

# Desenvolvimento de Organogéis de Óleo de Canola Utilizando Monoestearato de Sorbitano: Qual é a Influência de Diferentes Concentrações?

## *Development of Canola Oil Organogels Using Sorbitan Monostearate: What is the Influence of Different Concentrations?*

Sabrina Mayumi Antoniazzi Marçola,<sup>a</sup> Izabelle Cremaschi Kasukawa Martins,<sup>a</sup> Catharina Paula Buranello,<sup>a</sup> Emily Julia de Souza,<sup>a</sup> Patrícia Daniele Silva dos Santos,<sup>a</sup> Bruno Henrique Figueiredo Saqueti,<sup>b</sup> Oscar Oliveira Santos<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Química, Grupo de Pesquisa Analítica Aplicada a Lipídios, Esteróis e Antioxidantes, CEP 87020-900, Maringá-PR, Brasil

<sup>b</sup>Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Grupo de Pesquisa Analítica Aplicada a Lipídios, Esteróis e Antioxidantes, CEP 87020-900, Maringá-PR, Brasil

\*E-mail: oosjunior@uem.br

Recebido: 27 de Julho de 2023

Aceito: 1 de Maio de 2024

Publicado online: 6 de Maio de 2024

In 2015, the US Food and Drug Administration advised against the use of hydrogenated oils, a source of *trans* fats, for food safety reasons. In response, research into the addition of structuring agents to oils containing lipids rich in *cis*-unsaturated fatty acids has grown. In this context, this study sought to assess the stability of mixtures of sorbitan monostearate as a structuring agent in canola oil, which is rich in unsaturated fatty acids for the food industry and known for its health benefits. The organogels obtained were visually classified as weak liquids or gels, with phase separation after seven days. The high oil loss and low hardness observed in the samples showed that sorbitan monostearate is not a structuring agent for canola oil, as it was unable to maintain the structure of the gel. However, it is recommended that further studies be carried out with higher concentrations of sorbitan monostearate in canola oil and that the use of other structuring agents be explored.

**Keywords:** Canola oil; organogel; fatty acids; oil loss; hardness.

## 1. Introdução

A agência estadunidense *Food and Drug Administration* (FDA) determinou, em 2015, que os óleos hidrogenados, que são fonte de gorduras *trans* artificiais em alimentos, não sejam reconhecidos como seguros. Além disso, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda que a ingestão de gorduras totais, saturadas e *trans* seja inferior a 30, 10 e 1%, respectivamente.<sup>1</sup>

Devido a essas limitações e recomendações, os estudos sobre o efeito da adição de agentes estruturantes em lipídios ricos em ácidos graxos (AGs) insaturados de configuração *cis* têm crescido consideravelmente. Esses agentes são capazes de substituir o uso da gordura *trans*, produzida nas indústrias durante a hidrogenação de óleos, e que possui efeitos nocivos para a saúde, como o aumento da incidência de doenças cardiovasculares.<sup>2</sup> Organogéis são materiais termorreversíveis e viscoelásticos<sup>3</sup> e, devido a essas características, os sistemas formados por organogéis podem ser utilizados na obtenção de estruturas similares às de gorduras sólidas, evitando altos teores de gorduras saturadas e *trans*, o que é de grande interesse para a indústria alimentícia. Além disso, os organogéis também podem ser aplicados como via de transmissão de compostos bioativos lipofílicos, como carotenoides e AGs essenciais.<sup>4,5</sup>

Os componentes estruturantes de um organogel podem ser macromoléculas ou compostos de baixo peso molecular como ácidos e álcoois graxos, lecitina e ceras, sendo utilizados para capturar o óleo líquido por meio de sua rede cristalina tridimensional e autossustentável.<sup>6</sup> A partir da adição de agentes estruturantes, um óleo vegetal líquido ou semissólido pode ser reformulado como gel de rede contínua e fibrilar, formado a partir de agregados micelares.<sup>7</sup> O monoestearato de sorbitano, também conhecido como Span 60, é um sólido granulado obtido pela esterificação do sorbitol com ácido esteárico. Trata-se de um tensoativo não iônico e hidrofóbico que possui a capacidade de formular organogéis quando disperso em fases orgânicas e aquecido, resultando em uma textura suave em forma de gel. Essa propriedade faz do monoestearato de sorbitano um agente estruturante usual na formação de organogéis de vários óleos vegetais.<sup>2,8</sup>

Um óleo vegetal que se destaca na área alimentícia é o óleo de canola, sendo um candidato promissor para o desenvolvimento de organogéis devido ao seu baixo custo e à presença de altas concentrações de ácidos graxos insaturados (monoinsaturados e poli-insaturados de configuração *cis*), fitoesteróis e compostos antioxidantes.<sup>9</sup> A produção de organogel tem

sido pesquisada nos últimos anos, principalmente para aplicações com fins alimentícios, tais como a produção de muffins, sorvetes, queijo cremoso, margarina e pão doce. Encontram-se trabalhos que utilizaram os óleos de soja, girassol e palma combinados com estruturantes como ceras, etilcelulose, mistura de fitoesteróis e orizanol, tristearato de sorbitano, monoglicerídeos e álcoois e AGs.<sup>10-14</sup> Apesar de identificadas essas misturas, ainda não há relatos de organogéis de óleo de canola combinado com o monoestearato de sorbitano.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar o uso do monoestearato de sorbitano como agente estruturante no óleo de canola para a obtenção de organogéis que possam ser utilizados como substitutos de bases lipídicas com altas concentrações de ácidos graxos saturados (AGS) e *trans*.

