

## NOVA ABORDAGEM PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DERRETIMENTO EM SORVETE: CASO DE ESTUDO COM SORVETE COM SUBSTITUIÇÃO DE GORDURA POR CELULOSE BACTERIANA

Aline Soares Cascaes Teles<sup>1</sup>; Davy William Hidalgo Chávez<sup>2</sup>; Ana Carolina Sampaio Doria Chavez<sup>1</sup>

### RESUMO

A resistência ao derretimento é uma das principais características atreladas ao sorvete, especialmente durante o armazenamento e transporte. Nesse sentido, o presente estudo teve como principal objetivo propor e avaliar um modelo matemático para a resistência ao derretimento, além da avaliação do efeito da adição da celulose bacteriana (CB) em substituição a gordura. Para avaliação da resistência ao derretimento foi proposto um novo modelo matemático e para análise do efeito da CB sobre as propriedades do sorvete foram utilizadas diferentes concentrações de CB em substituição a gordura utilizando um planejamento experimental fatorial 2<sup>2</sup> com ponto central. Os resultados demonstraram que o modelo matemático proposto para avaliar a resistência ao derretimento, apresentou alto ajuste ( $R^2 > 0,97$ ) e foi eficiente na elucidação de parâmetros importantes não comumente avaliados na literatura, permitindo a análise de toda a curva de derretimento. Em relação ao planejamento experimental, foi possível perceber que altas concentrações de CB melhoraram o *overrun*, mas tiveram efeito negativo sobre o derretimento. Esses resultados podem contribuir para a avaliação de novos parâmetros durante o derretimento do sorvete e para o desenvolvimento de novas formulações de sorvete com redução no teor de gordura.

### INTRODUÇÃO

O sorvete é amplamente apreciado e consumido no mundo todo, sendo uma das sobremesas mais difundidas e apresentando diferentes características físico-químicas, dentre as quais é possível destacar a resistência ao derretimento. Esta propriedade é extremamente importante no sentido da manutenção das características sensoriais e de qualidade do sorvete, especialmente durante o transporte e armazenamento<sup>1</sup>. Em relação ao derretimento do sorvete, a principal propriedade avaliada é a taxa de derretimento que, embora seja relativamente simples de avaliar, permite apenas informações a respeito da velocidade de derretimento do sorvete. Considerando a composição do sorvete, uma das grandes tendências em relação à esse alimento é a redução de ingredientes que estejam relacionados à perda de saudabilidade como a gordura que pode estar presente em altas quantidades no sorvete e está relacionada ao aumento do risco de doenças cardiovasculares, obesidade entre outros<sup>2,3,4</sup>. Entretanto, uma das principais características da gordura é a manutenção das propriedades físicas do sorvete, como a resistência ao derretimento. Nesse sentido, a celulose bacteriana (CB) tem sido avaliada como um potencial substituto da gordura<sup>3,4</sup>.

A CB é em um biopolímero com aproximadamente 30 nm produzido por uma variedade de bactérias durante o processo fermentativo<sup>5</sup>. Este biopolímero vem apresentando resultados positivos em substituição da gordura no sorvete como a manutenção/melhoria de algumas propriedades como a diminuição da taxa de derretimento do sorvete, grande capacidade de retenção de água, cristalinidade, pureza (ausência de lignina e hemicelulose), biodegradabilidade e estabilidade mecânica<sup>6</sup>, não

sendo afetada por mudanças no pH ou temperatura e possuindo boa compatibilidade com a matriz proteica<sup>7</sup>.

Dentro desse contexto, cabe salientar que a maioria dos estudos que avalia a substituição da gordura do sorvete por outros componentes avalia a resistência ao derretimento com base apenas na taxa de derretimento, utilizando a parte linear da curva de derretimento ao longo do tempo<sup>8,9</sup>. Essa forma de avaliação não considera o comportamento durante o derretimento na sua forma mais ampla, suprimindo diversas informações como, por exemplo, o tempo em que ocorre a maior velocidade de derretimento e/ou o tempo necessário para o derretimento de uma determinada porcentagem do sorvete.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo propor um modelo matemático para avaliar a resistência ao derretimento do sorvete com diferentes concentrações de CB em substituição a gordura. Além disso, foi avaliado o efeito das diferentes concentrações de CB em substituição a gordura por meio de um planejamento experimental sobre o *overrun* e diferentes parâmetros durante o derretimento do sorvete.

