UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA (CCN)
CAMPUS LAGOA DO SINO

Júlia Ketchkech Amaral

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE ORGANOGÉIS COM DIFERENTES ÓLEOS E CERAS VEGETAIS

Buri -SP
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA (CCN)
CAMPUS LAGOA DOS SINO

Júlia Ketchkech Amaral

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE ORGANOGÉIS COM DIFERENTES ÓLEOS E CERAS VEGETAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de alimentos na Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Prof. Thaís Jordânia Silva

Buri-SP
2025

Amaral, Júlia Ketchkech

Desenvolvimento e caracterização de organogéis com diferentes óleos e ceras vegetais / Júlia Ketchkech Amaral -- 2025.
49f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Thaís Jordânia Silva
Banca Examinadora: Thaís Jordânia Silva, Isabelle Cristina Oliveira Neves, Sérgio Henrique Silva
Bibliografia

1. Oleogéis. 2. Cera de candelilla. 3. Cera de abelha. I. Amaral, Júlia Ketchkech. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

JÚLIA KETCHKECH AMARAL

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE ORGANOGÉIS COM DIFERENTES ÓLEOS E CERAS VEGETAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de São Carlos.

gov.br Documento assinado digitalmente
THAIS JORDANIA SILVA
Data: 06/05/2025 13:21:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Dra. Thaís Jordânia Silva
Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino (UFSCar)

gov.br Documento assinado digitalmente
ISABELLE CRISTINA OLIVEIRA NEVES
Data: 06/05/2025 16:58:45-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Isabelle Cristina Oliveira Neves
Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino (UFSCar)

gov.br Documento assinado digitalmente
SERGIO HENRIQUE SILVA
Data: 06/05/2025 16:50:05-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Sérgio Henrique Silva
Universidade Estadual Paulista(Unesp)-Campus de Ilha Solteira

Ao meu avô Mauro e à
minha avó Maria Odila (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre estar ao meu lado, me fortalecendo diante dos desafios e iluminando meu caminho com sabedoria e fé.

Aos meus pais, Simone Ketchkech do Amaral e José Luís do Amaral, meu eterno agradecimento por todo amor, apoio incondicional, conselhos e por nunca medirem esforços para que eu pudesse alcançar essa conquista.

Ao meu namorado, João Acácio Vieira, pela paciência, carinho e por ser meu porto seguro ao longo dessa jornada.

Às minhas amigas, Gabriela Uliana, Júlia Wanderley e Milena do Amaral pelo companheirismo, pelas risadas e palavras de apoio nos momentos mais difíceis.

A todos os docentes do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de São Carlos, minha gratidão por cada aula, orientação e por contribuírem de forma tão significativa para a minha formação acadêmica.

Agradeço especialmente à minha orientadora, Profª Dra. Thaís Jordânia Silva, pelas oportunidades oferecidas, pelos ensinamentos preciosos, pela dedicação e atenção durante essa trajetória e ser uma profissional exemplar para mim durante esta trajetória.

Por fim, agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa por meio da concessão da bolsa de iniciação científica, que contribuiu imensamente para o meu crescimento acadêmico e profissional.

“Se você pode sonhar, você pode realizar”

Walt Disney

RESUMO

AMARAL, Júlia Ketchkech. **Desenvolvimento e caracterização de organogéis com diferentes óleos e ceras vegetais**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri, 2025.

Os consumidores estão cada vez mais preocupados em consumir alimentos mais saudáveis. Em decorrência disso os órgãos da saúde vêm estimulando o lançamento de estratégias que visem a elaboração de alternativas mais saudáveis, incluindo a eliminação das gorduras *trans* e redução de ácidos graxos saturados. Diante disso, a tecnologia de organogéis surgiu como uma alternativa sendo que seus benefícios vão além das questões nutricionais, como ser um processo simples e mais barato. O objetivo desse projeto foi desenvolver organogéis com diferentes óleos vegetais, baseado no grau de saturação, e avaliar a combinação de duas ceras vegetais (candelilla e abelha) em diferentes proporções. Foram elaborados 21 organogéis com diferentes proporções cera de abelha: cera de candelilla (0:6, 1:5, 2:4, 3:3, 4:2, 5:1 e 6:0 % (m/m)) em relação aos óleos vegetais de soja, canola e girassol. Os organogéis foram avaliados quanto a textura, adesividade, propriedades reológicas, estabilidade térmica e capacidade de ligação do óleo. Os resultados obtidos mostraram que adição da cera de candelilla aumentou a firmeza e estabilidade dos organogéis, principalmente combinada com a cera de abelha. Os organogéis demonstraram elevada capacidade de ligação de óleo e estabilidade variável, dependendo da combinação entre o tipo de óleo vegetal e a cera utilizada, com destaque para a melhor estabilidade dos géis com óleo de girassol e combinação de cera de abelha e cera de candelilla. Os óleos com alto teor de ácidos graxos insaturados, como o óleo de girassol apresentaram melhor desempenho em relação a resistência mecânica, firmeza e estabilidade. As análises reológicas mostraram que o modelo de Herschel-Bukley se ajustou adequadamente aos dados, indicando que os organogéis apresentaram comportamento pseudoplástico com tensão inicial. Entre as formulações avaliadas, os organogéis com proporção de cera de abelha: cera de candelilla 4:2 apresentaram maior estabilidade, portanto, maior potencial de aplicação em alimentos. Portanto, os resultados confirmam que os organogéis são alternativas viáveis às gorduras convencionais e possuem potencial para aplicação industrial.

Palavras-chave: oleogéis; cera de candelilla; cera de abelha; propriedades reológicas.

ABSTRACT

Consumers are increasingly concerned about eating healthier foods. As a result, health authorities have encouraged the development of strategies aimed at creating healthier alternatives, including the elimination of trans fats and the reduction of saturated fatty acids. In this context, organogel technology has emerged as an alternative, offering benefits beyond nutritional aspects, such as being a simpler and more cost-effective process. The objective of this project was to develop organogels using different vegetable oils, based on their degree of saturation, and to evaluate the combination of two vegetable waxes (candelilla and beeswax) in different proportions. A total of twenty-one organogels were formulated with varying ratios of beeswax to candelilla wax (0:6, 1:5, 2:4, 3:3, 4:2, 5:1, and 6:0 % (w/w)) using soybean, canola, and sunflower oils. The organogels were evaluated for texture, adhesiveness, rheological properties, thermal stability, and oil-binding capacity. The results showed that the addition of candelilla wax increased the firmness and stability of the organogels, especially when combined with beeswax. The organogels exhibited high oil-binding capacity and variable stability depending on the combination of vegetable oil and wax used, with the best stability observed in gels made with sunflower oil and a mixture of beeswax and candelilla wax. Oils with a high content of unsaturated fatty acids, such as sunflower oil, showed better performance in terms of mechanical resistance, firmness, and stability. Rheological analyses showed that the Herschel-Bulkley model fit the data well, indicating that the organogels exhibited pseudoplastic behavior with yield stress. Among the formulations tested, those with a 4:2 ratio of beeswax to candelilla wax showed the highest stability and, therefore, greater potential for food applications. Thus, the results confirm that organogels are viable alternatives to conventional fats and have potential for industrial application.

