



INFLUÊNCIA DA REDUÇÃO DE GORDURA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E REOLÓGICAS DE SORVETE DE FRUTA

Influence of fat reduction on the physical and rheological properties of fruit ice cream

Eugênia Telis de Vilela SILVA^{1}, Henrique Valentim MOURA², Douglas Vinicius Pinheiro de FIGUEIREDO³, Cristina Fernandes CAVALCATTI⁴, Anna Karoline de Sousa LIMA⁵.*

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi elaborar sorvetes com diferentes percentuais de gordura e avaliá-los quanto as características térmicas e físicas. Foram fabricados sorvetes sabor limão com teor de gordura de 6% (Formulação 1) e 12% (Formulação 2). Os sorvetes foram submetidos às análises de overrun e perfil de textura. As caldas dessas formulações foram analisadas quanto à cinética de congelamento na temperatura de -12 e -33 °C e ajustadas para os modelos de Fourier e Cavalcanti-Mata. Para o perfil reológico as caldas foram analisadas nas temperaturas de 5, 30 e 70 °C e foram correlacionados através dos modelos reológicos de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele. Observou-se incorporação mínima de ar nas formulações, característica que pode ser ajustada aumentando-se o tempo de agitação. Os diferentes teores de gordura das formulações influenciaram na textura das mesmas, onde o aumento de gordura acarretou numa redução do parâmetro de firmeza da Formulação 2 em relação a Formulação 1. Para cinética de congelamento os teores de sólidos gordurosos e solúveis tiveram influência sobre o tempo de congelamento das caldas, sendo maior o tempo à medida que o teor desses sólidos eram maiores. No perfil reológico, nas temperaturas estudadas, as caldas das duas formulações apresentaram o comportamento de um fluido não-Newtoniano, pseudoplástico.

Palavras-chave: Cinética de congelamento. Textura. Overrun. Viscosidade aparente.

ABSTRACT: The objective of this work was to prepare ice creams with different percentages of fat and evaluate them according to their thermal and physical characteristics. Lemon flavored ice creams with a fat content of 6% (Formulation 1) and 12% (Formulation 2) were manufactured. The ice creams were submitted to the analysis of overrun and texture profile. The syrups of these formulations were analyzed for freezing kinetics at -12 and -33 °C and adjusted for the Fourier and Cavalcanti-Mata models. For the rheological profile, the syrups were analyzed at temperatures of 5, 30 and 70 °C and were correlated through the rheological models of Herschel-Bulkley and Ostwald-de-Waele. Minimal air incorporation was observed in the formulations, a characteristic that can be adjusted by increasing the stirring time. The different levels of fat in the formulations influenced their texture, where the increase in fat resulted in a reduction in the firmness parameter of Formulation 2 in relation to Formulation 1. For freezing kinetics, the contents of fatty and soluble solids had an influence on time of freezing the syrups, the time being greater as the content of these solids was higher. In the rheological profile, at the temperatures studied, the mixtures of the two formulations showed the behavior of a non-Newtonian fluid, pseudoplastic

Key words: Freezing kinetics. Texture. Overrun. Apparent viscosity.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 20/04/2021, aprovado em 05/06/2021

¹Mestre em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande – PB; (83) 2101-1000, eugenia_telys@hotmail.com.

²Mestre em Engenharia Agrícola, UFCG, Valentim_henrique@hotmail.com

³Bacharel em Engenharia de Alimentos, UFCG, douglasdvpf@hotmail.com

⁴Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFPB, Christina_cyc@hotmail.com

⁵Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFPB, karol_slima@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O sorvete é uma espuma congelada, com o ar incorporado durante o processo de congelamento. Consiste em um sistema multifásico de bolhas de ar dispersas, glóbulos de gordura parcialmente coalescidos, cristais de gelo e uma fase aquosa contínua com solutos dissolvidos (açúcares e sais) e macromoléculas suspensas (polissacarídeos e proteínas), além dos micronutrientes como cálcio e vitaminas A, D e E (MARSHALL; ARBUCKLE, 1996; GOFF, 1997; ISMAIL et al., 2020).

É um dos laticínios mais consumidos e sua produção é muito lucrativa para as indústrias alimentícias (AKDENIZ; AKALIN, 2019).

Todos os elementos presentes na composição do sorvete, são responsáveis por sua estrutura, afetando assim suas propriedades físicas, como resistência ao derretimento e dureza, e seu comportamento viscoelástico, bem como as características sensoriais do produto final.

Além dos aspectos sensoriais, a quantidade e a funcionalidade dos ingredientes usados nas formulações de sorvete influenciam a textura, aspectos coloidais, como microestrutura, viscosidade da fase sérica, características da emulsão e propriedades térmicas que determinam a qualidade geral do sorvete (CHEN et al., 2019; VELÁSQUEZ et al., 2019).

A gordura desempenha um papel fundamental como agente estrutural, auxilia na estabilização da fase de ar, afeta a liberação de moléculas de sabor hidrofóbico (GOFF et al., 1999; MCCLEMENTS, 2015). Normalmente, o sorvete contém aproximadamente 10–16% de gordura (TEKIN et al., 2017).