## OBJETIVO

Avaliar a substituição da gordura por celulose bacteriana (CB) e propor um modelo matemático para explicar o comportamento do sorvete no derretimento.

### Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da CB sobre o *overrun* e derretimento do sorvete;
- Propor um modelo matemático para avaliar o derretimento do sorvete.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Modelagem matemática do derretimento

Um novo modelo matemático (Equação 3), a partir de um modelo anterior (Equações 1), foi proposto para avaliar o comportamento do sorvete durante o derretimento. Os dados utilizados na modelagem matemática foram obtidos por meio dos ensaios propostos no planejamento experimental (fatorial 2<sup>2</sup>) mencionado no item 3.2.

$$Y = Y_{\max} + \frac{Y_{\min} - Y_{\max}}{1 + \left(\frac{X}{X_0}\right)^P} \quad \text{eq. (1)} \quad \Rightarrow \quad Y = 100 - \frac{100}{1 + \left(\frac{X}{X_0}\right)^P} \quad \text{eq. (2)}$$

Onde Y representa uma variável de interesse por exemplo crescimento microbiano, Y<sub>min</sub> e Y<sub>max</sub> são o valor mínimo e máximo da variável de interesse, P representa a máxima taxa de crescimento, X é a variável independente por exemplo o tempo, e X<sub>0</sub> é o tempo necessário para atingir a máxima taxa de derretimento. Adaptando a equação 1 para o caso do derretimento do sorvete, os Y<sub>min</sub> e Y<sub>max</sub> seriam, respectivamente, 0% y 100%, assim conseguimos a equação 2.

### 3.2 Avaliação do efeito da CB no sorvete

Para a elaboração dos sorvetes os ingredientes (leite desnatado, gordura, açúcar, estabilizante e emulsificante) foram adquiridos em mercado local (RJ), com exceção da glicose (doada pela empresa Gelato). A CB em pó (BioSmart Nanotechnology LDTA) foi utilizada para a substituição da gordura no sorvete por meio de um planejamento fatorial 2<sup>2</sup> com três repetições no ponto central, totalizando 7 ensaios. Sendo as

variáveis independentes, as concentrações de CB (0,05% a 0,5%) e de gordura (0% a 10%). E foram avaliados os parâmetros de resistência ao derretimento <sup>11</sup> e *overrun*<sup>12</sup>.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

### Avaliação do comportamento do derretimento do sorvete

O comportamento do derretimento do sorvete foi avaliado por meio da adaptação de um modelo matemático (eq. 2) em que foi possível obter a taxa máxima de derretimento (P), o tempo de derretimento em que ocorreu a maior taxa (X<sub>0</sub>) e o tempo necessário para atingir 10% (T<sub>10</sub>), 20% (T<sub>20</sub>) e 30% (T<sub>30</sub>) de derretimento do sorvete (Tabela 1 e Figura 1).

Os parâmetros do modelo (P e X<sub>0</sub>) foram significativos (p<0,05) para todas as formulações e todos os modelos tiveram valores de R<sup>2</sup> elevados (0,98 a 0,99). A taxa máxima de derretimento teve valores próximos para todas as formulações, variando de 2,61 até 3,21. Mas o tempo para atingir esta taxa máxima (X<sub>0</sub>) teve uma ampla faixa de variação desde 30,94 para a formulação sem gordura até 62,62 para a amostra com o maior conteúdo de gordura

Tabela 1. Resultados dos modelos matemáticos (P e X<sub>0</sub>, R<sup>2</sup>) e o overrun.

Tratamentos	Gordura (%)	CB (%)	P	X <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	T <sub>10</sub>	T <sub>20</sub>	T <sub>30</sub>	Overrun
1	0	0,05	3,07	45,08	0,99	22,06	28,72	34,22	19,95
2	10	0,05	2,80	62,62	0,99	28,58	38,17	46,27	17,54
3	0	0,5	2,94	30,94	0,99	14,66	19,31	23,20	25,42
4	10	0,5	3,21	43,41	0,99	22,06	28,72	33,34	21,54
5	5	0,275	2,61	42,85	0,99	18,48	25,20	30,98	21,40
6	5	0,275	3,16	44,61	0,98	22,26	28,77	34,12	23,14
7	5	0,275	2,86	44,40	0,99	20,61	27,36	33,03	21,59

CB: celulose bacteriana, P: taxa máxima de derretimento, X<sub>0</sub> tempo para atingir a taxa máxima, T<sub>10</sub>, T<sub>20</sub> e T<sub>30</sub> representam o tempo necessário para atingir o 10, 20 e 30 % de derretimento respectivamente.