Keywords: organogels; candelilla wax; beeswax; rheological properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de elaboração dos organogéis 17
Figura 2- Dureza dos organogéis elaborados com diferentes óleos e combinação de ceras ... 27
Figura 3– Espalhabilidade dos organogéis elaborados com diferentes óleos e combinação de ceras 28
Figura 4- Adesividade dos organogéis elaborados com diferentes óleos e combinação de ceras 29
Figura 5- Curva de escoamento dos organogéis de óleo de canola (A), óleo de girassol (B) e óleo de soja (C).CA: Cera de abelha;CC: Cera de candelilla. 31
Figura 6- Avaliação da varredura de frequência dos organogéis a 25 ºC, analisados através dos dados de módulo de armazenamento (G') e dissipação (G"), em função da frequência (Hz). OC: óleo de canola; OS: óleo de soja; OG: óleo de girassol; G'': módulo de dissipação; G': módulo de armazenamento..... 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise dos organogéis após ciclização em diferentes condições. 24
Tabela 2-Capacidade de liberação de óleo dos organogéis 26
Tabela 3-Parâmetros reológicos obtidos para os organogéis de óleo de canola através do ajuste do modelo de Herschel-Bulckley 30
Tabela 4- Parâmetros reológicos obtidos para os organogéis de óleo de girassol através do ajuste do modelo de Herschel-Buckley 30
Tabela 5- Parâmetros reológicos obtidos para os organogéis de óleo de soja através do ajuste do modelo de Herschel-Bulckley 31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....13

2. OBJETIVOS..... 14

2.1 OBJETIVO GERAL..... 14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 14

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 15

3.1 PROCESSOS DE MODIFICAÇÃO LIPÍDICA.....15
3.1.1 Hidrogenação.....15
3.1.2 Interesterificação.....16
3.1.3 Organogel..... 17
3.1.3.1 Aplicações dos organogéis em alimentos.....19

4. MATERIAL E MÉTODOS.....21

4.1 MATERIAL.....21
4.2 ELABORAÇÃO DOS ORGANOGÉIS.....21
4.3 ESTABILIDADE POR CICLIZAÇÃO.....21
4.4 CAPACIDADE DE LIGAÇÃO DO ÓLEO.....22
4.5 PERFIL DE TEXTURA 22
4.6 PROPRIEDADES REOLÓGICAS 23
4.6.1 Curva de escoamento.....23
4.6.2 Varredura de frequência.....23
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....23

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....23

5.1 ESTABILIDADE POR CICLIZAÇÃO.....23
5.2 CAPACIDADE DE LIGAÇÃO DO ÓLEO.....25
5.3 PERFIL DE TEXTURA.....26
5.4 PROPRIEDADES REOLÓGICAS.....29
5.4.1 Curva de escoamento.....30
5.4.2 Varredura de frequência 33

6. CONCLUSÃO 34

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....35

APÊNDICE 47

1. INTRODUÇÃO

Os lipídios, componentes estruturais e funcionais fundamentais do organismo, participam de processos como a síntese hormonal, o armazenamento energético e a integridade das membranas celulares. Entretanto, o consumo demasiado de alguns tipos de gorduras pode estar relacionado ao aumento da lipoproteína de baixa densidade (LDL) e/ou redução da lipoproteína de alta densidade (HDL), elevando as concentrações plasmáticas de triacilgliceróis, o que aumenta risco de síndromes metabólicas como obesidade e doença coronariana. Os ácidos graxos *trans* (AGT) e saturados (AGS) são alvos dessa preocupação com a saúde devido a sua associação com o aumento do risco de doenças cardiovasculares. (Dhaka *et al*., 2011; WHO, 2013).

Em decorrência do aumento de pessoas preocupadas em ter uma alimentação mais saudável, os órgãos da saúde vêm estimulando o lançamento de estratégias que visem a elaboração de alternativas lipídicas mais saudáveis. Exemplo disso têm-se a Organização Mundial da Saúde que propôs a eliminação dos ácidos graxos *trans* e a redução dos saturados nos alimentos (WHO, 2013). No Brasil, a Resolução da Diretoria Colegiada n° 332, de 23 de dezembro de 2019 define os requisitos para uso de gorduras *trans* industriais em alimentos, e estabeleceu que a partir de janeiro de 2023, ficou proibido a produção, importação, uso e oferta de óleos e gorduras parcialmente hidrogenados em alimentos (Brasil, 2019).Essa proibição foi realizada em 3 estágios: no primeiro limitou-se a presença de gordura *trans* a no máximo 2% na produção industrial de óleos refinados por 18 meses, a segunda limitou-se a 2% a presença de gorduras *trans* em todos os produtos alimentícios e o último é a exclusão das gorduras parcialmente hidrogenadas dos produtos alimentícios. Portanto, é evidente que existe uma necessidade imediata na elaboração de fontes lipídicas que sejam saudáveis e apresentem características semelhantes a gorduras sólidas para atender as demandas dos consumidores e da indústria de alimentos (Manzoor *et al*., 2022).

A gordura alternativa desenvolvida como substituta do processo de hidrogenação parcial (fonte de AGT) e interesterificação (resulta em gorduras com alto teor de AGS) é a tecnologia de organogéis. Os organogéis consistem na estruturação de óleos por meio da combinação de diferentes agentes estruturantes, para criar um material capaz de conferir consistência aos alimentos, mas com um perfil de ácidos graxos mais saudáveis (Chaves *et al*., 2019).

O processo de obtenção dos organogéis é um método tecnologicamente simples e economicamente acessível (Manzoor *et al*., 2022; Puscas *et al*., 2020). Os estruturantes

adicionados aos óleos vegetais podem ser proteínas, polissacarídeos, ou compostos de menor peso molecular como monoacilglicerol, ceras, ácidos graxos, álcoois graxos (Co; Marangoni, 2012; George; Weiss, 2006). Dentre os estruturantes avaliados, as ceras possuem alto potencial de estruturação de óleos em baixas concentrações devido à sua baixa polaridade, comprimento de cadeia longa e ponto de fusão relativamente baixo. Diversas ceras vêm sendo amplamente estudadas em organogéis como cera de abelha, carnaúba, candelilla, arroz e girassol. A cera de candelilla se destaca entre todas as ceras devido a alta capacidade de retenção de óleo e sua composição química que resulta em um sistema de estruturação com baixa cristalinidade e pequenos cristais (Blake *et al*., 2014; Morales-Rueda *et al*., 2009). Entretanto, apresenta como desvantagem a sensação sensorial na boca indesejável quando utilizada em maiores concentrações (Silva *et al*., 2018). Em contrapartida, a cera de abelha apresenta um sensorial mais agradável ao paladar e possui propriedades adequadas para aplicação em alimentos, entretanto necessita de maior concentração para estruturação de óleos (Martins *et al*., 2016).