O efeito da redução da gordura na formação de gelo já foi estudado usando as propriedades térmicas dos sorvetes (JARDINES et al., 2018). Por outro lado, o controle instrumental da textura e qualidade do sorvete é comumente realizado pela análise de diversas propriedades, como viscosidade da base (mistura antes do congelamento), overrun, dureza e força de compressão, primeira gota e taxa de derretimento (JARDINES et al., 2020).

Foi relatado que a redução ou remoção de gordura do sorvete resultaria na ruptura das redes globulares de gordura, eventualmente causando alguns defeitos nas qualidades do produto final, como retenção de forma, resistência ao derretimento e suavidade (AIME et al., 2001).

Desse modo o presente estudo investigou características térmicas e físicas de dois sorvetes sabor limão com teor de gordura com redução do teor de gordura de 12% para 6%. Foram realizadas as análises de overrun, reologia e perfil de textura, e a cinética de congelamento na temperatura de -12 e -33 °C, ajustadas para os modelos de Fourier e Cavalcanti-Mata.

MATERIAL E MÉTODOS

Todas as matérias primas utilizadas foram adquiridas em comércio local na cidade de Campina Grande – PB.

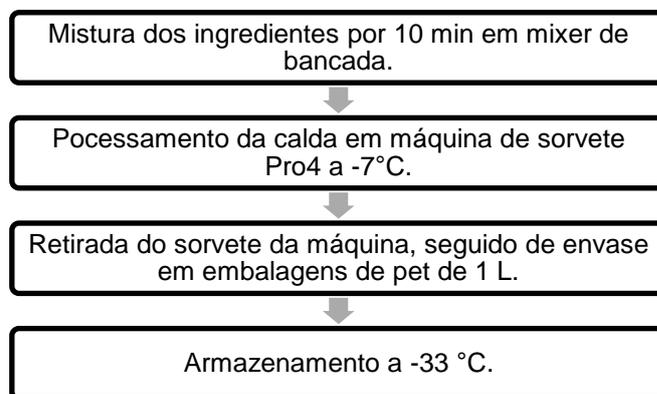
As formulações do sorvete foram de acordo com as quantidades da Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidades dos ingredientes de cada formulação.

Ingredientes (g)	Formulação 1	Formulação 2
Leite in natura (3% de gordura)	4000	4000
Leite em pó integral	600	500
Açúcar	900	1200
Glucose	175	175
Creme de leite	700	800
Gordura vegetal hidrogenada	0	500
Suco de limão	900	900

Os ingredientes da Tabela 1 seguiram o fluxograma de obtenção dos sorvetes apresentados na Figura 1. Antes de toda calda ser processada, um volume de 2 litros foi retirado e armazenado sobre refrigeração para as futuras análises de cinética de congelamento e de reologia.

Figura 1 – Fluxograma de obtenção dos sorvetes (Autor, 2020).



Essas formulações foram pensadas de modo que produzissem um sorvete com 6% de gordura (Formulação 1) e com 12% de gordura (Formulação 2), sendo este último classificado como sorvete premium. Estas formulações foram obtidas dentro das normas estabelecidas para sorvetes e picolés, quanto aos seus constituintes macro, os quais estão relacionados com o teor de gordura da calda (Tabela 2).

As curvas de congelamento dos sorvetes foram obtidas utilizando-se um freezer vertical da marca “Gelopar”. As amostras de sorvete foram postas para o experimento -em placa plana e a temperatura foi monitorada com auxílio de termopares (TP-01), e registrada em intervalos de tempo predeterminados. Durante todo o experimento a porta do freezer não foi aberta, e as temperaturas de análise foram -12 °C e -31 °C.

Tabela 2 – Quantidades dos ingredientes de cada formulação.

Constituintes	Formulação 1	Formulação 2
Teor de gordura (%)	6,48	12,03
Sólidos não gordurosos do leite (%)	11,33	9,41
Teor de açúcar (%)	14,80	17,05
Sólidos totais (%)	32,61	38,49
Água (%)	66,15	60,40

Para a determinação do overrun a calda foi pesada e o valor foi anotado. Logo após o congelamento e aeração do sorvete, a massa do mesmo foi pesada e o valor foi anotado. O overrun foi calculado através da Equação 1, proposta por Goff e Hartel (2003):

$$(1) \quad \% \text{ Overrun} = \frac{\text{massa da calda} - \text{massa do sorvete}}{\text{massa do sorvete}} \times 100$$

A textura foi realizada utilizando-se um texturômetro modelo TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) com Probe AB/E back extrusion (pistão de diâmetro 4 cm). Os testes foram realizados em triplicata com os sorvetes sob temperatura de consumo (-12 °C), para todas as formulações, com uma velocidade de penetração do probe de 2 mm/s e uma distância percorrida de 15 mm. Os dados foram capturados pelo programa Texture Expert Exceed – versão 2.6, gerando as curvas características do perfil de textura das análises, determinando-se a força máxima requerida à extrusão das amostras de sorvetes das duas formulações.