## 2. Procedimento Experimental

### 2.1. Amostragem e reagentes

O óleo de canola (7200 mL) refinado (Liza, Brasil), sem adição de antioxidante e do mesmo lote foi adquirido em comércio local da cidade de Maringá (PR-Brasil). O monoestearato de sorbitano (Span 60) e o padrão de ésteres metílicos de ácidos graxos (EMAGs) C4-C24 foram adquiridos da Sigma-Aldrich (Saint Louis, EUA). Heptano, metanol e hidróxido de potássio (todos de grau analítico) foram adquiridos da Synth (São Paulo, Brasil).

### 2.2. Determinação dos ácidos graxos do óleo de canola

#### 2.2.1. Metilação dos ácidos graxos

Foi realizada de acordo com a metodologia proposta pela ISO 5509 (2000).<sup>15</sup> Em um tubo de vidro de 15 mL, com tampa rosqueável, pesou-se  $100,00 \pm 0,01$  mg de óleo de canola, adicionou-se 2,0 mL de heptano e agitou-se por 2 min em vórtex (Phoenix, São Paulo, Brasil). Em seguida, adicionou-se 2,0 mL de reagente esterificante (solução metanólica de KOH  $2,0 \text{ mol L}^{-1}$ ). A mistura foi então agitada por 3 minutos e levada para geladeira por 24 horas para separação de fases. A fase superior foi coletada com auxílio de uma pipeta de Pasteur, transferida para um vial e acondicionada em um freezer a  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$  para posterior análise em cromatógrafo a gás.

#### 2.2.2. Composição em ácidos graxos por cromatografia em fase gasosa (CG-DIC)

A análise cromatográfica foi realizada em um cromatógrafo a gás (CG) Shimadzu GC-2010 Plus equipado com detector de ionização em chama (DIC), injetor split / splitless e coluna capilar de sílica fundida CP-7420 (Select FAME, 100,0 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25  $\mu\text{m}$  de filme cianopropílico como fase estacionária). Os parâmetros operacionais utilizados foram: temperatura do forno programada para iniciar em 165

$^\circ\text{C}$ , seguida de uma rampa de aquecimento de  $4 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ , aumentando para  $185 \text{ }^\circ\text{C}$ , mantido por 3 min. Após uma rampa de aquecimento de  $6 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ , aumentando para  $235 \text{ }^\circ\text{C}$ , mantido por 2,67 min, totalizando um tempo de análise de 26 min. As temperaturas do injetor e do detector foram mantidas a 230 e  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. Os fluxos de gás foram de  $1,2 \text{ mL min}^{-1}$  para gás de arraste ( $\text{H}_2$ ),  $30,0 \text{ mL min}^{-1}$  para gás de make-up ( $\text{N}_2$ ) e, no DIC,  $30,0$  e  $300,0 \text{ mL min}^{-1}$  de gás ( $\text{H}_2$ ) e ar sintético, respectivamente. As amostras foram injetadas no modo split, com proporção 1:40. O volume de injeção foi de  $1,0 \mu\text{L}$ . Os EMAGs foram identificados por comparação do tempo de retenção das amostras com os constituintes do padrão analítico (Mistura padrão EMAGs C4–C24). A composição de AGs foi expressa em porcentagem relativa do total de AGs. A análise foi realizada em triplicata.

### 2.3. Preparação dos organogéis

Para obter os organogéis,  $135,00 \pm 0,01$  g de óleo de canola foi aquecido a  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  em um agitador magnético (Fisatom, modelo 653, Brasil). Em seguida, o agente estruturante (monoestearato de sorbitano) foi adicionado ao óleo de canola sem qualquer pré-tratamento ou modificação anterior, nas concentrações de 4, 6 e 8% (p/p). O sistema foi mantido em agitação magnética a  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  até que os estruturantes estivessem completamente dispersos na fase líquida. Após a incorporação completa, as amostras, ainda líquidas, foram transferidas para embalagens adequadas (béqueres de vidro de 100 mL, tubos Falcon de 15 mL e coletores universais estéreis de 80 mL) e mantidas em condições estáticas a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  em uma câmara com temperatura controlada (SolidSteel, Brasil) para promover a estruturação e estabilização. Após 24 horas, a temperatura foi elevada para  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e mantida por mais 24 horas.<sup>2</sup>

### 2.4. Caracterização dos organogéis

#### 2.4.1. Avaliação da formação de gel

Segundo de Godoi *et al.*,<sup>2</sup> os organogéis foram avaliados visualmente para verificação de possível ocorrência de instabilidade. As observações foram realizadas após 1, 3 e 7 dias de sua obtenção e armazenamento a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas. Para padronização da avaliação, foi definida uma classificação referente às características observadas, segundo a Tabela 1.<sup>16</sup>

#### 2.4.2. Determinação da perda de óleo (PO)

A determinação da PO foi realizada segundo Meng *et al.*,<sup>17</sup> com modificações. Primeiramente, foi pesado um tubo falcon de 25 mL com tampa rosqueável, registrando-se sua massa (a). Após, foi pesado  $5,000 \pm 0,001$  g de amostra, sendo a massa anotada (b). Os tubos foram centrifugados (Sanyo Harrier 18/80 Refrigerated, Loughborough, LE, UK) a  $4000 \text{ g}$  por 30 minutos ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ). O óleo líquido foi drenado do tubo após a centrifugação e a massa registrada

**Tabela 1.** Classificação para avaliação visual dos organogéis

Avaliação visual do organogel	Classificação
Totalmente firme	5 - não escoo mesmo aplicando força gravitacional
Gel firme	4 - sem fluxo, ou fluxo lento quando submetido à força gravitacional
Gel médio	3 - característica visual de gel, mas escoo quando submetido à força gravitacional
Gel fraco	2 - material viscoso, mas com fluxo rápido quando derramado
Totalmente líquido	1 - material oleoso, fluindo facilmente quando derramado

(c). As medições foram realizadas em triplicata e os valores de PO calculados pela Equação 1:

$$PO = \frac{[(a + b) - c]}{b} \times 100 \quad (1)$$

#### 2.4.3. Análise de textura (dureza)

A dureza dos organogéis foi medida por meio de um teste de força em compressão, utilizando um Analisador de Textura TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK) e uma sonda cilíndrica de 36 mm. Para a análise,  $30,00 \pm 0,01$  g do organogel homogeneizado foram colocados em coletor universal de 80 mL (45 mm de diâmetro interno e 52 mm de altura). Os parâmetros de teste utilizados foram: velocidade de pré-teste:  $1,0 \text{ mm s}^{-1}$ ; velocidade de teste:  $1,0 \text{ mm s}^{-1}$ ; velocidade pós-teste:  $1,0 \text{ mm s}^{-1}$ ; distância: 15 mm a partir da altura inicial da amostra.<sup>2</sup> A força máxima aplicada (N) foi usada como medida de dureza das amostras de organogel e a análise foi realizada em triplicata.