Diante disso, esse projeto visou desenvolver bases lipídicas com a tecnologia de organogéis com menor teor de AGS e zero trans, testando a combinação entre a cera de candelilla e a cera de abelha, bem como a influencia da composição dos óleos vegetais na estruturação. O sistema desenvolvido apresenta-se como uma alternativa inovadora de organogéis fabricados a partir de ceras e óleos vegetais comestíveis podendo ser usados em uma variedade de alimentos (margarinas, recheios, biscoitos), por apresentarem a funcionalidade de gorduras e o perfil nutricional dos óleos líquidos de origem.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e caracterizar formulações de organogéis elaborados a partir da combinação das ceras de candelilla e de abelha como agentes estruturantes em óleos comerciais de baixo custo (óleo de canola, girassol e soja).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito da combinação de ceras vegetais na elaboração dos organogéis com diferentes óleos.
- Compreender o comportamento reológicos dos organogéis e o efeito do grau de insaturação dos óleos vegetais na estruturação com ceras vegetais.

- Avaliar os parâmetros de textura, estabilidade térmica e capacidade de liberação de óleo dos organogéis desenvolvidos;
- Compreender a interação entre a cera de candelilla e cera de abelha.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PROCESSOS DE MODIFICAÇÃO LIPÍDICA

3.1.1 Hidrogenação

A hidrogenação é uma reação química em que o hidrogênio, na presença de um catalisador, se incorpora às duplas ligações dos ácidos graxos, saturando-as. Esse processo transforma óleos líquidos em gorduras com textura semissólida ou plástica. Como resultado, há um aumento do ponto de fusão e da consistência dos óleos e confere estabilidade melhorando suas propriedades tecnológicas e ampliando suas possibilidades de uso em alimentos processados. O processo ocorre em um reator fechado sob alta pressão e temperatura controlada com o emprego de catalisadores metálicos, como níquel para acelerar as reações (Rodrigues; Castejon, 2021).

O óleo totalmente hidrogenado é obtido quando todas as ligações duplas são saturadas no processo. Quando a saturação não acontece em todas ligações duplas nomeia-se hidrogenação parcial (Ribeiro *et al*., 2007). Portanto, a hidrogenação é responsável por reduzir o grau de insaturação de óleos com alto teor de insaturação. Essa reação é desejável e necessária, pois óleos com alto teor de insaturação são inadequados para a produção de alimentos á base de lipídios, já que apresentam baixo ponto de fusão e são mais suscetíveis à deterioração oxidativa (Zandoná, 2021).

A hidrogenação parcial resulta em uma gordura com propriedades tecnológicas ideais para aplicação, como melhor estabilidade oxidativa, espalhabilidade, maciez e crocância (Pinho e Suarez,2013). No entanto, a reação de isomerização das ligações duplas ocorre durante o processo de hidrogenação, ou seja, parte dos isômeros cis são convertidos em isômeros *trans*. Dessa forma, ocorre a formação dos AGT ou popularmente conhecidos como gordura trans, as quais são associadas a diversos problemas de saúde (Pinho e Suarez, 2013).

Em 2018, a Organização Mundial da Saúde (OMS) lançou um plano com o objetivo de eliminar as gorduras *trans* dos alimentos até 2023. Esta iniciativa foi chamada de Replace. Esse plano é constituído por seis ações: (1) Revisar as fontes alimentares com gorduras *trans* produzidas industrialmente e o panorama para as mudanças políticas necessárias; (2)

Promover a substituição de gordura *trans* por gorduras e óleos mais saudáveis; (3) Legislações para eliminar as gorduras *trans* produzidas industrialmente; (4) Avaliar e monitorar o teor de gordura *trans* nos alimentos e as mudanças no consumo de gordura *trans*; (5) Conscientizar sobre os impactos negativos na saúde do consumo de gorduras *trans* para todos os envolvidos; (6) Estimular a conformidade das políticas e regulamentos (WHO, 2018).

A preocupação da OMS está alinhada com a crescente demanda global por alimentos mais saudáveis, em função da associação entre o consumo de alimentos ricos em gorduras *trans* e o desenvolvimento de doenças crônicas (Zarnowski *et al*., 2022). Isso ocorre porque o consumo excessivo de alimentos ricos em gorduras *trans* e saturadas provoca aumento nos níveis de LDL, o que resulta no acúmulo de gordura nos vasos sanguíneos, o que pode causar diversas doenças como aterosclerose, doenças cardíacas e acidente vascular cerebral (Brancallion Neto, 2022).

3.1.2 Interesterificação

A interesterificação é a reação entre uma gordura saturada e um óleo insaturado, na presença do catalisador, geralmente metóxido de sódio. A gordura saturada é proveniente de uma gordura natural ou de um óleo que passou pelo processo de hidrogenação total ou cristalização fracionada. Ao final do processo, os lipídios obtidos são semelhantes aos resultantes do processo de hidrogenação parcial, porém não ocorre a isomerização, ou seja, formação dos AGT (Ribeiro *et al*., 2009). Nesta reação, os ácidos graxos permanecem inalterados, o que ocorre é a redistribuição destes ácidos nas moléculas de triacilgliceróis. A composição final é modificada e determinada pela composição inicial das matérias-primas (Rodrigues, 2014). A interesterificação é um método utilizado para modificar o comportamento de fusão dos óleos e assegurar a consistência desejada em temperatura de aplicação, reduzindo a tendência a recristalização e assim aumentar a vida útil do produto (Ribeiro *et al*., 2007).

Miyamoto *et al*. (2018) avaliaram o efeito de dietas com gordura interesterificada em ratos machos. Os animais foram divididos em três grupos: dietas com lipídios de óleo de soja não modificado, óleo de soja interesterificado e banha de porco. Foi observado que os ratos submetidos a dieta com óleo de soja interesterificado apresentaram os seguintes efeitos: aumento no ganho de massa corporal, massa de tecido adiposo retroperitoneal, influenciou nos níveis da glicemia em jejum e intolerância à glicose durante o teste de tolerância à glicose intraperitoneal. Portanto, os efeitos adversos para saúde do consumo de gorduras

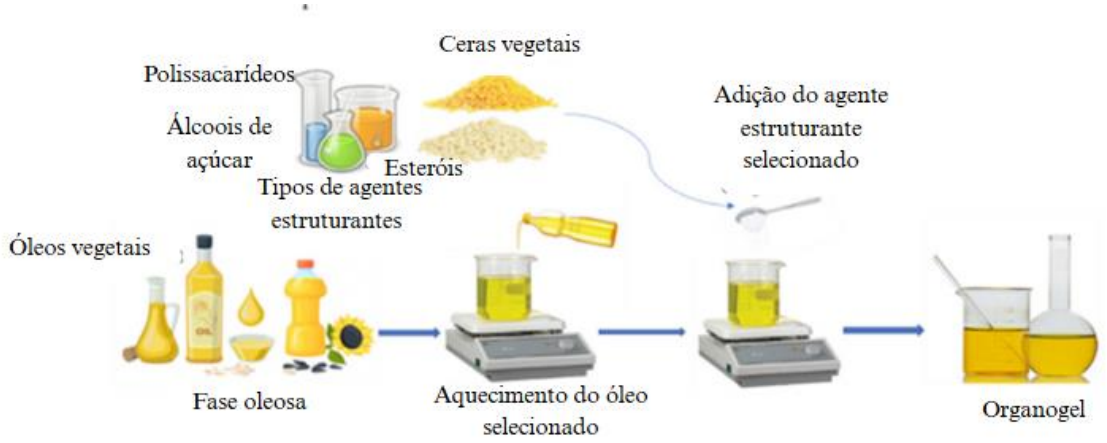
interesterificados ainda exigem estudos e destacam a preocupação com o seu uso como substituto das gorduras *trans*.

