso de algoritmos de cálculos de processos e equipamentos.

4 Conclusões

Para o modelo de Mizrahi-Berk, a partir dos dados obtidos no reômetro Haake Rotovisco, o parâmetro K_{OM} elevado ao quadrado é a tensão inicial para o produto escoar. Com a variação da temperatura o parâmetro K_{OM} variou na faixa de 3,41 a 4,57. Conclui-se que o valor do índice de comportamento é menor que 1, mostrando que a polpa de manga integral apresenta comportamento pseudoplástico. Com o aumento da temperatura, observou-se um aumento no índice de comportamento e uma diminuição no índice de consistência. Conclui-se que a viscosidade diminui com a temperatura de até 40°C . Para temperaturas de 50°C e 60°C observa-se um aumento da viscosidade o que pode ser explicado por uma possível gelatinização do amido presente na polpa de manga. Comparando-se as curvas das Figuras 2 e 5 nota-se que este procedimento de recalculer os parâmetros reológicos é perfeitamente admissível.

Bibliografia

- AMSTALDEN, L. C.; GASPARETTO, C. A. *Estudo da deposição de hesperidina em evaporadores da indústria de citrus*. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP), 1996.
- BOTREL, N. Inf. Agropec., v. 17, n. 179, p. 55-60, 1994.
- CASSON, N., *A flow equation for pigment-oil suspensions of the printingink type*. In: in Rheology of disperse suspensions, C. C. Mill (ed). New York: Pergamon Press, 1959.
- EZELL, G. H. Viscosity of concentrated orange and grapefruit juices. *Food Techn.*, v. 13, p. 9-13, 1959.
- GUNJAL, B. B., WAGHMARE, N. J. Flow characteristics of pulp, juice and nectar of Baneshan and Neelum mangoes. *Journal of Food Science Tech.* v. 24, p. 20-23, 1987.
- LARA, A. B. W.; NAZARIO, G.; ALMEIDA, M. E. W.; PREGNOLATO, W. *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz - Métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v. 1, 2^a. ed., 1976.
- MIZRAHI, S. and BERK, Z., Flow behaviour of concentrated orange juice: *Mathematical Journal of Texture* v. 3, n. 1, p. 69-79, 1972.
- QUEIROZ, A. J. M., VIDAL, J. R. M. B., VIDAL, B. C., GASPARETTO, C. A. *Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi*. XXIV Encontro sobre escoamento em meios porosos, (ENEMP), Uberlândia, MG, 1996.
- VIDAL, J. R. M. B. *Comportamento reológico da polpa de manga (Mangífera indica L-Keitt)*. Campinas: (FEA) UNICAMP, 2000. Tese de Doutorado.
- VIDAL, J. R. M. B. *Rheology of Mango juice-Effect of the Insoluble Solids*. In: 10th World Congress Of Food Science and Tecnology, p. 107. Sydney, Australia, 1999.