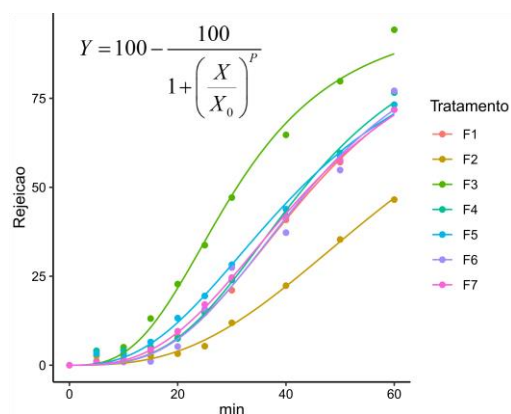


Figura 1. Perfis de derretimento das formulações de sorvete com diferentes níveis de substituição de gordura por celulose bacteriana.

Esses resultados demonstram que o modelo matemático empregado no presente trabalho pode ser utilizado para obtenção de diferentes respostas a respeito do comportamento durante o derretimento do sorvete, pois a maioria dos estudos que utilizam a análise de derretimento do sorvete se fundamentam apenas na taxa de derretimento, que não expressa detalhes sobre o comportamento do sorvete durante o derretimento<sup>13,14</sup>. Um exemplo desta afirmação é que embora os resultados da taxa máxima de derretimento tenham sido muito similares o  $X_0$  apresentou grande variação (como detalhado acima), demonstrando que as formulações do sorvete são muito diferentes, pois atingem a máxima taxa de derretimento a tempos variados. Além disso, cabe ressaltar, que os estudos que utilizam a taxa de derretimento avaliam apenas a inclinação da parte linear do gráfico, não descrevendo o perfil total (Figura 1) do derretimento<sup>15,16</sup>.

### Efeito da substituição da gordura do sorvete por CB

O *overrun*, a taxa de derretimento,  $X_0$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{20}$  e  $T_{30}$  variaram de 19,95% a 25,42%; 2,61 min. a 3,21 min.; 30,94 min. a 62,62 min.; 14,66 min. a 28,58 min.; 19,31 min. a 38,17 min. e 23,20 min. a 46,27 min., respectivamente (Tabela 1).

No que se refere a avaliação da superfície de resposta do delineamento  $2^2$  com ponto central, as respostas da taxa máxima de derretimento foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ ) pelos níveis de gordura e CB. Entretanto, são apresentados os coeficientes de regressão de todos os parâmetros avaliados na Tabela 2.

Todos os modelos tiveram ajustes lineares, o  $R^2$  (ajustado) ficou acima de 0,85 para todas as variáveis estudadas (exceto para a taxa máxima de derretimento). A não significância da falta de ajuste ( $p \geq 0,05$ ) corroborou a adequação dos modelos das superfícies de resposta, não sendo significativa para todas as variáveis. O aumento da CB foi significativo para o *overrun* e, negativamente significativo para  $X_0$  e  $T_{30}$ , representando a importância da presença de CB para a incorporação de ar no sorvete, melhorando esta propriedade. Entretanto, também representa que a CB sozinha não é capaz de retardar o derretimento do sorvete, bem como ocorre com a gordura que foi significativa para o  $X_0$ ,  $T_{20}$  e  $T_{30}$ , indicando que o derretimento foi mais lento em função do aumento na concentração de gordura presente no sorvete. Guo et al. (2018) utilizaram uma substituição de 30% de gordura por um complexo BC e proteína de soja isolada observaram um derretimento mais lento. Entretanto, a maioria dos estudos utiliza concentrações mais altas de CB juntamente com outros componentes como proteínas e polissacarídeos, tornando o produto final mais oneroso<sup>16</sup>.

Tabela 2. Coeficientes de regressão do *overrun*, taxa de derretimento,  $X_0$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{20}$  e  $T_{30}$  do sorvete.