#### 2.5. Análise estatística

Os dados das análises do organogel foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e teste de comparação de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ) usando o software Statistica® 8.0.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Determinação dos ácidos graxos do óleo de canola

Os resultados da composição dos AGs do óleo de canola estão descritos na Tabela 2.

Foram identificados um total de 13 AGs no óleo de canola utilizado neste estudo, sendo muito destes, essenciais para o bom funcionamento do organismo, como fornecer energia, formar membranas celulares, regular processos inflamatórios, atuar como precursores de hormônios e desempenhar funções estruturais em órgãos e tecidos.<sup>18</sup> A natureza dos AGs encontrados no presente trabalho para o óleo de canola são os esperados para este óleo, como já observado por Tao *et al.*,<sup>19</sup> que obteve  $\Sigma$ AGS de

**Tabela 2.** Composição em Ácidos Graxos (% - média  $\pm$  Desvio Padrão (DP) de triplicata) do óleo de canola.

Ácidos Graxos	Óleo de Canola
	Composição (%)
14:0 - ácido mirístico	$0,08 \pm 0,02$
16:0 - ácido palmítico	$5,76 \pm 0,36$
16:1n-7 - ácido palmitoleico	$0,02 \pm 0,01$
16:1n-9 - ácido 7-hexadecenoico	$0,16 \pm 0,03$
17:0 - ácido margárico	$0,05 \pm 0,00$
17:1n-9 - ácido <i>trans</i> -10-heptadecenoico	$0,09 \pm 0,00$
18:0 - ácido esteárico	$1,69 \pm 0,08$
18:1n-9 - ácido oleico	$60,53 \pm 1,64$
18:1n-7 - ácido vacênico	$4,42 \pm 1,90$
18:2n-6 - ácido linoleico	$19,49 \pm 0,63$
18:3n-3 - ácido $\alpha$ -linolênico	$6,97 \pm 0,26$
20:0 - ácido araquídico	$0,26 \pm 0,12$
20:1n-9 - ácido gondoico	$0,48 \pm 0,04$
$\Sigma$ AGS - ácidos graxos saturados	$7,83 \pm 0,52$
$\Sigma$ AGMI - ácidos graxos monoinsaturados	$65,71 \pm 0,64$
$\Sigma$ AGPI - ácidos graxos poli-insaturados	$26,46 \pm 0,48$

$7,2 \pm 0,0\%$ ,  $\Sigma$ AGMI  $64,3 \pm 0,1\%$  e  $\Sigma$ AGPI de  $28,6 \pm 0,0\%$ , sendo no presente estudo  $7,83 \pm 0,5\%$ ,  $65,70 \pm 0,6\%$ , e  $26,46 \pm 0,4\%$  respectivamente. O AG majoritário encontrado neste trabalho foi o AGMI 18:1n-9 (ácido oleico), que representa  $60,52 \pm 1,64\%$  do conteúdo total, sendo este valor muito próximo ao encontrado por Bybordi, Tabatabaei & Ahmadedev,<sup>20</sup> onde a concentração foi de  $62,48 \pm 0,03\%$ , certificando que o método utilizado apresentou eficiência na quantificação deste ácido graxo. Vale destacar que o ácido oleico oferece uma série de benefícios a saúde, como a relação à motilidade gastrointestinal e esvaziamento gástrico, sendo que refeições ricas em ácido oleico retardam o esvaziamento gástrico em comparação com refeições ricas em AGs saturados, preservando assim a função de reservatório do estômago. O ácido oleico também inibe a absorção de colesterol dos alimentos ingeridos, reduz os níveis de LDL (Lipoproteína de baixa densidade), viscosidade do sangue e pressão arterial.<sup>21</sup>

Entre os AGPI identificados em maiores quantidades são o 18:2n-6 (ácido linoleico) e o 18:3n-3 (ácido  $\alpha$ -linolênico). O ácido linoleico desempenha um papel importante na regulação dos processos inflamatórios no organismo.<sup>22</sup> Ele é convertido em AA 20:4n-6 (ácido araquidônico), que serve como precursor para a produção de eicosanoides, substâncias que regulam a resposta inflamatória. Além disso, desempenha um papel crucial na manutenção da integridade dos tecidos, no funcionamento adequado do sistema imunológico e na saúde cardiovascular.<sup>23</sup>

O ácido  $\alpha$ -linolênico, é considerado um AG estritamente essencial, pois não pode ser produzido pelo corpo humano e é um precursor de importantes AGPI de cadeia longa, como o EPA 20:5n-3 (ácido eicosapentaenoico) e o DHA

22:6n-3 (ácido docosa-hexaenoico) que são de fundamental importância para a manutenção da saúde. Além disso, o ácido  $\alpha$ -linolênico possui propriedades anti-inflamatórias e desempenha um papel importante na saúde cardiovascular.<sup>24</sup> Apresenta efeitos protetores contra doenças cardíacas, diminuindo a inflamação, melhorando a função arterial, reduzindo os níveis de triglicérides e regulando a pressão arterial.<sup>25</sup> Além disso, o ácido  $\alpha$ -linolênico também está associado a benefícios cognitivos, como melhora da função cerebral e redução do risco de doenças neurodegenerativas.<sup>18</sup>