O equipamento utilizado para caracterização reológica foi o viscosímetro VISCOMETER DV-II+Pro da marca Brookfield utilizando o spindle N°03. O estudo do comportamento reológico foi realizado com as caldas nas temperaturas de 5, 30 e 70°C, em diferentes velocidades de rotação. As temperaturas foram tomadas com base nas fases de processamento do sorvete, temperatura ambiente, 30 °C, temperatura de pasteurização, 70 °C e temperatura de resfriamento na saída do pasteurizador, 5 °C. Os dados experimentais obtidos em diferentes temperaturas, para cada amostra, foram correlacionados através dos modelos reológicos: Herschel-Bulkley (Equação 2) e Ostwald-de-Waele ou lei da potência (Equação 3).

$$(2) \quad \tau = \sigma_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n$$

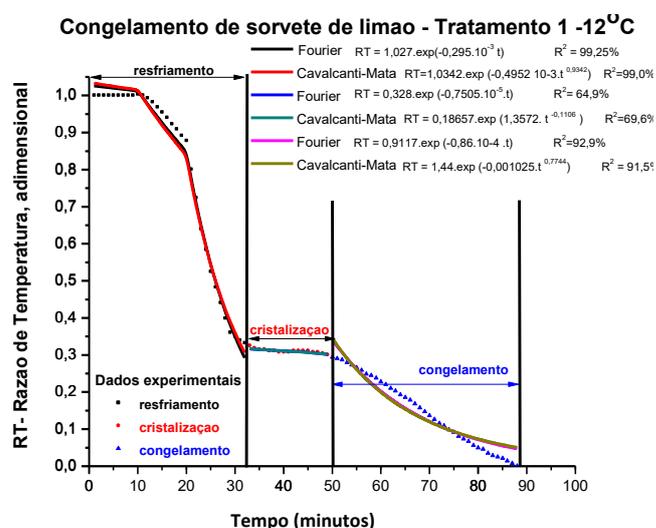
$$(3) \quad \tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$$

onde, σ_0 é a tensão de escoamento Herschel – Bulkley (H – B) (Pa), k é o coeficiente de consistência H – B (Pa.s n) e n é o índice de comportamento de fluxo H – B (adimensional).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cinéticas de congelamento da calda para sorvete de limão correspondente à formulação, com 6% de gordura, nas temperaturas de -12 °C e -31 °C estão ilustradas nas Figuras de 2 e 3.

Figura 2 - Cinética de congelamento da calda para sorvete de limão, com 6% de gordura, formulação 1, na temperatura de -12°C e ajustes segundo os modelos de Fourier e Cavalcanti-Mata.



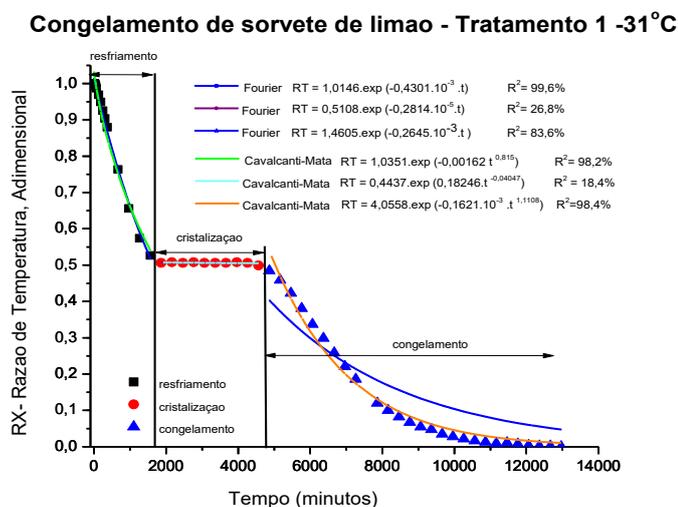
Observando-se a Figura 2, percebe-se que a fase de resfriamento, da temperatura ambiente até o início do congelamento demorou aproximadamente 32,5 min; a fase da cristalização, onde se inicia o processo de formação dos cristais de gelo, acontece para uma razão de temperatura 0,3 e possui duração de aproximadamente 17,5 minutos, onde começa a fase de congelamento que, até atingir a temperatura de equilíbrio, durou aproximadamente, 38 minutos.

Quanto à modelagem matemática, percebe-se que tanto o modelo de Fourier quanto o de Cavalcanti-Mata se ajustaram de maneira semelhantes, com coeficientes de determinação, R², acima de 99% na primeira fase e acima de 91 % na fase de congelamento. Assim, ambos representam satisfatoriamente a curva de congelamento para calda de sorvete de limão, com 6% de gordura.

Na cinética de congelamento de produtos com teor de água elevados, os modelos são aplicados para estudo mais detalhados das fases de resfriamento e de congelamento, onde se deve conhecer detalhadamente a velocidade desses processos, representada pela difusividade.

