

EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DA GEMA DE OVO LÍQUIDA

César Augusto Canciam (UTFPR) ccanciam@gmail.com

Resumo: A massa específica é uma propriedade termofísica usada na caracterização dos materiais e dependente da temperatura e da pressão. O conhecimento do valor das propriedades termofísicas de um material é importante em muitas aplicações nas áreas da Ciência e da Engenharia. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da temperatura sobre a massa específica da gema de ovo líquida, entre 273,55 e 333,95K e pressão de 1 atm. Utilizando uma relação do tipo Arrhenius, o valor encontrado para a energia de ativação foi de 38,2669 J.mol⁻¹. Na literatura, não foram encontrados valores experimentais da energia de ativação para a massa específica da gema de ovo líquida, o que dificultou a comparação.

Palavras-chave: massa específica; gema de ovo líquida; temperatura; efeito; energia de ativação.

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE SPECIFIC WEIGHT OF LIQUID EGG YOLK

Abstract: The specific weight is a thermophysical property used to characterize the material and dependent on temperature and pressure. The knowledge of the value of thermophysical properties of a material is important in many applications in the fields of Science and Engineering. The objective of this work was to evaluate the effect of temperature on the specific weight of the liquid egg yolk, between 273.55 and 333.95K and pressure of 1 atm. Using a relationship of Arrhenius type, the value found for the activation energy was 38.2669 J.mol⁻¹. In the literature, there are no experimental values of the activation energy for the specific weight of the liquid egg yolk, which complicated the comparison.

Keywords: specific weight; liquid egg yolk; temperature; effect; activation energy.

1. INTRODUÇÃO

Os ovos processados podem ser encontrados em pó, líquido ou congelado. No caso de líquido, destacam-se a gema de ovo, a clara e o ovo integral.

A gema de ovo é formada por uma mistura de proteínas complexas compostas, basicamente, por glicoproteínas, fosfoglicoproteínas, lipoproteínas e fosfoglicolipoproteínas (SGARBIERI, 1996).

Por centrifugação, a gema do ovo é decomposta em duas fases: os sedimentos sólidos (52%) e o sobrenadante constituído por água (48%). Nos sólidos, destacam duas frações: as frações de baixa densidade e as frações de alta densidade (OLIVEIRA *et al.*, 2001).

A fração proteica de baixa densidade provavelmente apresenta uma estrutura em micelas, contendo fosfolipoproteínas em que a porção rica em lipídios neutros constitui a parte central da micela, enquanto que a parte fosfolipídica e proteica posicionariam na superfície da micela. As forças que dão estabilidade a esse sistema formado por lipídios, fosfolipídios e glicoproteínas são do tipo interações hidrofóbicas ou de Van der Waals (interações fracas) (SGARBIERI, 1996).

A fração de elevada densidade é composta basicamente por lipovitelinas e fosvitina. Enquanto que as primeiras são estabilizadas por interações de Van der Waals, a segunda comporta-se como polieletrólito; com a capacidade de ligar fortemente com vários íons e substâncias polares. Esse tipo de interação é denominada de interação íon – molécula polar; é uma interação considerada forte e sua magnitude pode ser comparada à de uma ligação covalente (SGARBIERI, 1996).

Teixeira, Coutinho e Gomes (2001) comentam que as interações de Van der Waals são originadas a partir da rápida flutuação da densidade eletrônica de cada espécie química, que induz a formação de um momento elétrico entre as espécies químicas vizinhas, fazendo com que essas se atraiam.

As interações de Van der Waals apresentam raio de ação curto, atuando unicamente entre regiões de uma e outra espécie química, que se encontram em contato mútuo, ou seja, atuam apenas entre as superfícies das espécies químicas (MORRISON; BOYD, 1996).

A massa específica de um líquido reflete o grau de empacotamento de suas espécies químicas, que é decorrência da intensidade das interações entre as espécies. Assim, interações mais intensas tende a relacionar-se com massas específicas maiores. Como volume e massa específica são inversamente proporcionais. Então, quanto mais fortes as interações, mais empacotadas estão as espécies químicas, portanto o volume será menor e conseqüentemente a massa específica será maior (BROWN; HOLME, 2009).

Massa específica, viscosidade, capacidade calorífica, condutividade térmica e difusividade térmica são consideradas como propriedades termofísicas dos materiais (MAGERROMOV *et al.*, 2008).

O conhecimento do valor das propriedades termofísicas de um material é importante em muitas aplicações nas áreas da Ciência e da Engenharia, em particular nos cálculos relacionados à Termodinâmica (balanços energéticos e equilíbrio químico), na Mecânica dos Fluidos e na Transferência de calor e de massa subjacentes às Operações Unitárias (MATOS, 1998).