É possível observar que o óleo de canola é um excelente material lipídico para a formulação e aplicação de organogéis, uma vez que contém ácidos graxos essenciais que podem proporcionar diversos benefícios à saúde. Comparado a gordura hidrogenada, o óleo de canola apresenta baixas concentrações de AGs *trans*, compostos estes amplamente associados a efeitos negativos à saúde, pois aumentam o risco de doenças cardiovasculares, incluindo doenças cardíacas e derrames, além de serem responsáveis pelo aumento dos níveis de colesterol LDL (Lipoproteína de baixa densidade) considerado como o colesterol ruim.<sup>26</sup> Devido a esses efeitos, as autoridades de saúde em todo o mundo recomendam eliminar o consumo de gordura *trans* para promover a saúde e o bem-estar geral.<sup>1</sup>

Outros ingredientes usados em formulações de alimentos são as gorduras vegetais comerciais, gorduras animais e lácteas, porém esses ingredientes apresentam grandes concentrações de AGS.<sup>27</sup> O consumo excessivo de AGS pode ter efeitos nocivos à saúde, provocando elevado risco de doença cardiovascular, pois promovem o aumento dos níveis de colesterol LDL, obesidade e ganho de peso, resistência à insulina e diabetes tipo 2, inflamação e potenciais efeitos negativos na função cognitiva.<sup>28,29</sup> É importante consumir gorduras saturadas com moderação e focar na incorporação de gorduras mais saudáveis na dieta ricas em AGMI e AGPI.

### 3.2. Avaliação da formação de gel

Os resultados da avaliação da formação de gel dos organogéis foram realizados visualmente e estão apresentados na Tabela 3.

As amostras OG 4% e OG 6%, no primeiro dia, não apresentaram diferenças, sendo caracterizadas como um organogel totalmente líquido (material oleoso, fluído facilmente quando o conteúdo do béquer é derramado). Por outro lado, a amostra OG 8% foi classificada como

gel fraco (material viscoso, com fluxo mais lento quando o béquer for submetido a força gravitacional, vertendo-o). No terceiro dia, a única amostra em que se observou alteração foi a OG 6%, apresentando características de um gel fraco semelhante à amostra OG 8%. Já no sétimo dia, os organogéis, em todas as concentrações, mostraram-se instáveis, havendo separação de fases.

A separação de fases é também evidenciada nas imagens mostradas na Figura 1. Na amostra OG 4%, a fase sobrenadante apresentou a mesma altura do precipitado. Na amostra OG 6%, a fase sobrenadante mediu aproximadamente 1,0 cm, enquanto o precipitado alcançou cerca de 2,0 cm. Na amostra OG 8%, o sobrenadante foi ainda menor, com altura de aproximadamente 0,5 cm, e o precipitado 2,5 cm. Isso evidencia que maiores concentrações de estruturantes há uma tendência para deixar o sistema mais homogêneo, diminuindo a formação de um sobrenadante, mostrando a necessidade de estudos com concentrações mais elevadas.

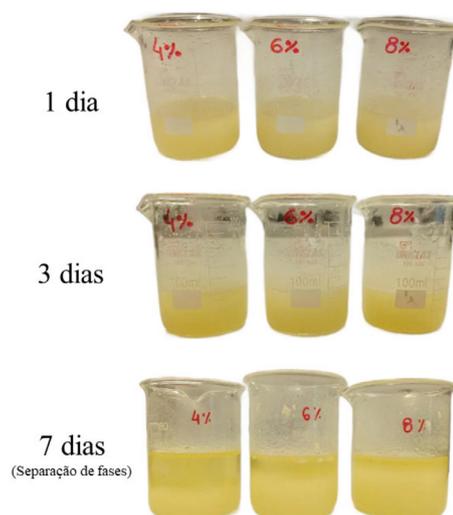


Figura 1. Análise visual dos organogéis em béqueres

De fato, a estrutura do organogel foi dependente da concentração do monoestearato de sorbitano no meio. Em outras palavras, quanto maior a quantidade de estruturante, mais denso será o organogel. Isso ocorre devido ao aumento no compartilhamento entre os componentes do organogel, formando uma rede estruturante que, ao se aderir ao óleo, promove uma automontagem dificultando a sua mobilidade.<sup>2</sup>

O monoestearato de sorbitano pode apresentar diferentes características quando adicionado em diferentes matrizes

Tabela 3. Avaliação visual dos organogéis (OG) com diferentes concentrações (%) de monoestearato de sorbitano em diferentes tempos de armazenamento.

Diferentes concentrações de monoestearato de sorbitano	Avaliação visual dos organogéis com classificação visual		
	1º dia	3º dia	7º dia
OG 4%	1 (líquidas)	1 (líquidas)	SF (separação de fase)
OG 6%	1 (líquidas)	2 (gel fraco)	SF (separação de fase)
OG 8%	2 (gel fraco)	2 (gel fraco)	SF (separação de fase)

lipídicas. Estas podem incluir: baixa solubilidade, agindo como partículas suspensas no meio; parcialmente solúvel, com capacidade ou não de gerar morfologias distintas; ou ainda, pode dissolver-se completamente, resultando no surgimento de novas estruturas. Particularmente, no óleo de canola, a adição do monoestearato de sorbitano apresentou alta solubilidade, pois materiais ricos em ácidos graxos insaturados apresentam maior miscibilidade do monoestearato de sorbitano.<sup>31</sup>

Modificações nas concentrações do componente estrutural resultam em mudanças no espaçamento, na tensão da rede e no tamanho dos cristalitos, que são estruturas microscópicas de moléculas organizadas de maneira ordenada e cristalina dentro da matriz do gel. Essas alterações afetam diretamente as propriedades viscoelásticas do material.<sup>32</sup> A interação do óleo com o agente estruturante é dependente da composição em AGs do óleo, sendo mais efetiva na presença de cadeias graxas mais longas e memos insaturadas, o que permite uma sobreposição de camadas moleculares mais efetiva.<sup>2</sup> No entanto, esse efeito parece não ocorrer de forma efetiva entre o monoestearato de sorbitano e o óleo de canola, objeto de estudo no experimento.

