INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE A VISCOSIDADE ABSOLUTA DE CINCO ÓLEOS VEGETAIS REFINADOS

César Augusto Canciam

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Brasil
(canciam@utfpr.edu.br)

Resumo: O conhecimento da viscosidade absoluta é essencial no dimensionamento de equipamentos e tubulações. Este trabalho analisou o efeito térmico sobre a viscosidade absoluta dos óleos vegetais refinados de algodão, canola, girassol, milho e soja, entre 20 e 70 °C, via regressão de dados experimentais da literatura. Os resultados sugerem que óleo de canola apresentou maior sensibilidade térmica.

Palavras-chave: Óleos; Viscosidade; Temperatura; Efeito.

INTRODUÇÃO

Os óleos vegetais refinados são constituídos majoritariamente por triglicerídeos, que representam a principal fração da sua composição. Em menor proporção, podem conter fosfolipídeos, cerídeos, componentes insaponificáveis, clorofilas e produtos de alteração (Ferrari, 2001). A estrutura molecular desses triglicerídeos, determinada pelo comprimento da cadeia carbônica e pelo grau de insaturação dos ácidos graxos, afeta diretamente a intensidade das forças intermoleculares. Dessa forma, essas características químicas são determinantes no comportamento reológico, influenciando a resistência ao escoamento quando submetido a variações térmicas (Fasina et al., 2006).

No processamento industrial de grãos, o refino dos óleos vegetais compreende etapas consecutivas, como degomagem, neutralização e desodoridação, as quais são conduzidas sob distintas condições térmicas. Compreender a resposta reológica desses fluidos frente a oscilações térmicas é indispensável, visto que variações na viscosidade alteram diretamente o regime de escoamento, o fator de fricção nas paredes das tubulações e a perda de carga nos sistemas (Moretto e Fett, 1998; McCabe et al., 2005; Fellows, 2006).

Conceição et al. (2005) ressaltam o aumento da demanda por óleos vegetais provenientes de diferentes fontes naturais, impulsionado por aplicações que abrangem desde alimentos e derivados até a produção de ésteres e o emprego direto como biocombustíveis. No âmbito da síntese de biodiesel, os óleos vegetais refinados apresentam vantagens técnicas relevantes, uma vez que constituem uma fração majoritária de triglicerídeos e contêm menores proporções de constituintes minoritários, como fosfolipídeos e cerídeos. Essa composição confere maior estabilidade e previsibilidade às propriedades físico-químicas do biodiesel. Diante disso, em processos que envolvem transporte, bombeamento e aquecimento desses óleos, o conhecimento do comportamento reológico e da viscosidade absoluta torna-se um fator para garantir a eficiência operacional e o dimensionamento das redes de tubulações e bombeamento.

De acordo com Marzzoco e Torres (1990), as gorduras apresentam alta concentração de ácidos graxos saturados e, por esse motivo, permanecem sólidas à temperatura ambiente. Em contraste, os óleos vegetais são ricos em ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados, o que lhes confere estado líquido nas mesmas condições.

Com base na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2025), esses teores de ácidos graxos variam significativamente entre as espécies. O óleo refinado de canola, por exemplo, destaca-se pelo predomínio de ácidos graxos monoinsaturados. Em contrapartida, os óleos refinados de girassol e de soja são majoritariamente constituídos por ácidos graxos poli-insaturados, enquanto os óleos refinados de algodão e de milho exibem uma composição intermediária em termos de ácidos graxos mono e poli-insaturados.

Em relação aos ácidos graxos saturados, o óleo refinado de algodão possui a maior quantidade, seguido pelos óleos refinados de milho e de soja. Os óleos refinados de canola e de girassol apresentam os menores teores de ácidos graxos saturados (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 2025).

A viscosidade absoluta (ou dinâmica) corresponde à resistência interna de um fluido ao movimento relativo de suas camadas, ou seja, à sua oposição ao fluxo (White, 2016). Esta grandeza desempenha papel fundamental no processamento industrial, pois influencia diretamente o escoamento de fluidos, as

operações de agitação e mistura e a perda de carga em tubulações (Campos et al., 1989). Dessa forma, a determinação dessa propriedade física é essencial em diversas aplicações que vão desde o projeto, dimensionamento e avaliação de sistemas hidráulicos até o controle de qualidade e a compreensão da estrutura e comportamento dos materiais (Steffe, 1996; Rao, 2007).