3.1.3 Organogel

Os organogéis ou oleogeis, são sistemas que surgem como alternativa à interesterificação, devido ao seu perfil lipídico mais saudável. Os organogéis são sistemas lipídicos semissólidos ou sólidos em que a fase líquida (óleo líquido) é estruturada por uma rede tridimensional do agente estruturante (Silva *et al*., 2024).

O organogéis têm demonstrado potencial como substitutos da gordura saturada e *trans* em diversos alimentos, oferecendo benefícios como a melhorias nutricionais e estruturais aos alimentos (Santos *et al*.,2025). A Figura 1 descreve o método de elaboração dos organogéis.

Figura 1 – Esquema de elaboração dos organogéis



Fonte: Silva *et al*., (2023).

Os agentes estruturantes são macromoléculas e/ou compostos de baixo peso molecular, as quais são utilizadas para estruturar o óleo líquido em uma rede cristalina (Marçola *et al*., 2024). Os principais estruturantes avaliados em aplicações em alimentos são: álcoois graxos, esteróis vegetais, lecitinas, ceras, mono- e diacilglicerois, fitoesteróis/orizanóis, monoestearato e tristearato de sorbitana, polímeros, proteínas e ceramidas (Chavesmet *et al*., 2018). Dessa forma, os organogéis apresentam características reológicas de sólido ou semissólido, embora aproximadamente 90% da sua composição é um líquido (óleo vegetal) (Pernetti *et al*., 2007).

As características do organogel, como viscosidade, dureza e ponto de fusão, podem variar dependendo do agente estruturante (Floter *et al*.,2021). A rede cristalina pode ser formada pelos agentes estruturantes por diversos mecanismos como: cristalização dos ácidos

graxos por partículas cristalinas, (Pernetti *et al*.,2007); auto-organização fibrilar; ou redes poliméricas (Martins *et al*., 2018).

As ceras são lipídios complexos, hidrofóbicos e formados principalmente por ésteres, álcoois e ácidos graxos de cadeia longa (Forezi *et al*., 2022). As principais ceras utilizadas como estruturantes em organogéis são: farelo de arroz, girassol, carnaúba, candelilla e abelha (Gao *et al*.,2021). O uso das ceras em alimentos é regulamentado pela RDC nº 326, de 3 de dezembro de 2019, portanto, podem ser usadas para elaboração de materiais plásticos e revestimentos poliméricos destinados a entrar em contato com alimentos (Brasil,2019).

A eficiência da aplicação das ceras em organogéis para alimentos depende da composição química das ceras (Doan *et al*.,2017). São consideradas os agentes estruturantes com melhor potencial de aplicação, já que possuem alta capacidade de retenção de óleo em baixas concentrações, baixo custo e algumas são GRAS (Geralmente Reconhecido como Seguro) (Patel,2015). Dentre as ceras, destaca-se a cera de abelha e candelilla, pelo potencial de formar organogéis estáveis e consistentes (Wang e Rogers, 2015).

A cera de candelilla é um agente estruturante que possui 49-50% de n-alcanos com 29 a 33 carbonos, 20-9% de ésteres de ácidos e álcoois com cadeias de carbono de número par (C28 a C34), 12-14% de álcoois e esteróis, e 7-9% de ácidos graxos livres. Essa composição é responsável pela capacidade de geleificação e a utilização de concentrações que variam entre 1- 4% (m/m) já demonstrou promissora para formação de organogéis que podem ser aplicados em alimentos (Álvarez-Mitre *et al*.,2012).

Avendaño-Vásquez *et al.* (2024) avaliaram a substituição parcial ou total da gordura saturada por organogéis de óleo de soja e óleo de canola estruturados com cera de candelilla para aplicação na produção de salsichas. Foi observado que a utilização da cera de candelilla para organogéis em produtos cárneos pode ser uma alternativa econômica e alimentícia para substituição da gordura, pois apresentou características físico-químicas e textura semelhante ao produto padrão.

A cera de abelha tem sua composição variável de acordo com a subespécie da abelha, idade da cera e condições climáticas da produção. Possui coloração amarela, amarela escura ou marrom e ponto de fusão entre 61e e66 ºC (Bogdanov, 2016). Holanda (2022) avaliou a aplicação de organogéis de óleo de girassol e cera de abelha na produção de gelados comestível resultando em um produto com comportamento reológico, físico-químico e estrutura semelhantes ao controle.

Os óleos vegetais representam aproximadamente 90% dos organogéis. As principais

propriedades desejáveis nos óleos para aplicações industriais são: disponibilidade, funcionalidade, baixo custo, importância econômica e benefícios nutricionais. Os óleos vegetais mais utilizados são óleos de soja, oliva, girassol e girassol com alto teor de oleico (Manzoor *et al*., 2022). O nível de saturação dos óleos afeta diretamente a concentração mínima necessária do agente estruturante, portanto, quanto maior a concentração de AGS do óleo, menor a quantidade necessária de agente estruturante no processo de elaboração dos organogéis (Puscas *et al*., 2020).

O óleo de soja, obtido a partir da soja (*Glycina máxima*), apresenta altas concentrações de ácidos graxos insaturados (80-90%), sendo o ácido linoleico, ômega-6, o mais abundante (aproximadamente 55%), seguido pelos ácidos linolênico, ômega-3, em menor quantidade (aproximadamente 7%) (Godoi Fernandes, 2017). O óleo de canola, extraído das sementes de colza (*Brassica napus*), é composto marjoritariamente por ácidos graxos monoinsaturados (aproximadamente 68,6%) e ácidos graxos polinsaturados, contendo em média 7,2% de AGS (Popovici *et al*., 2022). Já o óleo de girassol, proveniente das sementes de girassol (*Helianthus annuus*), é composto marjoritariamente por ácidos graxos polinsaturados, aproximadamente 54% de ácido linoleico e 7% de ácido linoleico (Chaves, 2019). Em relação aos ácidos graxos saturados, o óleo de soja possui a maior concentração(aproximadamente 15%), seguido pelo óleo de girassol(10%) e óleo de canola(aproximadamente 5%) (Gioielli,1996). Portanto, os óleos vegetais possuem diferentes composições de ácidos graxos saturados e insaturados, o que impacta diretamente na interação com os agentes estruturantes, consequentemente, na estruturação do organogel.