Destaque-se que nas concentrações de 6 e 8%, não foram observadas diferenças até o terceiro dia, sendo ambos sistemas considerados como géis fracos. Com isso, podemos concluir que a produção industrial de organogéis com características semelhantes em termos de aspecto visual, mas utilizando menores quantidades de estruturante, torna-se vantajosa economicamente, pois pode reduzir os custos da matéria-prima. É importante ressaltar que a faixa de concentração avaliada pode ter sido muito estreita e insuficiente para evidenciar diferenças na análise visual. Além disso, o período de análise foi adequado apenas para afirmar os aspectos visuais em 1, 3 e 7 dias.

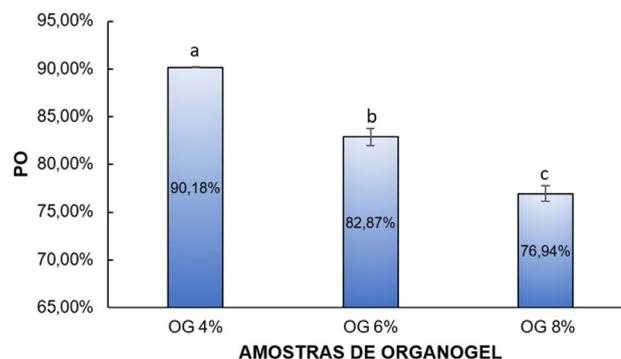
Finalmente, com base nos resultados, sugere-se que o organogel seja utilizado diretamente como ingrediente em alimentos processados, podendo ser estocado até o terceiro dia após a sua fabricação. O aumento da concentração de estruturante ou até mesmo adição de outros surfactantes poderiam auxiliar nas características físicas do organogel, evitando a separação de fases. Novos estudos são recomendados. No entanto, mesmo que o organogel apresente separação de fases, é possível incorporá-lo em produtos do ramo alimentício na substituição da gordura vegetal e hidrogenada, como pães, bolos e outros produtos de panificação, assim como patês, produtos lácteos e sorvetes.<sup>1</sup> Isso porque processos que serão aplicados nestes alimentos podem promover a integração ou homogeneização desejada, e esses produtos precisam de gorduras com características físicas mais suaves, visando obter alimentos com características sensoriais desejadas.

### 3.3. Determinação da perda de óleo (PO)

Avaliou-se a capacidade de retenção do óleo das amostras por meio da medição da quantidade de óleo

liberado após a centrifugação, conforme apresentado na Figura 2. Isso se torna relevante, uma vez que a migração de óleo dentro dos organogéis pode resultar em defeitos significativos na qualidade das formulações alimentares em que são aplicados. No organogel de óleo de canola, usando o estruturante monoestearato de sorbitano, as PO das três amostras apresentaram diferenças estatísticas entre si ( $p < 0,05$ ). Os resultados foram de 90,18, 82,87 e 76,94% para as amostras de OG 4%, OG 6% e OG 8%, respectivamente. Isso indica que quanto maior a concentração de estruturantes utilizada, menor será o PO (óleo liberado).

Evidências encontradas em amostras de organogel em sistema estático foram relatadas por Pieve *et al.*,<sup>5</sup> os quais obtiveram porcentagens de óleo (PO) variando entre 0 e 20%. Essas amostras foram caracterizadas por uma alta capacidade de aprisionar o óleo e uma baixa difusão do óleo através do gel. No entanto, nas amostras do presente trabalho, observou-se o oposto, obtendo uma porcentagem de óleo (PO) acima de 76%. Essa fraca ligação do óleo pode ser observada na análise visual, onde, no sétimo dia de armazenamento, já houve separação de fases. A estabilidade dos organogéis está relacionada à retenção de óleo em sua estrutura, considerando que a exsudação é um fenômeno comumente observado nesses sistemas.<sup>33</sup>



**Figura 2.** Perda de óleo das amostras de organogel (OG) utilizando diferentes concentrações de monoestearato de sorbitano, 4, 6 e 8%. As letras diferentes sobre cada grupo de amostras indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ )

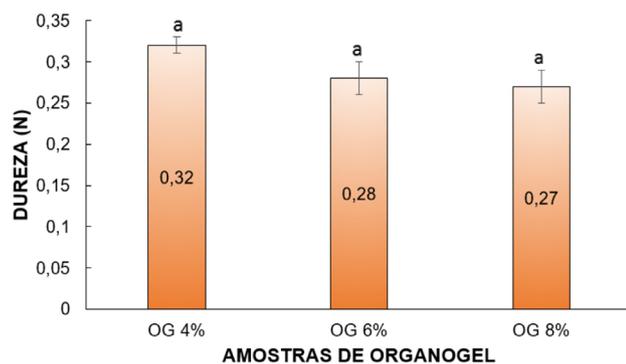
Os resultados de PO estão ligados com a capacidade do estruturante em formar um gel em um solvente, sendo determinada pelo equilíbrio entre a solubilidade e a insolubilidade. Se o estruturante for altamente solúvel no solvente em questão, ele tenderá a formar uma solução homogênea em vez de um gel. Por outro lado, se o estruturante for muito insolúvel, ele não conseguirá interagir adequadamente com o solvente, resultando na formação de um precipitado em vez de um gel coeso. Esse equilíbrio entre solubilidade e insolubilidade é crucial para o desenvolvimento de organogéis funcionais.<sup>34</sup>

No presente trabalho, foi possível observar que o estruturante não estava adequado ao óleo de canola, pois suas características, sendo excessivamente solúvel, não foram capazes de criar as interações moleculares necessárias

para sustentar a estrutura do gel. Portanto, é essencial encontrar um equilíbrio adequado entre a solubilidade e a insolubilidade do estruturante no solvente de interesse. Esse equilíbrio é alcançado selecionando-se estruturantes com propriedades compatíveis com o solvente e ajustando-se as concentrações e as condições de processamento adequadas para promover a formação do gel desejado.