Equações do tipo Arrhenius permitem modelar matematicamente um determinado parâmetro físico-químico, bem como verificar o efeito da temperatura sobre esse parâmetro. É o que acontece com a viscosidade absoluta e a massa específica (TSEN; KING, 2002; GIAP, 2010).

A Equação (1) expressa a massa específica em função da temperatura absoluta e corresponde a uma relação do tipo Arrhenius (TSEN; KING, 2002; CANCIAM, 2014):

$$\rho = \rho_{\infty} \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (1)$$

Em que ρ corresponde à massa específica, ρ_{∞} , à massa específica quando a temperatura tende ao infinito; E_a , à energia de ativação para a massa específica; R , à constante dos gases ideais e T corresponde a temperatura absoluta.

Para a obtenção dos valores da energia de ativação para a massa específica (E_a) e da massa específica quando a temperatura tende ao infinito (ρ_{∞}) pode ser empregado o método de linearização de curvas proposto por Freund (2004), na qual a Equação (1) é reescrita na forma de:

$$\ln \rho = \ln \rho_{\infty} + \left(\frac{E_a}{R}\right) \cdot \frac{1}{T} \quad (2)$$

O gráfico $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ fornece uma reta, em que o coeficiente angular corresponde à razão $\left(\frac{E_a}{R}\right)$ e o coeficiente linear, à $\ln \rho_\infty$ (CANCIAM, 2014).

Com relação à energia de ativação para a massa específica (E_a), essa grandeza indica a sensibilidade da massa específica devido à variação da temperatura. Ou seja, para valores elevados da energia de ativação para a massa específica indicam uma mudança mais rápida na massa específica com a temperatura (CANCIAM, 2014).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da temperatura sobre a massa específica da gema de ovo líquida, entre 273,55 e 333,95K e pressão de 1 atm. Para tanto, foi realizada uma análise de regressão linear de dados experimentais da massa específica da gema de ovo líquida em função da temperatura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Gut e coautores (2005) determinaram a massa específica da gema de ovo líquida entre 0,4 e 60,8°C e 1 atm.

A Tabela 1 relaciona os dados experimentais da massa específica da gema de ovo líquida em função da temperatura. Esses dados foram adaptados do trabalho de Gut e coautores (2005).

Tabela 1 – Valores experimentais da massa específica da gema de ovo líquida em função da temperatura.

T (K)	ρ (kg.m ⁻³)
273,55	1133,2
282,05	1132,6
293,45	1132,1
301,55	1131,6
310,95	1131,0
321,35	1130,4
328,35	1130,0
333,95	1129,8

As Equações (3), (4) e (5) fazem parte da análise de regressão linear dos dados emparelhados de $\ln \rho$ e $\frac{1}{T}$.

As Equações (3) e (4) determinam, respectivamente, os valores de $\left(\frac{E_a}{R}\right)$ e $\ln \rho_\infty$, sendo adaptadas do trabalho de Triola (2008). Enquanto que a Equação (5), o valor do coeficiente de correlação linear (r^2). Essa equação também foi adaptada do trabalho de Triola (2008).

$$\frac{E_a}{R} = \frac{\left\{ n \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \cdot \ln \rho \right] - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n \ln \rho \right] \right\}}{\left\{ n \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right)^2 \right] - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \right]^2 \right\}} \quad (3)$$

$$\ln \rho_\infty = \frac{\left\{ \left(\sum_{i=1}^n \ln \rho \right) - \left(\frac{E_a}{R} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{T} \right) \right\}}{n} \quad (4)$$

$$r^2 = \frac{\left\{ n \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{1}{T} \right) \cdot (\ln \rho) \right\} - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n \ln \rho \right] \right\}}{\left\{ \left[\left[n \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right)^2 \right] - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln \rho)^2 \right] - \left[\sum_{i=1}^n \ln \rho \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

Com base nos dados indicados na Tabela 1, os valores da razão $\left(\frac{E_a}{R} \right)$ e $\ln \rho_\infty$ foram obtidos a partir da análise de regressão linear dos valores de $\ln \rho$ em função de $\frac{1}{T}$ para a gema de ovo líquida.

Nas Equações (3), (4) e (5), n corresponde ao número de dados emparelhados de $\ln \rho$ em função de $\frac{1}{T}$, que de acordo com a Tabela 1, equivale a 8.

No cálculo para a determinação do valor da energia de ativação para a massa específica (E_a), considerou-se que o valor da constante universal dos gases ideais (R) equivale a $8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (NETZ; ORTEGA, 2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 ilustra o gráfico de $\ln \rho$ em função de $\frac{1}{T}$ para a gema de ovo líquida.

A Tabela 2 relaciona os resultados obtidos através das Equações (3), (4) e (5).

Pode-se observar na Tabela 2 que o coeficiente de correlação linear (r^2) está próximo da unidade.