O baixo coeficiente de determinação na fase de cristalização não afeta e nem inviabiliza a utilização do modelo, pois nesta fase o dado de maior importância é o tempo de duração, visto que a difusividade é infinitamente pequena e pode ser considerada nula.

Figura 3 - Cinética de congelamento da calda para sorvete de limão, com 6% de gordura, formulação 1, na temperatura de -31°C e ajustes segundo os modelos de Fourier e Cavalcanti-Mata.



Observando-se a Figura 3, percebe-se que a fase de resfriamento, da temperatura ambiente até o início do congelamento, demorou aproximadamente 1600 segundos ou 26,7 minutos; a fase da cristalização aconteceu para uma razão de temperatura 0,55 com duração de um pouco mais que 3000 segundos, aproximadamente 50 minutos, onde começa a fase de congelamento que, até atingir a temperatura de equilíbrio com a câmara, durou aproximadamente 120 minutos.

É interessante observar que a fase de resfriamento na temperatura de -31 °C acontece bem mais rápida do que na temperatura de -12 °C, como era de se esperar, visto que a diferença de temperatura entre a amostra, no início do processo, 25 °C, e a temperatura da câmara, -31 °C, é maior que no primeiro caso, assim a difusividade térmica, que representa a velocidade de ocorrência do processo, é maior.

A fase de cristalização foi um pouco maior visto que a formação ocorre a uma razão de temperatura maior, assim essa fase de cristalização é mais demorada, visto a necessidade de uma maior quantidade de energia para que ocorra o mesmo processo.

A fase de pós congelamento, aparentemente tem maior duração, porém a difusividade é maior do que no caso anterior (congelamento a -12 °C), o que ocorre é que no caso anterior o equilíbrio acontece a -12 °C, neste segundo o processo atinge o equilíbrio a -31°C, ou seja, esta grande diferença exige um acréscimo de tempo para que chegue a uma temperatura muito mais baixa.

Em relação a modelagem matemática, na primeira fase do processo, resfriamento, o modelo de Fourier se comporta levemente melhor do que o modelo de Cavalcanti Mata, enquanto na fase de congelamento, o modelo de Cavalcanti Mata se ajusta bem melhor que o modelo de Fourier. Assim, pode-se concluir que o Modelo de Cavalcanti Mata representa melhor os dados de congelamento de sorvete de limão com 6% de gordura do que o modelo de Fourier.

As cinéticas de congelamento da calda para sorvete de limão correspondente à formulação, com 12% de gordura, nas temperaturas de -12 °C e -31 °C estão ilustradas nas Figuras de 4 e 5.

Figura 4 - Cinética de congelamento da calda para sorvete de limão, com 12% de gordura, Formulação 2, na temperatura de -12°C e ajustes segundo os modelos de Fourier e Cavalcanti-Mata.

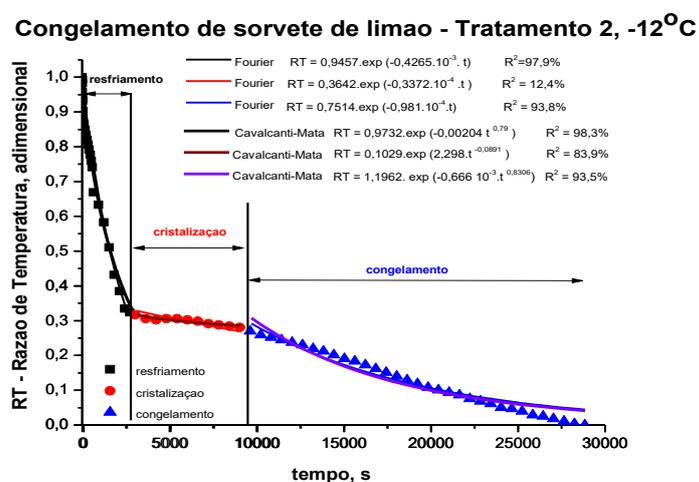
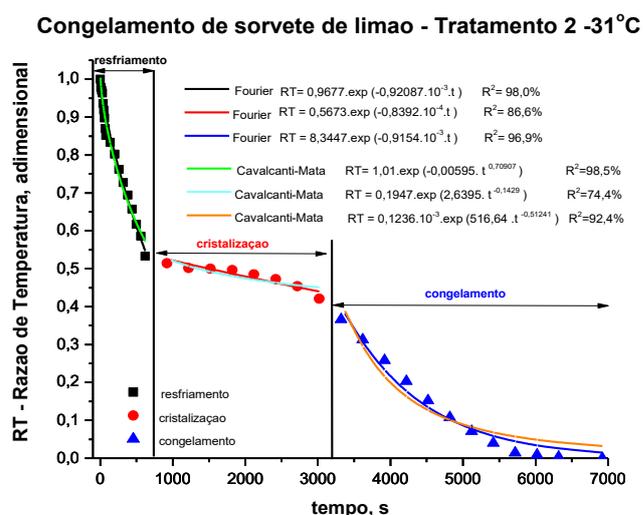


Figura 5 - Cinética de congelamento da calda para sorvete de limão, com 12% de gordura, Formulação 2, na temperatura de -31°C e ajustes segundo os modelos de Fourier e Cavalcanti-Mata.