### 3.4. Análise de textura (dureza)

Uma das principais características tecnológicas e sensoriais dos alimentos é a textura. Através do perfil de textura, é possível medir a dureza, coesividade e elasticidade por meio de uma compressão da amostra.<sup>35</sup> A dureza representa a resistência de um material contra deformidades, mensurando a resistência mecânica de uma estrutura como resultado das forças de interação entre os componentes.<sup>36</sup> Tanto a dureza quanto a textura são indicadores importantes, podendo sinalizar materiais com características físicas adequadas para substituição das gorduras saturadas e *trans* (industrializadas).



**Figura 3.** Dureza das amostras de organogel (OG) utilizando diferentes concentrações de monoestearato de sorbitano, 4, 6 e 8%. As letras iguais sobre cada grupo de amostras indicam que não há diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os grupos

Os resultados da força máxima (dureza), apresentados na Figura 3, variaram entre 0,27 e 0,32 N, não demonstrando diferença estatística entre as amostras ( $p < 0,05$ ). Conforme o estudo de Godoi *et al.*,<sup>2</sup> todos os organogéis feitos com óleo de soja e monoestearato de sorbitano como estruturante apresentaram baixos valores de dureza. Quando se utilizou a concentração de 4% de estruturante e adicionado de forma isolada, obteve-se um resultado de 0,17 N, sendo este valor próximo aos valores encontrados no presente trabalho. No entanto, quando houve a junção de mais estruturantes, a resistência mecânica aumentou, exigindo maior aplicação de força. Conclui-se que a associação de estruturantes em combinações binárias e ternárias torna-se mais eficaz na formação de um organogel completamente firme, uma vez que outros componentes podem proporcionar maiores interações químicas, como pontes de hidrogênio ou forças de Van der Waals, que são mais difíceis de quebrar, resultando em maior estabilidade.<sup>37</sup>

Deste modo, os resultados mostram que o monoestearato de sorbitano resulta em um sistema menos estruturado devido à diminuição da densidade de aglomerados cristalinos, formando uma rede cristalina mecanicamente menos resistente e um efeito estruturante pouco eficaz. Isso se mostra eficiente apenas para o aumento da viscosidade, obtendo assim um óleo viscoso com fluxo rápido ou lento, dependendo da concentração.<sup>38</sup>

No estudo de Fayaz, Goli & Kadivar<sup>39</sup> foi utilizado o óleo de canola e a cera de própolis (2%) como estruturante. A análise ocorreu durante 30 dias e os resultados de dureza obtidos pelo 1º e 30º dia foram de 0,10 e 0,17 N, respectivamente. Ao comparar estes valores, foi possível analisar que outros estruturantes apresentam um efeito semelhante ao monoestearato de sorbitano, e que em concentrações baixas e de forma isolada são capazes apenas de aumentar a viscosidade do óleo de canola. É possível notar que o valor da dureza do organogel feito com a cera de própolis 2% foi menor do que o organogel estudado no presente trabalho. Além disso, é possível concluir que a característica de textura do organogel é influenciada pelas diferenças de concentração e pelas propriedades específicas de cada estruturante, conforme observado nas análises anteriores.

## 4. Conclusão

Com base nos resultados encontrados, foi possível concluir que o óleo de canola é um material lipídico nutricionalmente adequado para o desenvolvimento de organogéis. No óleo de canola foram identificados 13 ácidos graxos, sendo a maior concentração composta por AGs insaturados (92,17%). O ácido graxo insaturado majoritário foi o 18:1n-9 (ácido oleico), que representou cerca de  $60,52 \pm 1,64\%$  da composição total. Além disso, foram observadas altas concentrações dos ácidos graxos essenciais 18:2n-6 (ácido linoleico) e 18:3n-3 (ácido  $\alpha$ -linolênico), sendo todos esses AGs descritos na literatura como substâncias importantes na nutrição humana, oferecendo diversos benefícios para a saúde. Na caracterização dos organogéis, eles foram classificados visualmente como totalmente líquidos (1) ou gel fraco (2). É importante ressaltar que no 7º dia, ocorreu separação de fases em todas as amostras. A perda de óleo acima de 76% e os baixos valores de dureza indicam que o estruturante não é adequado para o óleo de canola. Suas características excessivamente solúveis não permitiram a formação das interações moleculares necessárias para manter a estrutura de um gel coeso. Contudo, de modo geral, a estabilidade estrutural do organogel foi proporcional ao aumento da concentração do monoestearato de sorbitano no meio. Por fim, o desenvolvimento de organogéis funcionais, enriquecidos com ácidos graxos insaturados, revela-se promissor como alternativa para substituir as gorduras industrializadas presentes em vários alimentos processados, especialmente aquelas ricas em ácidos graxos saturados e

*trans*. No entanto, os autores sugerem novos estudos que aumentem a concentração de monoestearato de sorbitano no óleo de canola, além de explorar a combinação com outros estruturantes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, N°88887.606270/2021-00 e código de financiamento 001), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FAPPR). Agradecemos também ao grupo de pesquisa Analítica Aplicada a Lipídios, Esteróis e Antioxidantes APLE-A da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

## Conflito de Interesse

Nenhum potencial conflito de interesse foi relatado pelos autores.