Com relação ao coeficiente de correlação linear, Pinheiros e coautores (2009) comentam que esse parâmetro mede a interdependência linear entre as variáveis e avalia a qualidade do ajuste, ou seja, quanto mais próximo o coeficiente de correlação for da unidade, melhor o ajuste da reta em relação aos pontos da dispersão.

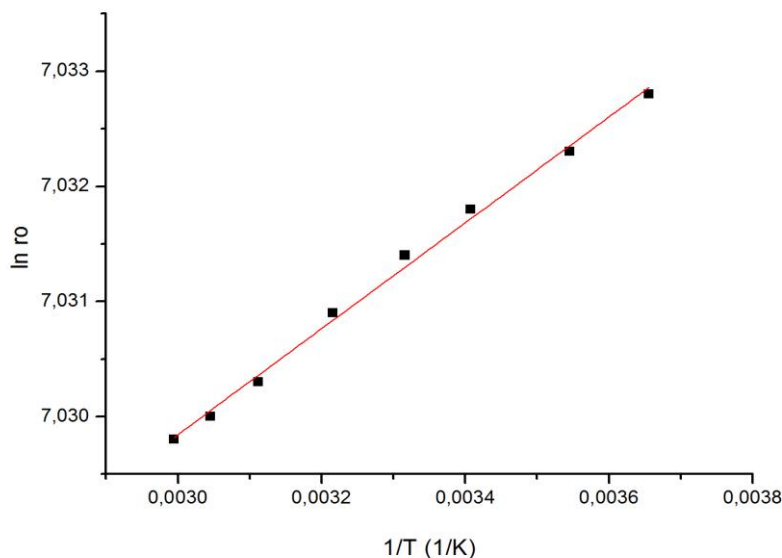


Figura 1 – Gráfico de $\ln \rho$ em função de $\frac{1}{T}$ para a gema de ovo líquida.

Tabela 2 – Resultados obtidos da análise de regressão linear.

$\ln \rho_{\infty}$	$\left(\frac{E_a}{R}\right)$	r^2
7,0160	4,6027	0,9980

Lira (2004) e Carvalho (2005) comentam que a correlação linear é classificada como muito forte quando os valores do coeficiente de correlação linear são maiores ou iguais a 0,90 e menores que 1,0. Dessa forma para a gema de ovo, a correlação linear é classificada como muito forte.

Com base na Tabela 2, o valor obtido da energia de ativação para a massa específica (E_a) equivale a $38,2669 \text{ J.mol}^{-1}$ e o valor da massa específica quando a temperatura tende ao infinito (ρ_{∞}) é de $1114,3204 \text{ kg.m}^{-3}$.

A Tabela 3 fornece a análise de variância (ANOVA) da análise de regressão linear realizada para a gema de ovo líquida. Nessa tabela, GL corresponde aos graus de liberdade, SQM, à soma dos quadrados médios; QM, ao quadrado médio e Fcal, ao valor de F calculado. Foi incluído nessa tabela, o valor de p.

De acordo com Triola (2008), no modelo de regressão linear simples a função do teste de F é a de testar a significância do efeito de X sobre Y, ou seja, testar a significância do efeito da temperatura sobre a massa específica. Considerando um nível de significância de 5%, o valor de Ftab (F tabelado) equivale a 5,99 (TRIOLA, 2008).

Como na Tabela 3 o valor de Fcal é maior que o valor de Ftab, os resultados da ANOVA sugerem que a regressão linear como um todo faz sentido, ou seja, a variável explicativa temperatura influencia globalmente a variável explicada massa específica.

Tabela 3 – ANOVA e valor de p para a análise de regressão linear.

Fonte de variação	GL	SQM	QM	Fcal	P
Regressão	1	$8,4250 \times 10^{-6}$	$8,4250 \times 10^{-6}$	1498,4370	$1,9853 \times 10^{-8}$
Resíduos	6	$3,3735 \times 10^{-6}$	$5,6225 \times 10^{-9}$		
Total	7	$8,4588 \times 10^{-6}$			

Ara, Musetti e Schneiderman (2003) comentam que o valor de p varia entre 0 e 1. Admite-se como um valor crítico de p, valores menores ou iguais a 0,05. Dessa forma, assume-se como margem de segurança 5% de chance de erro, ou, 95% de chance de estar certo. Na Tabela 3, pode-se observar que o valor de p é pequeno, sugerindo que a margem de segurança de erro é pequena.

Buscando na literatura trabalhos associados com a massa específica da gema de ovo líquida, constatou-se a ausência desse estudo; o que dificultou as análises dos resultados obtidos nesse trabalho.

Canciam (2014) estudou o efeito da temperatura sobre a massa específica de ésteres metílicos de ácidos graxos e observou que a energia de ativação para a massa específica variou de 809,77 a 833,54 J.mol⁻¹. O intervalo de temperatura considerado foi de 293,15 a 383,15K e pressão de 1 atm.