Pesquisas demonstram que a temperatura influencia os parâmetros reológicos, sendo comum a utilização do modelo do tipo Arrhenius para descrever o efeito da temperatura na viscosidade absoluta de alimentos líquidos (Rao et al., 2014). Segundo Singh et al. (2023), esse modelo matemático (indicado pela Equação 1) relaciona a temperatura absoluta (T), a constante universal dos gases ideais (R), a energia de ativação (E_a), a viscosidade absoluta (μ) e a uma constante (μ_0), denominada por Pereira et al. (2003) como parâmetro de ajuste.

$$\mu = \mu_0 \, . \, e^{\left(\frac{E_a}{R.T}\right)} \quad (1)$$

A linearização da Equação 1 resulta na Equação 2.

$$ln\, \mu = ln\mu_0 + \left[\left(\frac{E_a}{R}\right) . \left(\frac{1}{T}\right)\right] \quad (2)$$

A Equação 2 estabelece a forma linearizada da relação entre a viscosidade absoluta dos fluidos e a temperatura absoluta, permitindo sua aplicação a dados experimentais na determinação do parâmetro de ajuste e da energia de ativação por meio da análise de regressão linear simples. O conhecimento desses parâmetros permite modelar matematicamente o comportamento reológico do fluido e compreender os efeitos térmicos sobre a viscosidade absoluta (Singh et al., 2023).

A energia de ativação representa a medida da sensibilidade da viscosidade absoluta frente às variações de temperatura. Maiores valores desse parâmetro indicam que a viscosidade absoluta do fluido manifesta uma resposta mais pronunciada às alterações térmicas (Gratão et al., 2004; Ibarz e Barbosa-Cánovas, 2014).

A Teoria do Estado Ativado**,** proposta por Eyring em 1941, é amplamente utilizada para explicar a viscosidade absoluta de líquidos sob a ótica dos Fenômenos de Transporte. Essa abordagem considera que o líquido é formado por moléculas intercaladas com vacâncias (posições desocupadas que podem ser preenchidas). Mesmo em repouso, as moléculas deslocam-se para ocupar vacâncias vizinhas. A viscosidade absoluta corresponde à força que resiste a esse escoamento, funcionando como uma medida da fricção interna do fluido. Nesse contexto, a energia de ativação representa a barreira potencial que a molécula precisa superar para "saltar" a uma vacância adjacente. Valores mais elevados de energia de ativação indicam maior sensibilidade da viscosidade absoluta às variações de temperatura, ou seja, o fluido responde de forma mais intensa às mudanças térmicas (Bird et al., 2002).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência térmica da viscosidade absoluta de óleos vegetais refinados (algodão, canola, girassol, milho e soja), destacando a susceptibilidade de cada fluido frente às variações de temperatura.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais de viscosidade absoluta dos óleos refinados de algodão e de canola em função da temperatura absoluta estão apresentados na Tabela 1, enquanto os valores dos óleos refinados de girassol e de milho, e de soja, encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3. Todos os dados experimentais foram adaptados do trabalho de Brock et al. (2008).

Tabela 1. Viscosidade absoluta dos óleos refinados de algodão e de canola em função da temperatura absoluta.

Temperatura absoluta (K)	Viscosidade absoluta do óleo refinado de algodão (10^{-3} Pa.s)	Viscosidade absoluta do óleo refinado de canola (10^{-3} Pa.s)
293,15	67,7	73,1
303,15	47,3	50,5
313,15	33,4	35,6
323,15	24,6	25,2
333,15	18,0	19,1
343,15	16,0	14,5

Tabela 2. Viscosidade absoluta dos óleos refinados de girassol e de milho em função da temperatura absoluta.