Comparando-se a cinética de congelamento das caldas de sorvete de limão com 6% e com 12% de gordura, ambas na temperatura de -12 °C, percebe-se claramente a influência do teor de gordura e do acréscimo de sólidos não gordurosos (sólidos solúveis) na cinética de congelamento das caldas.

Enquanto, para a mesma temperatura de -12 °C, a fase de resfriamento da formulação com 6% de gordura demorou 32,5 minutos, a da formulação 2 durou cerca de 41 minutos; a fase de cristalização demorou 17,5 para a formulação 1, para a formulação 2 esta fase demorou 133,33 minutos, evidenciando a grande influência do teor de sólidos solúveis e sólidos gordurosos na cinética de congelamento da calda. Percebe-se, no entanto, que as duas caldas, na cinética de congelamento a -12 °C, iniciam a fase de cristalização na razão de temperatura, $RT = 0,3$.

Com relação aos ajustes dos modelos, percebe-se que o modelo de Cavalcanti-Mata se ajusta melhor aos dados experimentais de cinética de congelamento da calda com 12% de gordura à temperatura de -12 °C.

Uma análise similar pode ser feita para Formulação 2 em comparação a Formulação 1, agora na temperatura de -31 °C, ou seja, existe um evidente aumento do tempo de processo, de cada fase da cinética, com o aumento do teor de sólidos gordurosos e sólidos solúveis.

Analisando o ajuste dos modelos para a cinética de congelamento da calda com 12% de gordura, Formulação 2, percebe-se que o modelo de Fourier se ajusta melhor aos dados experimentais do que o modelo de Cavalcanti Mata, porém ambos podem ser usados para representar o congelamento da calda de sorvete de limão, com 12% de gordura, formulação 2, na temperatura de -31 °C.

Os resultados para análise de overrun são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de overrun para as formulações desse estudo.

Formulação	Overrun (%)
1	18,98 ± 1,3 ^b
2	24,05 ± 2 ^a

*Letras diferentes na mesma coluna denota diferença significativa (P <0,05).

Observa-se na Tabela 3 houve diferença significativa nos valores de overrun para as amostras, onde foi um pouco maior para a Formulação 2 (24,05 ± 2%). Ao contrário do encontrado por Rolon et al. (2017), onde não houve diferença significativa entre as amostras com diferentes teores de gordura, inclusive entre as amostras com 12 e 6%

A quantidade de ar presente no sorvete é de suma importância, devido ao seu controle sobre a qualidade, pois confere ao produto maciez e leveza, além de influenciar as propriedades físicas e derretimento e dureza. O volume de ar incorporado pode ser de mais de 50% a um mínimo de 10 a 15%. (OLIVEIRA et al., 2008). Com base nisto as formulações aqui desenvolvidas se apresentaram em teores baixos de incorporação de ar.

Os sorvetes com maior incorporação de ar apresentam textura mais macia e maior cremosidade. Por outro lado, quando muito pouco ar é incorporado, o sorvete é denso e “pesado” (MAESTRELLO et al., 2018).

Os resultados para os parâmetros de firmeza obtidos na análise de textura se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetro de firmeza para as formulações de sorvete.

Formulação	Firmeza (N)
1	13,64 ^a
2	6,02 ^b

*Letras diferentes na mesma coluna denota diferença significativa (P <0,05).

A textura do sorvete depende de fatores como: estrutura, composição estado de agregação dos glóbulos de

gordura, da quantidade de ar incorporado, do tamanho e da quantidade dos cristais de gelo formados. A textura está relacionada com a consistência e a dureza do sorvete, tendo como consequência, o seu derretimento (SILVA, et al.,2013).

A partir da Tabela 4 percebe-se que a Formulação 2 apresentou um menor valor de firmeza (6,02 N) em comparação com a Formulação 1 e ambos diferiram estatisticamente (p < 0,05). Sabendo que firmeza é um parâmetro de textura que corresponde à força aplicada para ocasionar deformação da amostra, avaliada em texturômetro e está correlacionada com a força para morder e comprimir o alimento na boca (KALVIAINEN et al., 2000).

É possível dizer que ao aumento do teor de gordura melhorou a textura do sorvete da Formulação 2 o deixando mais macio. O sorvete com baixo teor de gordura geralmente contém mais água e, portanto, cristais de gelo maiores (HARTEL, 1996), o que se reflete nas propriedades texturais e sensoriais.

Na Tabela 5 e 6 estão apresentados os parâmetros dos modelos de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waelen nas temperaturas 5, 30 e 70 °C e seus coeficientes de determinação (R²) para as duas formulações deste estudo.

No modelo de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waelle os coeficientes de correlação (R²) foram todos maiores que 99% para Formulação 1, e ao aumentar a temperatura de análise o coeficiente também aumentou. Para a Formulação 2 os dois modelos apresentaram coeficiente de correlação em torno de 98% e na temperatura de 70 °C houve um leve declínio desse valor.