3.1.3.1 Aplicações dos organogéis em alimentos

Os organogéis podem ser aplicados em alimentos para reduzir o teor de AGS (Silva *et al.*, 2023), ou como fonte de liberação de compostos bioativos hidrofóbicos (Davidovich-Pinhas *et al*.,2015), além de potencializar a biodisponibilidade de substâncias como licopeno, fitoesteróis e vitamina E (Martins *et al*., 2020). Nos últimos dez anos foram registradas aproximadamente 50 patentes das aplicações na indústria (Patel *et al*., 2020), o que demonstra o potencial dos organogéis.

Zandoná (2021) elaborou biscoitos recheados com substituição da gordura vegetal que contém gordura hidrogenada e interesterificada por organogel de colágeno no recheio. As formulações de recheio desenvolvidas apresentaram-se adequadas para serem utilizadas em biscoitos, pois apresentaram textura e estabilidade semelhantes ao recheio controle e

conseguiriam reduzir o teor de gordura saturada e *trans* dos biscoitos, além de aumentar os teores de proteína devido ao colágeno utilizado como agente estruturante.

Ferro *et al*. (2021) desenvolveram salsichas tipo Bolonha com 25, 50, 75 e 100% de substituição da gordura suína por organogéis de óleo de girassol com monostearato. As salsichas obtidas apresentaram propriedades reológicas características de géis, coloração mais clara, leve aumento da dureza, e maior capacidade de fatiamento já que a estrutura se tornou mais compacta. Na análise sensorial, todas as amostras apresentaram boa aceitação pelos consumidores, portanto, não foram observadas diferenças das características desejadas no produto tradicional.

Chaves (2019) desenvolveu organogéis de óleo de girassol com cera de candelilla, monoglicerídeo, monoestearato de sorbitana e óleo totalmente hidrogenado de palma para aplicação em *spreads* de chocolate. Os *spreads* de chocolate apresentaram alta estabilidade com menores níveis de AGS, alto teor de sólidos na temperatura ambiente, baixo tempo de indução de cristalização, alta resistência térmica e uniformidade em relação à morfologia e dimensões cristalinas.

Airoldi *et al*. (2022) avaliaram a substituição da gordura saturada do sorvete por organogel de cera de carnaúba (6%, 8% e 10%) e óleo de soja e amendoim. Todos os organogéis apresentaram estabilidade e reduziram a taxa de derretimento do sorvete, porém afetou de forma negativa o *overrun* (incorporação de ar). Em relação ao sensorial, o sorvete com organogel apresentou o mesmo nível de aceitação que a amostra padrão. Portanto, os organogéis demonstraram potencial promissor na substituição das gorduras na produção de sorvetes.

Abdolmaleki *et al*. (2022) desenvolveram margarinas com organogéis de óleo de girassol com cera de abelha ou hidrocoloides. A substituição de 100% de óleo de palma parcialmente hidrogenado e 25% de óleo de palma por organogel de cera de abelha e a substituição de 100% de óleo de palma parcialmente hidrogenado por organogéis à base de hidrocoloides resultaram em margarinas semelhantes à comercial em relação as características reológicas e de textura. Além disso, a substituição proporcionou redução dos teores de AGS e *trans*.

Com base na análise dos estudos apresentados, conclui-se que os organogéis possuem grande potencial para aplicação em alimentos, especialmente como substitutos de gorduras tradicionalmente utilizadas, como as gorduras interesterificadas ou parcialmente hidrogenadas, que são ricas em ácidos graxos saturados ou *trans*. A utilização de organogéis

contribui para melhorar os benefícios nutricionais e preservam as características físicas desejáveis nos produtos alimentícios.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Foram utilizados como matérias-primas óleo de soja, girassol e canola obtidos em supermercado em Campina no Monte Alegre – SP. As ceras de candelilla e abelha foram gentilmente doadas pelo laboratório de óleos e gorduras da Unicamp.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os organogéis foram elaborados através de um delineamento fatorial completo, com 7 formulações para 3 óleos vegetais. Sendo assim utilizou-se diferentes proporções cera de abelha: cera de candelilla (0:6,1:5, 2:4, 3:3, 4:2, 5:1 e 6:0 % (m/m)) para 100 mL dos óleos vegetais (canola, girassol e soja). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

4.2 ELABORAÇÃO DOS ORGANOGÉIS

Os organogéis foram elaborados a partir do aquecimento do óleo vegetal a 80 ºC para completa destruição de seu histórico cristalino, sob agitação no agitador magnético. Em seguida, adicionou-se os agentes estruturantes (cera de candelilla e cera de abelha) sob constante agitação, nas concentrações pré-definidas, e mantido por aproximadamente 3 minutos. Por fim as amostras foram transferidas para frascos de vidro e mantidos em condição a 5 °C para estruturação e estabilização. Após 24 horas, as amostras foram estabilizadas a 25 ºC (Rocha *et al*., 2013).

4.3 ESTABILIDADE POR CICLIZAÇÃO

Os organogéis foram avaliados quanto a sua estabilidade segundo metodologia descrita por Garcia *et al*. (2013) e adaptada por Godoi *et al*. (2019). Inicialmente, aproximadamente 40 mL da amostra foram fundidos em forno de micro-ondas por 30 segundos e, em seguida, transferidos para um béquer.Na primeira ciclização, a amostra permaneceu à temperatura de 5 °C por 48 h para completa cristalização, e após este tempo, foi

colocada a 35 °C por 24 h e imediatamente avaliada visualmente. Em seguida, a amostra foi mantida novamente a 5 °C por 24 h e avaliada visualmente quanto à exsudação de óleo. Na segunda ciclização as amostras foram estabilizadas na temperatura de 35 °C por 48 h e avaliadas novamente. Em seguida foram submetidas à refrigeração de 5 °C por 72 h e avaliadas visualmente (Garcia *et al*., 2013). De acordo com as avaliações visuais, os géis foram classificados de 1 a 5, sendo: (1) totalmente líquido, (2) gel fraco, (3) gel médio, (4) gel forte e (5) gel muito forte (Godoi *et al*., 2019). As observações dos organogéis foram realizadas vertendo o béquer e registando através de imagem fotográfica.