## Contribuições dos Autores

**Sabrina Mayumi Antoniazzi Marçola:** Pesquisa, Redação do rascunho original, Redação-revisão e edição. **Izabelle Cremaschi Kasuwa Martins:** Pesquisa, Redação do rascunho original. **Catharina Paula Buranello:** Pesquisa, Redação do rascunho original. **Emilly Julia de Souza:** Pesquisa, Redação do rascunho original. **Patrícia Daniele Silva dos Santos:** Redação-revisão e edição. **Bruno Henrique Figueiredo Saqueti:** Conceituação, Curadoria de dados, Pesquisa, Administração de projetos, Software, Visualização, Redação do rascunho original, Redação-revisão e edição. **Oscar Oliveira Santos:** Aquisição de financiamento para análise formal, Administração de projetos, Recursos, Redação-revisão e edição.

## Referências Bibliográficas

1. Puşças, A.; Mureşan, V.; Socaciu, C.; Muste, S.; Oleogels in food: A review of current and potential applications. *Foods* **2020**, *9*, 70. [CrossRef] [PubMed]
2. de Godoi, K. R. R.; Basso, R. C.; Ming, C. C.; da Silva, V. M.; da Cunha, R. L.; Barrera-Arellano, D.; Ribeiro, A. P. B.; Physicochemical and rheological properties of soybean organogels: Interactions between different structuring agents. *Food research international* **2019**, *124*, 108475. [CrossRef] [PubMed]
3. Dassanayake, L. S. K.; Kodali, D. R.; Ueno, S.; Formation of oleogels based on edible lipid materials. *Current opinion in colloid & interface science* **2011**, *16*, 432. [CrossRef]
4. Siraj, N.; Shabbir, M. A.; Ahmad, T.; Sajjad, A.; Khan, M. R.; Khan, M. I.; Butt, M. S.; Organogelators as a saturated fat replacer for structuring edible oils. *International Journal of Food Properties* **2015**, *18*, 1973. [CrossRef]
5. da Pieve, S.; Calligaris, S.; Co, E.; Nicoli, M. C.; Marangoni, A. G.; Shear nanostructuring of monoglyceride organogels. *Food Biophysics* **2010**, *5*, 211. [CrossRef]
6. Chaves, K. F.; Barrera-Arellano, D.; Ribeiro, A. P. B.; Potential application of lipid organogels for food industry. *Food Research International* **2018**, *105*, 863. [CrossRef] [PubMed]
7. Palla, C.; Giacomozzi, A.; Genovese, D. B.; Carrín, M. E.; Multi-objective optimization of high oleic sunflower oil and monoglycerides oleogels: Searching for rheological and textural properties similar to margarine. *Food Structure* **2017**, *12*, 1. [CrossRef]
8. Singh, V. K.; Pramanik, K.; Ray, S. S.; Pal, K.; Development and characterization of sorbitan monostearate and sesame oil-based organogels for topical delivery of antimicrobials. *Aaps Pharmscitech* **2015**, *16*, 293. [CrossRef] [PubMed]
9. Lin, L.; Allemekinders, H.; Dansby, A.; Campbell, L.; Durance-Tod, S.; Berger, A.; Jones, P. J.; Evidence of health benefits of canola oil. *Nutrition reviews* **2013**, *71*, 370. [CrossRef] [PubMed]
10. Zeng, L.; Lin, X.; Li, P.; Liu, F. Q.; Guo, H.; Li, W. H.; Recent advances of organogels: From fabrications and functions to applications. *Progress in organic coatings* **2021**, *159*, 106417. [CrossRef]
11. Moriano, M. E.; Alamprese, C.; Organogels as novel ingredients for low saturated fat ice creams. *LWT - Food Science and Technology* **2017**, *86*, 371. [CrossRef]
12. Bemer, H. L.; Limbaugh, M.; Cramer, E. D.; Harper, W. J.; & Maleky, F.; Vegetable organogels incorporation in cream cheese products. *Food Research International* **2016**, *85*, 67. [CrossRef] [PubMed]
13. Silva, T. J.; Fernandes, G. D.; Bernardinelli, O. D.; da Rosa Silva, E. C.; Barrera-Arellano, D.; Ribeiro, A. P. B.; Organogels in low-fat and high-fat margarine: A study of physical properties and shelf life. *Food Research International* **2021**, *140*, 110036. [CrossRef] [PubMed]
14. Calligaris, S.; Manzocco, L.; Valoppi, F.; Nicoli, M. C.; Effect of palm oil replacement with monoglyceride organogel and hydrogel on sweet bread properties. *Food Research International* **2013**, *51*, 596. [CrossRef]
15. ISO 5509. Animal and vegetable fats and oils—preparation of methyl esters of fatty acids. 2000. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/11560.html>>. Acesso em: 14 março 2023.
16. Buitimea-Cantúa, G. V.; Serna-Saldívar, S. O.; Pérez-Carrillo, E.; Silva, T. J.; Barrera-Arellano, D.; Buitimea-Cantúa, N. E.; Effect of quality of carnauba wax (*Copernicia cerifera*) on microstructure, textural, and rheological properties of soybean oil-based organogels. *LWT- Food Science and Technology* **2021**, *136*, 110267. [CrossRef]
17. Meng, Z.; Guo, Y.; Wang, Y.; Liu, Y.; Organogels based on the polyglyceryl fatty acid ester and sunflower oil: Macroscopic property, microstructure, interaction force, and application. *LWT - Food Science and Technology* **2019**, *116*, 108590. [CrossRef]