Temperatura absoluta (K)	Viscosidade absoluta do óleo refinado de girassol (10^{-3} Pa.s)	Viscosidade absoluta do óleo refinado de milho (10^{-3} Pa.s)
293,15	58,3	67,6
303,15	41,3	47,4
313,15	29,1	32,3
323,15	21,3	24,8
333,15	16,4	18,5
343,15	12,6	14,0

Tabela 3. Viscosidade absoluta do óleo refinado de soja em função da temperatura absoluta.

Temperatura absoluta (K)	Viscosidade absoluta do óleo refinado de soja (10^{-3} Pa.s)
293,15	59,0
303,15	41,2
313,15	29,5
323,15	22,3
333,15	16,7
343,15	12,6

A partir dos dados experimentais apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, determinou-se a razão $\left(\frac{E_a}{R}\right)$ e o coeficiente de determinação (r^2) por meio da aplicação das Equações 3 a 10, as quais foram adaptadas do trabalho de Silva (2023).

$$A = \sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{1}{T_i}\right).(ln\mu_i)\right] \quad (3)$$

$$B = \left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{T_i}\right)\right].\left[\sum_{i=1}^{n}(ln\mu_i)\right] \quad (4)$$

$$C = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{T_i}\right)^2 \quad (5)$$

$$D = \left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{T_i}\right)\right]^2 \quad (6)$$

$$E = \sum_{i=1}^{n}(ln\mu_i)^2 \quad (7)$$

$$F = \sum_{i=1}^{n}(ln\mu_i) \quad (8)$$

$$\left(\frac{E_a}{R}\right) = \frac{(n.A) - B}{(n.C) - D} \quad (9)$$

$$r^2 = \frac{(n.A) - B}{\sqrt[2]{[(n.C) - D\,].[(n.E) - F]}} \quad (10)$$

Nas Equações 3 a 10, n corresponde ao número de dados pareados apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, sendo este igual a 6.

Para o cálculo da incerteza da razão $\left(\frac{E_a}{R}\right)$ foi empregada a Equação 11, adaptada do trabalho de Bevington e Robinson (2003).

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt[2]{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{T_i} - E\left[\frac{1}{T}\right]\right)^2}} \quad (11)$$

Na qual σ corresponde à incerteza da razão $\left(\frac{E_a}{R}\right)$, s equivale ao desvio-padrão dos resíduos da regressão linear e $E\left[\frac{1}{T}\right]$ corresponde à média aritmética dos valores de $\frac{1}{T_i}$.

Nos cálculos para determinar a energia de ativação (E_a), o valor adotado para a constante universal dos gases ideais (R) foi de 8,314.10^{-3} kJ.mol^{-1}.K^{-1} (Smith et al., 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados para $\left(\frac{E_a}{R}\right) \pm \sigma$ e para o coeficiente de determinação (r^2) estão indicados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores encontrados para os óleos vegetais refinados estudados.

Espécie	$\left(\frac{E_a}{R}\right) \pm \sigma$ (K)	Coeficiente de determinação (r^2)
Algodão	3007,3088 ± 137,5842	0,9917
Canola	3268,7465 ± 33,8106	0,9996
Girassol	3093,7574 ± 37,1039	0,9994
Milho	3156,0224 ± 53,5949	0,9989
Soja	3081,7109 ± 26,0692	0,9997

A qualidade do ajuste linear é avaliada pelo coeficiente de determinação, o qual quantifica a capacidade explicativa do modelo. Dessa forma, valores do coeficiente de determinação próximos à unidade indicam uma robusta aderência da reta aos dados observados. A título de exemplo, o coeficiente de determinação de 0,9985 estabelece que 99,85 % da variância dos dados é explicada pelo modelo ajustado, ao passo que a variância residual representa 0,15 % do sistema (Triola, 2021).

Pode-se observar na Tabela 4, que os valores obtidos do coeficiente de determinação mostraram-se extremamente próximos à unidade $(r^2 > 0{,}99)$, indicando que os modelos matemáticos foram capazes de explicar mais de 99 % da variabilidade dos dados experimentais de viscosidade absoluta.