Com relação à energia de ativação para a massa específica (E_a), essa grandeza indica a sensibilidade da massa específica devido à variação da temperatura. Ou seja, para valores elevados da energia de ativação para a massa específica indicam uma mudança mais rápida na massa específica com a temperatura (CANCIAM, 2014).

Dessa forma, comparando a energia de ativação para a massa específica da gema de ovo líquida com a energia de ativação para a massa específica dos ésteres metílicos de ácidos graxos, observa-se que para estes a energia de ativação para a massa específica é maior. Ou seja, para os ésteres metílicos de ácidos graxos existe uma mudança mais rápida na massa específica com a temperatura quando comparada com a gema de ovo líquida.

4. CONCLUSÕES

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da temperatura sobre a massa específica da gema de ovo líquida, entre 273,55 e 333,95K e pressão de 1 atm.

Utilizando uma relação do tipo Arrhenius, o valor encontrado da energia de ativação para a massa específica foi de 38,2669 J.mol⁻¹. Enquanto que o valor da massa específica quando a temperatura tende ao infinito foi de 1114,3204 kg.m⁻³.

A análise de regressão linear revelou que a correlação linear foi classificada como muito forte.

Na literatura, não foram encontrados valores experimentais desses parâmetros, o que dificultou a comparação.

Em comparação aos ésteres metílicos de ácidos graxos, a gema de ovo líquida apresenta uma menor sensibilidade da massa específica devido à variação de temperatura.

REFERÊNCIAS

ARA, A.; MUNETTI, A.B.; SCHNEIDERMAN, B. *Introdução à Estatística*. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2003, 162p.

BROWN, L.S.; HOLME, T.A. *Química Geral Aplicada à Engenharia*. Editora Cengage Learning, São Paulo, 2009, 450p.

CANCIAM, C.A. *Efeito da temperatura na massa específica de ésteres metílicos de ácidos graxos*. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v.12, n.1, p.17-27, 2014.

CARVALHO, M.J.S. *Quimiometria e espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e médio (MIR) aplicadas na análise de óleos lubrificantes*. Rio de Janeiro: IME, 2005. 121p. Dissertação (Mestrado em Química) – IME, 2005.

FREUD, J.E. *Estatística aplicada – Economia, Administração e Contabilidade*. Editora Artmed, Porto Alegre, 2004, 545p.

GIAP, S.G.E. *The hidden property of Arrhenius-type relationship: viscosity as a function of temperature*. *Journal of Physical Science*, v.21, n.1, p.29-39, 2010.

GUT, J.A.W.; PINTO, J.M.; GABAS, A.L.; TELIS-ROMERO, J. *Continuous pasteurization of egg yolk: thermophysical properties and process simulation*. *Journal of Food Process Engineering*, v. 28, n.2, p. 181-203, 2005.

LIRA, S.A. *Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicação*. Curitiba: UFPR, 2004. 196p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – UFPR, 2004.

MAGERRAMOV, M.A.; ABDULAGATOV, A.I.; AZIZOV, N.D.; ABDULAGATOV, I.M. *Pressure- and temperature-dependent density change of juices during concentration*. *Food Bioprocess Technology*, n.1, p.254-269, 2008.

MATOS, M.A.A. *Propriedades termofísicas de alguns gases, sólidos e da água*. Editora da Universidade de Aveiro, Aveiro, 1998, 30p.

MORRISON, R.T.; BOYD, R.N. *Química Orgânica*. Fundação Calouste Gulbekian, Lisboa. 1996, 1394p.

NETZ, P. .; ORTEGA, G.G. *Fundamentos de físico-química: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas*. Editora Artmed, Porto Alegre. 2008, 299p.

OLIVEIRA, B.L.; VALLE, R.H.P.; BRESSAN, M.C.; CARVALHO, E.P. *Tecnologia de ovos*. UFLA/FAEPE Editora, Lavras, 2001, 75p.

PINHEIRO, J.I.D.; CUNHA, S.B.; CARVAJAL, S.R.; GOMES, G.C. *Estatística básica: a arte de trabalhar com dados*. Editora Elsevier, Rio de Janeiro. 2009, 295p.

SGARBIERI, V.C. *Proteínas em alimentos protéicos*. Livraria Varela Editora, São Paulo. 1996, 517p.

TEIXEIRA, V.G.; COUTINHO, F.M.B.; GOMES, A.S. *Principais métodos de caracterização de resinas à base de divinilbenzeno. Química Nova, v. 24, n. 6, p.808-818, 2001.*

TRIOLA, M.F. *Introdução à Estatística.* LTC, Rio de Janeiro, 2008, 720p.

TSEN, J.H.; KING, V.A.E. *Density of banana puree as a function of soluble solids concentration and temperature. Journal of Food Engineering, v.55, p.305-308, 2002.*