Coefficientes	<i>Overrun</i>	P	$X_0$	$T_{10}$	$T_{20}$	$T_{30}$
Média	<b>21,42</b>	<b>2,96</b>	<b>44,85</b>	<b>21,38</b>	<b>28,19</b>	<b>33,74</b>
$X_1$	-1,57	-0,00	<b>7,50</b>	3,48	<b>4,72</b>	<b>5,55</b>
$X_2$	<b>2,37</b>	0,07	<b>-8,34</b>	-3,48	-4,72	<b>-5,99</b>
Falta de ajuste ( <i>p</i> -value)	0,52	0,04	0,15	0,84	0,06	0,61
$R_2$ ajustado	0,87	0,00	0,96	0,86	0,93	0,94

P: Taxa máxima de derretimento.  $X_0$ : tempo para atingir a taxa máxima  $T_{10}$   $T_{20}$   $T_{30}$ : Tempo necessário para atingir 10%, 20% e 30% de derretimento.  $X_1$ . Gordura.  $X_2$ . CB. Valores em negrito indicam significância estatística ( $p < 0,05$ ).

## CONCLUSÃO

O presente estudo sugere que o derretimento avaliado utilizando o modelo matemático proposto pode contribuir para a melhor compreensão do comportamento do sorvete ao longo do derretimento e que a avaliação da taxa de derretimento não expressa de fato este comportamento. Além disso, foi possível observar a importância do efeito da CB em substituição a gordura sobre o *overrun* do sorvete.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do CNPq (380581/2022-1) e da FAPERJ (projeto n.º. E\_26/204.328/2021).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MARSHALL, et al. Ice cream. Springer Science & Business Media, 2003. ISBN 0306477009.
2. SAREMNEZHAD, S.; et al. Calcium fortification of prebiotic ice-cream. **LWT**, v. 120, p. 108890, 2020. ISSN 0023-6438.
3. YU, B. et al. Preparation of nanofibrillated cellulose from grapefruit peel and its application as fat substitute in ice cream. **Carbohydrate Polymers**, v. 254, p. 117415, 2020.
4. GIBIS, M. et al. Influence of molecular weight and degree of substitution of various carboxymethyl celluloses on unheated and heated emulsion-type sausage models. **Carbohydrate polymers**, v. 159, p. 76-85, 2017.
5. UL-ISLAM, M.; KHAN, T.; PARK, J. K. Nanoreinforced bacterial cellulose–montmorillonite composites for biomedical applications. **Carbohydrate polymers**, v. 89, n. 4, p. 1189-1197, 2012.
6. GATENHOLM, P.; KLEMM, D. Bacterial nanocellulose as a renewable material for biomedical applications. **MRS bulletin**, v. 35, n. 3, p. 208-213, 2010.
7. PAXIMADA, P. et al. Effect of bacterial cellulose addition on physical properties of WPI emulsions. Comparison with common thickeners. **Food Hydrocolloids**, v. 54, p. 245-254, 2016.
8. GUO, Y. et al. Nano-bacterial cellulose/soy protein isolate complex gel as fat substitutes in ice cream model. **Carbohydrate polymers**, v. 198, p. 620-630, 2018.
9. GRANGER, C. et al. Influence of formulation on the thermal behavior of ice cream mix and ice cream. v. 82, n. 6, p. 427-431, 2005.
10. MARSHALL, R. T.; GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. Ice cream. Springer Science & Business Media, 2003.
11. CROPPER, S. L. et al. Effects of locust bean gum and mono-and diglyceride concentrations on particle size and melting rates of ice cream. **Journal of food science**, v. 78, n. 6, p. C811-C816, 2013.
12. MUSE, M. R.; HARTEL, Richard W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. **Journal of dairy science**, v. 87, n. 1, p. 1-10, 2004.
13. SAMAKRADHAMRONGTHAI, Rajnibhas Sukeaw et al. Inulin application on the optimization of reduced-fat ice cream using response surface methodology. **Food Hydrocolloids**, v. 119, p. 106873, 2021.
14. SILVA, Vanelle Maria da. Sorvete light com fibra alimentar: Desenvolvimento, caracterização físico-química, reológica e sensorial. 2012.
15. XAVIER, Janifer Raj; RAMANA, Karna Venkata. Development of slow melting dietary fiber-enriched ice cream formulation using bacterial cellulose and inulin. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 5, p. e15394, 2022.