Os valores da energia de ativação dos óleos vegetais refinados estudados estão indicados na Tabela 5.

Com base nos valores indicados na Tabela 5, verificou-se que o óleo refinado de canola detém o maior valor central, com uma faixa da energia de ativação de 26,8953 a 27,4575 kJ·mol⁻¹.

Ocupando uma posição intermediária, o óleo refinado de milho apresentou uma faixa da energia de ativação de 25,7936 a 26,6848 kJ·mol⁻¹, a qual se sobrepõe parcialmente aos valores obtidos para o óleo refinado de girassol (25,4130 a 26,0300 kJ·mol⁻¹). Este último, de maneira similar, compartilha parte de sua amplitude com a do óleo refinado de soja (25,4046 a

25,8380 kJ·mol⁻¹), confirmando a homogeneidade estatística desse grupo.

Tabela 5. Valores da energia de ativação.

Espécie	E_a(kJ.mol^{-1})
Algodão	25,0028 ± 1,1439
Canola	27,1764 ± 0,2811
Girassol	25,7215 ± 0,3085
Milho	26,2392 ±0,4456
Soja	25,6213 ± 0,2167

Por fim, a energia de ativação do óleo refinado de algodão apresentou a maior incerteza experimental, resultando em uma faixa de 23,8589 a 26,1467 kJ·mol⁻¹. Essa amplitude sobrepõe parcialmente ao intervalo obtido para o óleo refinado de milho e abrange, em sua totalidade, os limites determinados para os óleos refinados de girassol e de soja.

A energia de ativação está intrinsecamente ligada à viscosidade absoluta, à temperatura e às forças intermoleculares do fluido. Conforme descrito pela relação do tipo Arrhenius, o aumento de temperatura aumenta a energia cinética e expande as distâncias intermoleculares, atenuando as forças atrativas e reduzindo a viscosidade absoluta (Atkins e De Paula, 2018). Esse fenômeno é fundamentado mecanisticamente pela Teoria do Estado de Transição de Eyring, Sob essa ótica, o fluxo viscoso é interpretado como um processo cinético no qual as moléculas devem superar uma barreira de energia potencial para transitar em direção a lacunas adjacentes na matriz líquida (Bird et al., 2002). Desse modo, os valores da energia de ativação obtidos refletem diretamente a magnitude dessa barreira energética transicional.

Como apontado por Toralles et al. (2006) e Alshareedah et al. (2024), maiores valores de energia de ativação denotam maior sensibilidade da viscosidade absoluta frente a variações térmicas. Esse comportamento deve-se ao fato de que o aumento da temperatura fornece energia cinética ao sistema, atenuando as forças atrativas intermoleculares e favorecendo o escoamento. Assim, os resultados obtidos indicam que o óleo refinado de canola possui um comportamento reológico mais suscetível a oscilações térmicas em relação aos demais óleos refinados estudados.

A matriz molecular dos óleos vegetais refinados é regida por distintas forças intermoleculares. Nas cadeias carbônicas dos ácidos graxos predominam as forças de dispersão de London, enquanto os grupos carbonila das ligações éster promovem interações do tipo dipolo-dipolo. Adicionalmente, manifestam-se interações de empacotamento eletrônico do tipo π - π e ligações de hidrogênio residuais, associadas a traços de água ou de moléculas polares minoritárias, como mono e diacilgliceróis (Bockisch, 1998; Damodaran e Parkin, 2017). O balanço dessas forças determina a viscosidade absoluta e a energia de ativação dos óleos vegetais refinados indicados na Tabela 5. Nos óleos refinados de soja e de girassol, ricos em ácidos graxos poli-insaturados, a presença das duplas ligações induz dobras nas cadeias carbônicas. Esse impedimento estérico dificulta o empacotamento organizado das moléculas, enfraquecendo as forças de dispersão de London (Knothe e Steidley, 2005). Consequentemente, a menor intensidade dessas forças reduz a barreira energética para o escoamento, o que resulta em menores valores da energia de ativação e, por conseguinte, em uma menor sensibilidade da viscosidade absoluta frente às variações térmicas.