18. Vesga-Jiménez, D. J.; Martín, C.; Barreto, G. E.; Aristizábal-Pachón, A. F.; Pinzón, A.; González, J.; Fatty acids: an insight into the pathogenesis of neurodegenerative diseases and therapeutic potential. *International journal of molecular sciences* **2022**, *23*, 2577. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Tao, J.; Liu, L.; Ma, Q.; Ma, K. Y.; Chen, Z. Y.; Ye, F.; Lei, L.; Zhao, G.; Effect of  $\gamma$ -oryzanol on oxygen consumption and fatty acids changes of canola oil. *LWT Food Science and Technology* **2022**, *160*, 113275. [[CrossRef](#)]
20. Bybordi, A.; Tabatabaei, S. J.; Ahmadev, A.; Effects of salinity on fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Food Agriculture and Environment* **2010**, *8*, 113. [[Link](#)]
21. Miciński, J.; Zwierzchowski, G.; Kowalski, I. M.; Szarek, J.; Health-promoting properties of selected milk components. *Journal of Elementology* **2013**, *18*, 165. [[CrossRef](#)]
22. Saqueti, B. H. F.; Alves, E. S.; Castro, M. C.; Ponhozi, I. B.; Silva, J. M.; Visentainer, J. V.; Santos, O. O.; Influence of drying and roasting on chemical composition, lipid profile and antioxidant activity of jurubeba (*Solanum paniculatum* L.). *Journal of Food Measurement and Characterization* **2022**, *16*, 2749. [[CrossRef](#)]
23. Djuricic, I.; Calder, P. C.; Beneficial outcomes of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: An update for 2021. *Nutrients* **2021**, *13*, 2421. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Silva, M.; Rydlewski, A. A.; Oliveira, M.; Biondo, P. B. C.; Maldaner, L.; Visentainer, J. V.; Incorporation of Omega-3 Fatty Acids in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) By-Products Containing Sacha Inchi Oil. *Revista Virtual de Química*, **2020**, *12*, 414. [[Link](#)]
25. Oppedisano, F.; Macri, R.; Gliozzi, M.; Musolino, V.; Carresi, C.; Maiuolo, J.; Bosco, F.; Nucera, S.; Zito, M. C.; Guarneri, L.; Scarano, F.; Nicita, C.; Coppoleta, A. R.; Ruga, S.; Scicchitano, M.; Mollace, R.; Palma, E.; Mollace, V.; The anti-inflammatory and antioxidant properties of n-3 PUFAs: Their role in cardiovascular protection. *Biomedicines* **2020**, *8*, 306. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Islam, M. A.; Amin, M. N.; Siddiqui, S. A.; Hossain, M. P.; Sultana, F.; Kabir, M. R.; Trans fatty acids and lipid profile: A serious risk factor to cardiovascular disease, cancer and diabetes. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews* **2019**, *13*, 1643. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Cui, X.; Saleh, A. S.; Yang, S.; Wang, N.; Wang, P.; Zhu, M.; Xiao, Z.; Oleogels as animal fat and shortening replacers: Research advances and application challenges. *Food Reviews International* **2022**, *1*. [[CrossRef](#)]
28. Maffei, C.; Cendon, M.; Tomasselli, F.; Tommasi, M.; Bresadola, I.; Fornari, E.; Morandi, A.; Olivieri, F.; Lipid and saturated fatty acids intake and cardiovascular risk factors of obese children and adolescents. *European Journal of Clinical Nutrition*, **2021**, *75*, 1109. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Sharma, S.; High fat diet and its effects on cognitive health: Alterations of neuronal and vascular components of brain. *Physiology & Behavior*, **2021**, *240*, 113528. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Miskandar, M. S.; Man, Y. C.; Rahman, R. A.; Aini, I. N.; Yusoff, M. S. A.; Effects of emulsifiers on crystal behavior of palm oil blends on slow crystallization. *Journal of Food Lipids*, **2007**, *14*, 1. [[CrossRef](#)]
31. Cerqueira, M. A.; Fasolin, L. H.; Picone, C. S.; Pastrana, L. M.; Cunha, R. L.; Vicente, A. A.; Structural and mechanical properties of organogels: Role of oil and gelator molecular structure. *Food research international* **2017**, *96*, 161. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Sagiri, S. S.; Kasiviswanathan, U.; Shaw, G. S.; Singh, M.; Anis, A.; Pal, K.; Effect of sorbitan monostearate concentration on the thermal, mechanical and drug release properties of oleogels. *Korean Journal of Chemical Engineering* **2016**, *33*, 1720. [[CrossRef](#)]
33. Co, E. D.; Marangoni, A. G.; Organogels: An alternative edible oil-structuring method. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **2012**, *89*, 749. [[CrossRef](#)]
34. Li, X.; Saleh, A. S.; Wang, P.; Wang, Q.; Yang, S.; Zhu, M.; Duan, Y.; Xiao, Z.; Characterization of organogel prepared from rice bran oil with cinnamic acid. *Food Biophysics* **2017**, *12*, 356. [[CrossRef](#)]
35. Walstra, Pieter.; *Physical chemistry of foods*. CRC Press, 2002.
36. Manzocco, L.; Calligaris, S.; Camerin, M.; Pizzale, L.; Nicoli, M. C.; Prediction of firmness and physical stability of low-fat chocolate spreads. *Journal of Food Engineering* **2014**, *126*, 120 [[CrossRef](#)]
37. Terech, P.; Weiss, R. G.; Low molecular mass gelators of organic liquids and the properties of their gels. *Chemical reviews* **1997**, *97*, 3133. [[CrossRef](#)]
38. Hwang, H. S.; Kim, S.; Evans, K. O.; Koga, C.; Lee, Y.; Morphology and networks of sunflower wax crystals in soybean oil organogel. *Food Structure* **2015**, *5*, 10. [[CrossRef](#)]
39. Fayaz, G.; Goli, S. A. H.; Kadivar, M.; A novel propolis wax-based organogel: Effect of oil type on its formation, crystal structure and thermal properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **2017**, *94*, 47. [[CrossRef](#)]