Observando-se o parâmetro n para ambos os modelos e para as duas formulações, este se apresentou menor que 1 revelando um comportamento pseudoplástico das caldas. Javidi et al. (2016), avaliando a influência da goma de semente de manjerição, goma de guar e sua mistura nas propriedades reológicas, físicas e sensoriais de sorvetes com baixo teor de gordura, obtiveram também comportamento pseudoplástico para as suas amostras.

As Tabelas 5 e 6 mostram que o valor do coeficiente de consistência (k), uma medida de viscosidade, que afeta o corpo e a textura das misturas de sorvete (MARSHALL et al., 2003), é muito dependente do teor de gordura.

A redução de gordura levou a uma diminuição significativa no valor de k da amostra. Portanto, as amostras com maior teor de gordura produziram altos coeficientes de consistência e limites de elasticidade e baixo índice de comportamento de fluxo, proporcionaram propriedades reológicas satisfatórias em sorvetes.

A viscosidade é indesejável durante a fabricação de sorvete, é um fenômeno que pode ocorrer quando o alimento amorfo é aquecido ou exposto a alta umidade (JARDINES et al., 2018). O aumento da gordura reduziu a viscosidade aparente dos sorvetes, comportamento também observado por Javidi et al. (2016).

Tabela 5 - Parâmetros para equação de Herschel-Bulkley das duas formulações de sorvete

Herschel-Bulkley					
	Temperatura (°C)	σ_0	k	n	R ² (%)
Formulação 1	5	-0,5824	1,6068	0,5559	99,193
	30	-2,1100	2,2531	0,6202	99,644
	70	-5,6647	3,3639	0,7687	99,907
Formulação 2	5	4,1618	3,3824	0,4754	98,956
	30	5,8063	3,7225	0,4031	98,996
	70	7,1479	4,2933	0,2913	98,438

Tabela 6 - Parâmetros para equação de Ostwald-de-Waele das duas formulações de sorvete

Ostwald-de-Waele				
	Temperatura (°C)	k	n	R ² (%)
Formulação 1	5	1,4106	0,4946	99,191
	30	1,4171	0,4689	99,628
	70	1,4700	0,4363	99,834
Formulação 2	5	3,1461	0,4220	98,901
	30	3,3084	0,3705	98,909
	70	4,1616	0,2932	97,801

Nas Figuras 6 e 7, podem ser vistos os reogramas das caldas, com ajustes pelos modelos de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele, respectivamente.

Nota-se que para os dois modelos estudados para uma taxa de deformação fixa, a tensão de cisalhamento diminuiu com o aumento da temperatura. Quanto a classificação do

fluido, a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da temperatura e com o aumento da velocidade de rotação, indicando para estas condições que as amostras da formulação 1 e 2 apresentam um comportamento não-newtoniano e pseudoplástico.

Figura 6. Comportamento reológico da Formulação 1, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele.