O óleo de milho, por sua vez, apresenta composição intermediária e mista em termos de ácidos graxos, o que refletiu em valores da energia de ativação entre os óleos ricos em ácidos graxos poli-insaturados e ácidos graxos monoinsaturados.

Já no óleo refinado de canola, rico em ácidos graxos monoinsaturados (principalmente o ácido oleico), as cadeias carbônicas possuem apenas uma dobra. Isto permite maior linearidade e maior contato superficial entre as moléculas, intensificando a coesão intermolecular (Marangoni, 2005). Essa maior atração exige mais energia para que o escoamento ocorra, o que explica os maiores valores de energia de ativação. Sob aquecimento, contudo, a energia cinética rompe essas interações com facilidade, justificando a queda acentuada da viscosidade absoluta, conforme pode ser visto nas Tabelas 1 e 3 (Bailey, 2005; Knothe e Steidley, 2005).

O óleo refinado de algodão apresenta um alto teor de ácidos graxos saturados (como o ácido palmítico), cuja ausência de duplas ligações permite um empacotamento molecular compacto e ordenado (Damodaran e Parkin, 2017), impondo uma grande resistência inicial ao fluxo. Contudo, este óleo apresentou o menor valor central de energia de ativação da Tabela 5, indicando que sua viscosidade absoluta é menos sensível a variações térmicas na faixa avaliada. Esse comportamento, aliado ao intervalo amplo e à maior incerteza observados (com sobreposição parcial aos valores dos óleos refinados de soja e de girassol), decorre da maior variabilidade e heterogeneidade em sua composição lipídica (Gunstone, 2004; Bailey, 2005; Mashanov et al., 2024; Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 2025).

CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram a aplicabilidade e a robustez do modelo do tipo Arrhenius para descrever o comportamento reológico dos óleos vegetais refinados estudados. Os coeficientes de determinação com valores acima de 0,99 qualificam os ajustes lineares, validando a confiabilidade dos dados obtidos e confirmando que a variabilidade da viscosidade absoluta em função da temperatura é quase inteiramente explicada pelos modelos adotados.

Sob a ótica molecular e em consonância com a Teoria do Estado de Transição de Eyring, constatou-se que a estrutura química dos ácidos graxos governa diretamente a barreira de energia potencial necessária para o escoamento. O óleo refinado de canola apresentou o maior valor central da energia de ativação, evidenciando que a maior linearidade dos ácidos graxos monoinsaturados (quando comparados aos ácidos graxos poli-insaturados) favorece uma coesão intermolecular e confere aos valores das viscosidades absolutas uma maior sensibilidade a variações térmicas. Em contrapartida, o impedimento estérico gerado pelas dobras dos óleos vegetais refinados ricos em ácidos graxos poli-insaturados (soja e girassol) enfraqueceu as forças de dispersão de London, reduzindo a energia de ativação e tornando-os reologicamente mais estáveis frente ao aquecimento.

Em relação à energia de ativação, o óleo refinado de milho consolidou-se em uma posição intermediária previsível devido à sua composição mista em termos de ácidos graxos, enquanto o óleo refinado de algodão revelou uma dinâmica particular. Embora seu alto teor de ácidos graxos saturados imponha uma forte resistência mecânica inicial, a presença de cadeias carbônicas mais curtas reduziu a área de contato molecular sob aquecimento, resultando no menor valor central de energia de ativação e em uma maior incerteza. Assim, os resultados consolidam o vínculo entre as estruturas microscópicas das cadeias carbônicas de ácidos graxos e a resposta reológica dos óleos vegetais refinados estudados.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana pelo apoio e pelo estímulo constante à pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

ALSHAREEDAH, I.; SINGH, A.; YANG, S.; RAMACHANDRAN, V.; QUINN, A.; POTOYAN, D. A.; BANERJEE, P. R. Determinants of vsicoelasticity and flow activation energy in biomolecular condensates. Science Advances, v. 10, 12 p., 2024.

ATKINS, P.; DE PAULA, J. Físico-química: volume 2. LTC, Rio de Janeiro, 2018.