4.4 CAPACIDADE DE LIGAÇÃO DO ÓLEO

Os tubos do tipo Eppendorf foram previamente pesado para determinação da massa inicial(mi, em gramas). Em seguida, as amostras foram fundidas no micro-ondas por 30 segundos, e 1 mL de cada amostra foi transferido para os respectivos tubos. Os tubos permaneceram sob refrigeração por no mínimo 24 horas e em seguida o tubo contendo a amostra foi pesado novamente (massa total com a amostra, $mt+a$, em gramas). Os tubos foram centrifugados (10.000 rpm por 15 min) na temperatura de 25 ºC, e o óleo líquido liberado após centrifugação, foi drenado. Os tubos, após drenagem, foram pesados novamente (massa final,mf, em gramas) para determinação da capacidade de ligação de óleo (Equação 1) (Yang *et al*., 2017).

$$\text{Capacidade de ligação de óleo}(\%) = 100 - \frac{[(m_{t+a} - m_i) - (m_f - m_i)]}{(m_{t+a} - m_i)} \quad \text{(Equação 1)}$$

4.5 PERFIL DE TEXTURA

As consistências dos organogéis foram avaliadas por meio do texturômetro TA-X (TA-XT2i, Stable Micro Systems, Reino Unido). As amostras, 30 mL, foram colocadas em béquer armazenadas em B.O.D. a 5 °C durante 24 h. O teste de compressão/extrusão foi aplicado com probe cilíndrica (diâmetro = 10 mm e comprimento de 35 mm). Os parâmetros do teste utilizados foram: velocidade do pré-teste: 1,0 mm/s; velocidade do teste: 1,0 mm/s e velocidade pós-teste: 1,0 mm/s, e distância fixa para penetração do probe de 15 mm (Godoi *et al*., 2019). A análise foi realizada em triplicata e os parâmetros obtidos foram: dureza (força positiva máxima aplicada à amostra), espalhabilidade (área positiva) e adesividade (área negativa), usando o Texture Expert Exceed software (Bemer *et al*., 2016).

4.6 PROPRIEDADES REOLÓGICAS

4.6.1 Curva de escoamento

A curva de escoamento foi realizada utilizando um reômetro de tensão controlada Physical MCR101 (Anton Par, Alemanha) acoplado a um sensor de geometria placa-placa rugosa (35 mm de diâmetro) com gap de 0,7 mm, após 48 h de gelificação. A viscosidade foi avaliada a 25 °C em função da taxa de cisalhamento que variou de 0 a 300 s^{-1}, com três rampas sequenciais: ciclos crescente-decrescente-crescente, visando a eliminação da tixotropia. Os dados da terceira curva de fluxo foram ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley (Okuro; Gomes; Cunha, 2020).

4.6.2 Varredura de frequência

Módulos elásticos (G') e viscoso (G''), foram medidos usando o reômetro de tensão controlada Physical MCR101 (Anton Par, Alemanha) acoplado a um sensor de geometria placa paralela de aço inoxidável, com 35 mm de diâmetro e superfície rugosa. O gap utilizado foi de 0,7 mm em temperatura controlada de 25 ºC. O valor de tensão de cisalhamento (Pa) contido na faixa de viscoelasticidade linear foi utilizado no teste oscilatório de varredura de frequência, variando de 0,01 Hz a 100 Hz. (Mert; Demirkesen, 2016).

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Utilizou-se uma análise de variância (ANOVA) seguido por comparação das médias pelo teste Tukey a 5% de significância, por meio do Software SISVAR com o objetivo de avaliar as diferentes combinações de ceras e óleos vegetais em relação a dureza, espalhabilidade, adesividade, propriedades reológicas (viscosidade aparente, tensão inicial e índice de consistência) e capacidade de ligação do óleo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTABILIDADE POR CICLIZAÇÃO

A análise visual e classificação (1 a 5) dos organogéis obtidos nas temperaturas de ciclização estão descritos na Tabela 1. Esses resultados nos fornecem informações sobre a estabilidade térmica de organogéis potenciais para aplicação em alimentos, indicando suas características visuais em condições de refrigeração e quando submetido a maiores

temperaturas por um longo período. Nessa análise espera-se que os organogéis sejam classificados como totalmente firme, firme ou médio. Géis líquidos ou totalmente líquido são considerados inadequados para futura aplicação. As imagens fotográficas dos organogéis obtidos estão apresentados no apêndice.

Tabela 1- Análise dos organogéis após ciclização em diferentes condições.

	5 °C/48 h			**35 °C/ 24 h**			**5 °C/24 h**			**35 °C/ 48 h**			**5 °C/72 h**		
CA:CC (m/m)	**OC**	**OS**	**OG**	**OC**	**OS**	**OG**	**OC**	**OS**	**OG**	**OC**	**OS**	**OG**	**OC**	**OS**	**OG**
0:6	2	5	4	2	5	5	4	4	5	2	5	5	2	5	5*
1:5	4	4	5	4	2	5	4	4	5	3	2	5	3	2	5
2:4	4	4	5	2	2	3**	4	4	5	3	2	5	2	2	5
3:3	4	2	5	2	4	5	4	4	5	3	4	5	3	3	3
4:2	3*	2	5	5	4	3**	2*	4*	5	3	4	5	1	4	5
5:1	4	4	2	2	2	2	2	4	4**	3	2	3**	1	2	5*
6:0	5	5	5	4	1	5	5	5	5	5	1	5	5	1	5

CA: cera de abelha; CC: cera de candelilla; OC: óleo de canola; OS: óleo de soja; OG: óleo de girassol; 5: Totalmente firme; 4: Firme; 3: Médio; 2: Fraco; 1; totalmente líquido. *: textura arenosa; **presença de gotículas de óleo

Fonte: Autoria própria,2025.

Os óleos de canola e girassol apresentaram melhor estruturação com cera de abelha (6%), enquanto o óleo de soja mostrou resultados mais promissores com cera de candelilla (6%), formando, em ambos os casos, géis totalmente firmes (5). Estes dados indicam que a concentração máxima de cera utilizada foi capaz de estruturar os óleos vegetais.

Na primeira ciclização, após elaboração e armazenamento a 5 ºC por 48h, observou-se que as combinações contendo 3% de cera de candelilla e 3% de cera de abelha resultaram em géis instáveis (gel fraco), indicando baixa sinergia entre essas ceras, com exceção dos organogéis elaborados com óleo de girassol. Após serem submetidos a 35 °C por 24 h, a perda de estrutura foi mais evidente nos organogéis que utilizaram apenas cera de abelha. No caso do óleo de soja, o organogel tornou-se totalmente líquido sob essas condições. Em contraste, o óleo de girassol, mais uma vez, demonstrou alta sinergia com a cera de abelha, mantendo melhor a estrutura do gel. Esses comportamentos podem ser explicados pela interação entre as ceras e óleos, a cera de abelha interagiu melhor com o óleo de girassol, do que com óleo de soja, neste caso.

Na segunda ciclização, a 35 °C por 48h, os organogéis com 6% de cera de abelha em óleo de canola, soja e girassol mantiveram sua característica como totalmente firme.

Entretanto os organogéis com 6% de cera de abelha em óleo girassol apresentaram características arenosa, com cristais aparentes. Esse fenômeno pode indicar que as interações entre os ácidos graxos do óleo e os componentes da cera se fortalecem, o que faz com que a rede tridimensional se torne mais estável e rígida, sendo assim, o material passa a se comportar como um sólido, o que não é interessante para possível aplicação em alimentos. Quando foi utilizado apenas cera de candelilla, um melhor comportamento foi notado para o óleo de soja e girassol, sendo que o óleo de canola produziu organogéis líquidos.