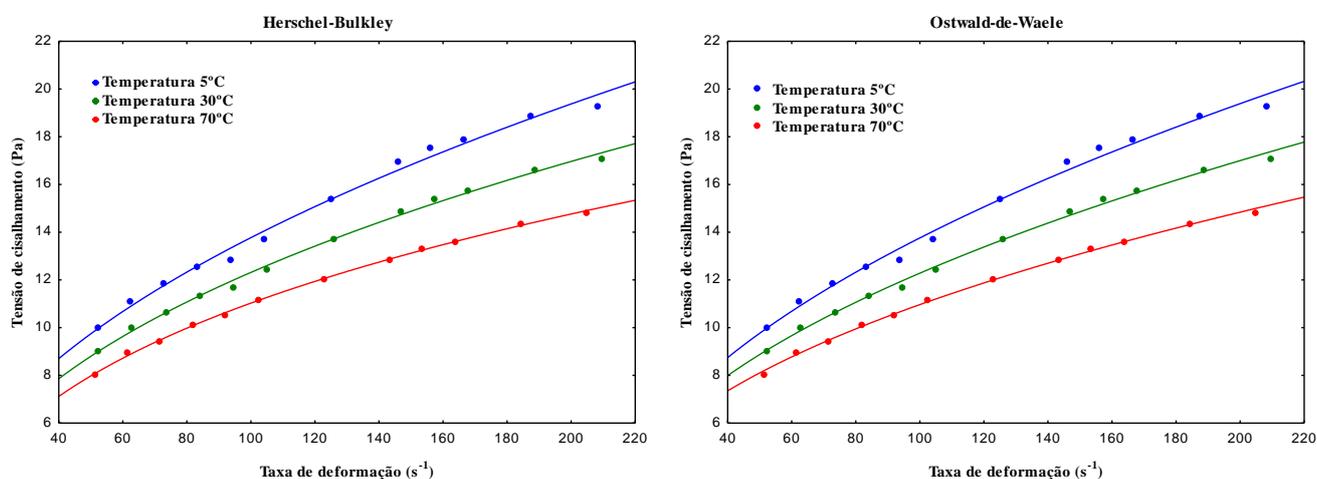
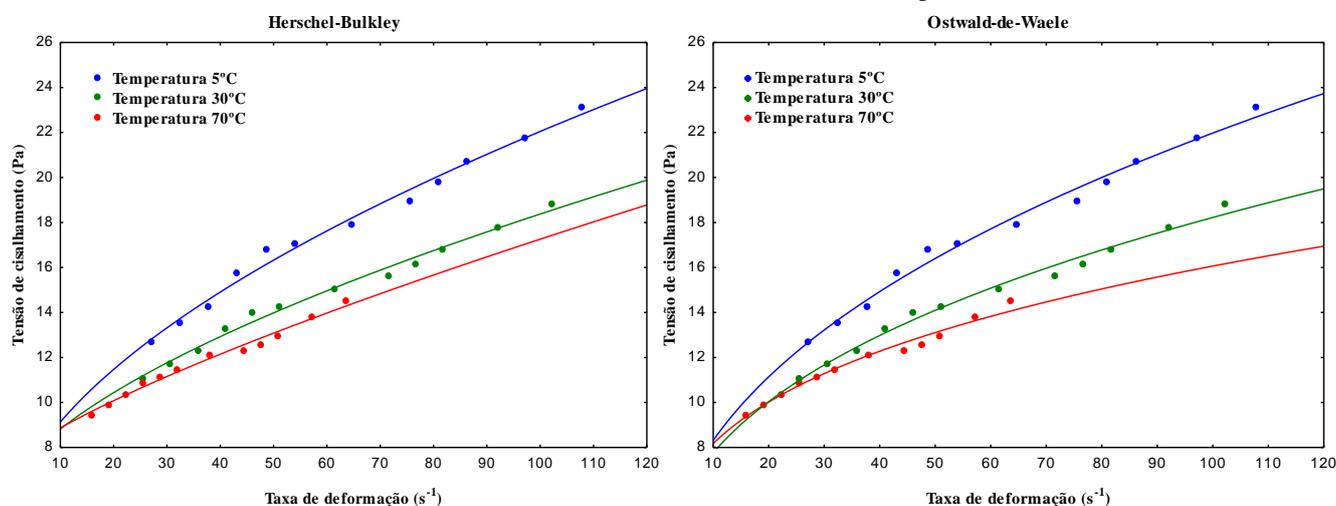


Figura 7. Comportamento reológico da Formulação 2, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele.



ser usados para representar o comportamento reológico destas caldas na faixa de temperatura de 5 a 70 °C.

CONCLUSÕES

As fases de resfriamento, cristalização e congelamento são mais rápidas quanto maior for a diferença de temperatura entre a calda e o meio a que esta é submetida, ou seja, quanto menor for a temperatura da câmara em relação à temperatura da calda. Existe influência do teor de sólidos solúveis e de sólidos gordurosos no tempo de congelamento da calda, sendo maior o tempo de processo em cada fase, quanto maior for o teor desses sólidos;

Os modelos de Fourier e de Cavalcanti Mata, ambos podem ser usados para representar os dados de congelamento de calda de sorvete de limão, com 6% e com 12% de gordura, nas temperaturas de -12 e -31 °C, sendo o Modelo de Cavalcanti Mata ajustando-se melhor na maioria dos tratamentos, enquanto o ajuste por Fourier se apresentou melhor para a calda com 12% de gordura na temperatura de -31 °C;

O valor de “overrun”, quantidade de ar incorporado, foi 18% para a formulação com 6% de gordura, e apresentou-se um pouco maior para a formulação 2 com incorporação de 24%, no entanto essa é uma característica facilmente controlável, depende do tempo de permanência de agitação, se for desejado maior incorporação de ar aumenta-se o tempo de agitação durante o processo. Além de interferir no rendimento, a quantidade de ar incorporada, interfere nas características de textura e sensoriais do sorvete;

Além de outros constituintes, existe influência do teor de gordura na textura do sorvete, medida em termos de firmeza; à medida em que se dobrou o teor de gordura do sorvete, obteve-se uma redução de 54% na firmeza do produto;

As caldas de sorvete de limão, preparadas conforme às formulações 1 e 2, obedecendo à legislação de constituintes conforme teor de gordura de 6 e 12%, apresentaram comportamento pseudoplásticos nas temperaturas de 5, 30 e 70 °C;

Os modelos de Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele se ajustaram bem aos dados reológicos das caldas de sorvete de limão, com 6 e com 12% de gordura, e ambos podem