BAILEY'S industrial oil and fat products. (Fereidoon Shahidi). John Wiley & Sons, Hoboken, 2005.

BEVINGTON, P. R.; ROBINSON, D. K. Data reduction and error analysis for the physical sciences. McGraw-Hill, New York, 2003.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. Transport Phenomena. John Wiley & Sons, New York, 2002.

BOCKISCH, M. Fats and oils handbook. AOCS Press, Champaign, 1998.

BROCK, J.; NOGUEIRA, M. R.; ZAKRZEVSKI, C.; CORAZZA, F. C.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 28, 7 p., 2008.

CAMPOS, S. D. S.; GONÇALVES, J. R.; MORI, E. E. M.; GASPARETTO, C. A. Reologia e Textura de Alimentos. ITAL, Campinas, 1989.

CONCEIÇÃO, M. M.; CANDEIA, R. A.; DANTAS, H. J.; SOLEDADE, L. E. B.; FERNANDES, V. J.; SOUZA, A. G. Rheological behavior of castor oil biodiesel. Energy & Fuels, v. 19, 4 p., 2005.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. Fennema's food chemistry. CRC Press, Boca Raton, 2017.

FASINA, O. O.; HALLMAN, H.; CRAIG-SCHMIDT, M.; CLEMENTS, C. Predicting temperature-dependence of viscosity of vegetable oils from fatty acid composition. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 83, 5 p., 2006.

FELLOWS, P. J.; Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática. Artmed, Porto Alegre, 2006.

FERRARI, R. A. Componentes minoritários de óleos vegetais. Óleos & Grãos, n. 58, 9 p., 2001.

GRATÃO, A. C. A.; BERTO, M. I.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Reologia do açúcar invertido: influência da temperatura na viscosidade. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 24, 5 p., 2004.

GUNSTONE, F. D. The Chemistry of Oils and Fats: Sources, Composition, Properties and Uses. Blackwell Publishing, Oxford, 2004.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVA. G. V. Introduction to Food Process Engineering. CRC Press, Boca Raton, 2014.

KNOTHE, G.; STEIDLEY, K. R. Kinematic viscosity of biodiesel fuel componentes and related compouds. Fuel, v. 84, 6 p., 2005.

MARANGONI, A. G. Fat crystal networks. Marcel Dekker, New York, 2005.

MARZZOCCO, A.; TORRES, B. B. Bioquímica Básica. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1990.

MASHANOV, A. A.; OJOVAN, M. I.; DARMAEV, M. V.; RAZUMOVSKAYA, I. V. The activation energy temperature dependence for viscous flow of chalcogenides. Applied Sciences, v. 14, 12 p., 2024.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill, New York, 2005.

MORETTO, E.; FETT, R. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. Livraria Varela, São Paulo, 1998.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Comportamento reológico de mel da abelha uruçu (*Melipona scutellaris, L.*). Ciências Exatas e Naturais, v. 5, 8 p., 2003.

RAO, M. A. Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods: Principles and Applications. Springer, New York, 2007.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.; DATTA, A. K.; AHMED, J. (Eds.). Engineering Properties of Foods. CRC Press, Boca Raton, 2014.

SILVA, A. R. Estatística decodificada. Blucher, São Paulo, 2023.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R.; ERDOGDU, F. Introduction to Food Engineering. Academic Press, San Diego, 2023.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M.; SWIHART, M. T. Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química. LTC, Rio de Janeiro, 2022.

STEFFE, J. F. Rheological Methods in Food Process Engineering. Freeman Press, East Lansing, 1996.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Centro de Pesquisa em Alimentos (FoRC). Versão 7.3. São Paulo, 2025. Disponível em http://www.fcf.usp.br/tbca. Acesso em: 24 maio 2026.

TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCOLO, C. T. Reologia de purê homogeneizado de pêssego: Efeito da Temperatura e Concentração. Brazilian Journal of Food Technology, v. 9, 8 p., 2006.

TRIOLA, M. F. Elementary statistics. Pearson, Boston, 2021.

WHITE, F. M. Fluid mechanics. McGraw-Hill Education, New York, 2016.