Pela análise de ciclização podemos concluir que a composição do óleo influenciou na estabilidade do organogel, bem como a cera utilizada. Óleos vegetais apresentam variada composição em ácidos graxos saturados (óleo de soja: 16%; óleo de girassol: 10%; óleo de canola: 7%) (Alimentarius, 1999), interagindo diferentemente com ceras vegetais. O óleo de soja interagiu melhor com cera de candelilla, óleo de canola com cera de abelha, e o óleo de girassol com ambas. Isso pode ser explicado, pois a cera de candelilla possui plaquetas que retém os óleos, principais os óleos com maior teor de ácidos graxos saturados, como é o caso do óleo de soja e de girassol. Além disso, a cera de candelilla é responsável pela formação de redes mais coesas e rígidas do que a cera de abelha que é plástica, portanto, os organogéis com maiores proporções de cera de candelilla são mais estáveis, conforme foi observado nos resultados.

5.2 CAPACIDADE DE LIGAÇÃO DO ÓLEO

A Tabela 2 apresenta a capacidade de ligação de óleo dos organogéis. Para todas amostras, observou-se nenhuma ou mínima perda de óleo após a centrifugação. Portanto, a variação da capacidade de ligação de óleo entre as amostras não foi significativa ($p>0,05$), o que demonstra que a rede de gel formada pelas ceras impediu a exsudação do óleo quando submetido a uma força centrífuga. A possível explicação para a baixa liberação de óleo é a alteração da polaridade dos óleos líquidos ao se unirem ao agente estruturante, o que confere estrutura e resistência mecânica aos organogéis diminuindo a exsudação do óleo a 25 °C (Doan *et al.*, 2018).

Tabela 2-Capacidade de liberação de óleo dos organogéis

CA:CC (m/m)	Óleo de canola	Óleo de girassol	Óleo de soja
0:6	99,96±0,03[a]	99,65±0,53[a]	99,82±0,06[a]
1:5	99,98±0,07[a]	99,84±0,09[a]	99,93±0,04[a]
2:4	99,91±0,09[a]	99,91±0,04[a]	99,92±0,04[a]
3:3	99,98±0,15[a]	99,93±0,04[a]	99,96±0,06[a]
4:2	99,91±0,07[a]	99,89±0,09[a]	99,89±0,04[a]
5:1	99,96±0,07[a]	99,89±0,07[a]	99,91±0,05[a]
6:0	99,79±0,02[a]	99,90±0,03[a]	99,90±0,03[a]

média ± desvio padrão; Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre as amostras ($p > 0,05$) pelo teste Tukey ($n = 3$); n: número de repetições. CA: cera de abelha; CC: cera de candelilla.

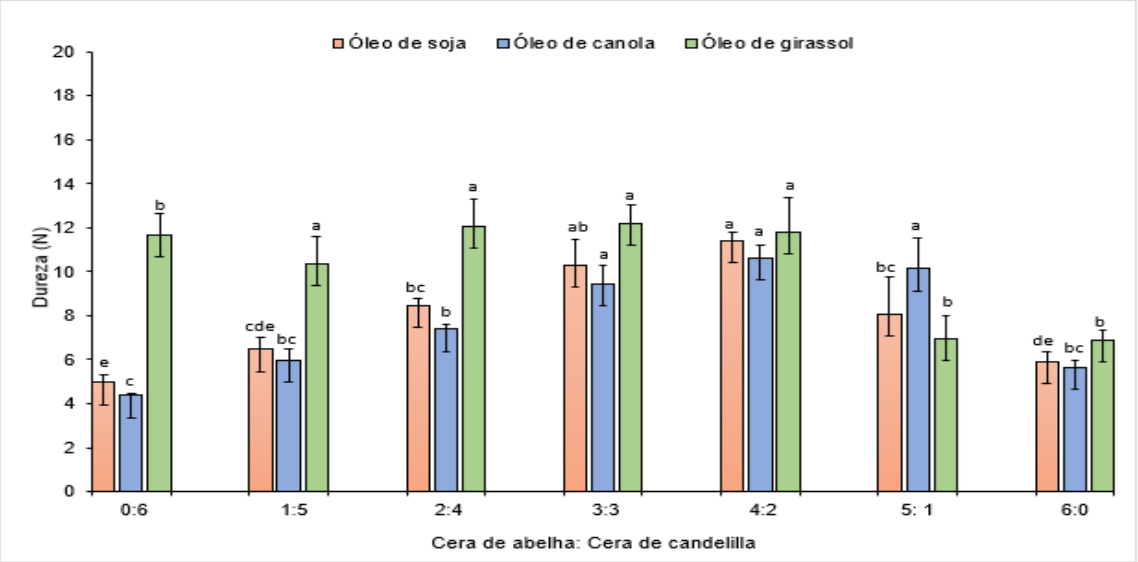
Fonte: Autoria própria, 2025.

A alta capacidade de ligação de óleo dos organogéis desenvolvidos pode estar associada ao grau de saturação dos óleos, já que quanto maior a saturação, maior reatividade com o agente estruturante, portanto, facilita a formação de um maior número de zonas de junção com as moléculas do agente estruturante, resultando em géis com alta resistência (Laredo; Barbut; Marangoni,2011).

5.3 PERFIL DE TEXTURA

Os parâmetros de textura analisados foram: dureza, espalhabilidade e adesividade. Os resultados obtidos para dureza podem ser observados na Figura 2. A análise dos dados de dureza dos organogéis revela que o tipo de óleo e a proporção entre cera de abelha e cera de candelilla influenciam significativamente a firmeza dos géis formados. Em relação ao óleo de canola, a partir do comparativo entre as amostras, observou-se que as proporções intermediárias (3:3, 4:2 e 5:1) (cera de abelha: cera de candelilla) resultaram em géis mais firmes, sugerindo que uma combinação equilibrada favoreceu a estrutura mais forte. Já para o óleo de girassol, as proporções no geral apresentaram maiores valores de dureza do que os demais, exceto em 5:1 e 6:0, devido a redução da quantidade de cera de candelilla. Para o óleo de soja, a proporção que apresentou maior valor de dureza foi 3:3 e 4:2.

Figura 2- Dureza dos organogéis elaborados com diferentes óleos e combinação de ceras



Letras iguais nas barras de mesma cor não diferem significativamente entre as amostras ($p > 0,05$) pelo teste Tukey ($n = 3$); n: número de repetições; CA: cera de abelha; CC: cera de candelilla.