REFERÊNCIAS

- AIME, D.B.; ARNTFIELD, S.D.; MALCOLMSON, L.J.; RYLAND, D. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. *Food Research International*, v. 34, p. 237-246, 2001.
- AKDENIZ, V.; AKALIN, A. S. New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound. *Trends in Food Science & Technology*, v. 86, p. 392-398, 2019.
- ARBUCKLE, W.S. Ice cream. 3. ed. USA: AVI Publishing Company, 1977. 517p.
- CHEN, W.; LIANG, G.; LI, X.; HE, Z.; ZENG, M.; GAO, D.; CHEN, J. Effects of soy proteins and hydrolysates on fat globule coalescence and meltdown properties of ice cream. *Food Hydrocolloids*, v. 94, p. 279-286, 2019.
- GOFF, H. D. Colloidal aspects of ice cream—a review. *International dairy journal*, v. 7, n. 6-7, p. 363-373, 1997.
- GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. Ice Cream. 6. Ed. New York: Kluwer, 2003.
- HARTEL, R. W. Ice crystallization during the manufacture of ice cream. *Trends in Food Science & Technology*, v. 7, n. 10, p. 315-321, 1996.
- ISMAIL, H. A.; HAMEED, A. M.; REFAEY, M. M.; SAYQAL, A.; ALY, A. A. Rheological, physio-chemical and organoleptic characteristics of ice cream enriched with

Doum syrup and pomegranate peel. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 13, n. 10, p. 7346-7356, 2020.

JARDINES, A. P.; ARJONA-ROMÁN, J. L.; SEVERIANO-PÉREZ, P.; TOTOSAUS-SÁNCHEZ, A.; FISZMAN, S.; ESCALONA-BUENDÍA, H. B. Agave fructans as fat and sugar replacers in ice cream: Sensory, thermal and texture properties. *Food Hydrocolloids*, p. 106032, 2020.

JARDINES, A. P.; ARJONA-ROMÁN, J. L.; TOTOSAUS-SÁNCHEZ, A.; SEVERIANO-PÉREZ, P.; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, L. R.; ESCALONA-BUENDIA, H. B. The influence of agave fructans on thermal properties of low-fat, and low-fat and sugar ice cream. *LWT*, v. 93, p. 679-685, 2018.

JAVIDI, F.; RAZAVI, S. M.; BEHROUZIAN, F.; ALGHOONEH, A. The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. *Food Hydrocolloids*, v. 52, p. 625-633, 2016.

KALVIAINEN, N.; ROININEN, K.; TUORILA, H. Sensory characterization of texture and flavor of high viscosity gels made with different thickeners. *Journal of Texture Studies*, v.31, n.4, p.407-420, 2000.

KAYA, S.; TEKIN, A.R. The effect of salep content on the rheological characteristics of a typical ice-cream mix. *Journal of Food Engineering*, v. 47, p. 59-62, 2001.

MAESTRELLO, C.; FIGUEIREDO, I. L.; TAKAHASHI, C. S. G.; PIMENTEL, T. C.; VISENTAINER, J. V.; BERGAMASCO, R. C.; MADRONA, G. S. Replacing emulsifier in a prebiotic ice cream: physical and chemical evaluation and acceptance. *Journal of culinary science & technology*, v. 16, n. 1, p. 76-87, 2018.

MARSHALL, R. T.; GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. Ice cream ingredients. In: *Ice Cream*. Springer, Boston, MA, p. 55-87, 2003.

MCCLEMENTS, D. J. Reduced-fat foods: the complex science of developing diet-based strategies for tackling overweight and obesity. *Advances in Nutrition*, v. 6, n. 3, p. 338S-352S, 2015.

RODRIGUES, J.; BEZERRA, J. R. M. V.; TEIXEIRA, A. M.; RIGO, M. Avaliação sensorial e físico-química de sorvete com polpa de açaí e proteína do soro do leite. *Ambiência Guarapuava*, v.14, n.2, p. 225 – 236, 2018.

ROLON, M. L.; BAKKE, A. J.; COUPLAND, J. N.; HAYES, J. E.; ROBERTS, R. F. Effect of fat content on the physical properties and consumer acceptability of vanilla ice cream. *Journal of dairy science*, v. 100, n. 7, p. 5217-5227, 2017.

SILVA, A.C.; PIRES, A. C. S.; MARCONDES, M. I.; SILVA, M.F. Influência do tipo de leite nos parâmetros de textura e estabilidade de sorvete. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*. Juiz de Fora. v. 68, n. 393, p. 26-35, jul/ago., 2013.

SOUZA, Jean C. de; COSTA, Marcela de R.; RENSIS, Christiane M. V.B. de; SILVIERI, Katia. Sorvete: composição, processamento e viabilidade da adição de probiótico. *Alimentos e Nutrição*, Araraquara, v. 21, n.1, p. 155 – 165, jan. 2010.

STANLEY, D.W.; GOFF, H.D.; SMITH, A.K. Texture-structure relationships in foamed dairy emulsion. *Food Research International*, v. 1, n. 1, p. 1-13, 1996.

TEKIN, E.; SAHIN, S.; SUMNU, G. Physicochemical, rheological, and sensory properties of low-fat ice cream designed by double emulsions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, v. 119, n. 9, p. 1600505, 2017.

VELÁSQUEZ, J.; SERPA, A.; VÉLEZ, L.; GAÑÁN, P.; HOYOS, C. G.; CASTRO, C.; ZULUAGA, R. Influence of cellulose nanofibrils on the structural elements of ice cream. *Food Hydrocolloids*, v. 87, p. 204-213, 2019.