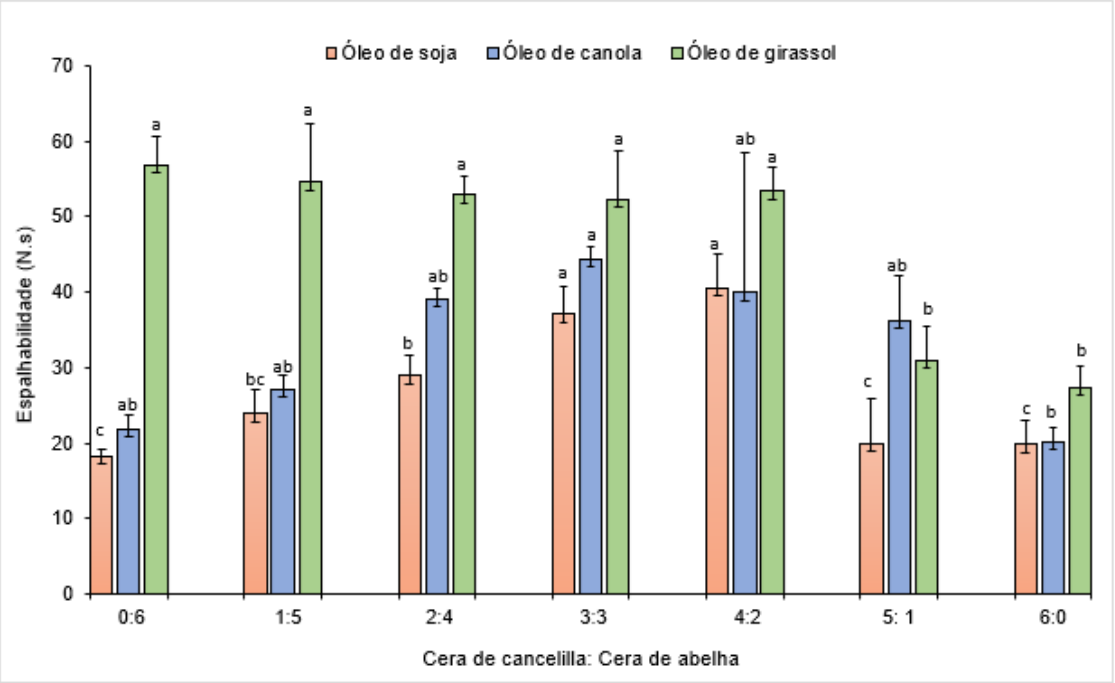
Fonte: Autoria própria, 2025.

Observa-se que a proporção 4:2 (cera de abelha:cera de candelilla) resultou em alta resistência mecânica para os três tipos de óleos avaliados, indicando a formação de uma rede tridimensional com propriedades estruturais adequadas e uma boa sinergia entre as ceras. A cera de candelilla foi a responsável por garantir os organogéis com maior dureza, devido a formação de cristais na forma de plaquetas que retém o óleo, principalmente em óleos com maior grau de ácidos graxos saturados como é o caso do óleo de soja e óleo de girassol, no caso os organogéis de óleo de girassol apresentaram maior dureza em relação aos outros óleos (Singh, Auzanneau, Rogers, 2017).

A espalhabilidade do organogel é inversamente proporcional ao valor da força necessária para deformar a amostras (Bemer *et al*., 2016). Portanto, valores mais altos indicam amostras menos espalháveis, ou seja, com maior dureza. Os resultados de espalhabilidade dos organogéis desenvolvidos podem ser analisados na Figura 3. Os organogéis de óleo de soja apresentaram valores altos, portanto, menor espalhabilidade, principalmente nas proporções intermediárias de 3:3 e 4:2. Para os organogéis de óleo de canola, as proporções 0:6, 1:5, 2:4, 3:3, 4:2 e 5:1 resultaram em amostras com alta resistência ao espalhamento. Já no óleo de girassol, as proporções no geral apresentaram maiores valores de espalhabilidade do que os demais, exceto em 5:1 e 6:0, devido a redução da quantidade de cera de candelilla. Esse parâmetro é importante para aplicação em produtos como margarinas, por ser um aspecto primordial na aceitação do produto.

A cera de candelilla foi a principal responsável pela diminuição da espalhabilidade nos organogéis formulados, pois por ser mais dura, tende a formar redes tridimensionais mais rígidas, o que pode ser observado nos resultados de dureza. Por outro lado, a cera de abelha, que possui maior plasticidade, forma redes menos rígidas, por esse motivo as proporções 5:1 e 6:0 foram no geral as que apresentaram menos valores, portanto, mais espalháveis, já que a cera de abelha confere maior capacidade de deformação e, consequentemente, aumentando a espalhabilidade e diminuindo a dureza do organogel.

Figura 3– Espalhabilidade dos organogéis elaborados com diferentes óleos e combinação de ceras



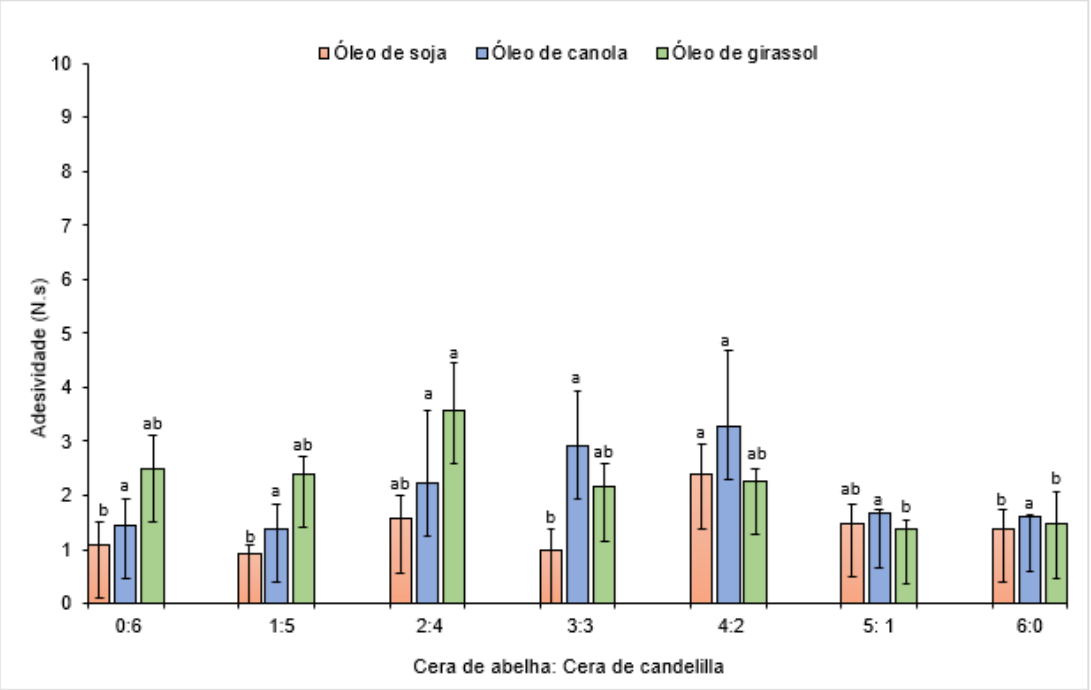
Letras iguais nas barras de mesma cor não diferem significativamente entre as amostras ($p > 0,05$) pelo teste Tukey (n = 3); n: número de repetições; CA: cera de abelha; CC: cera de candelilla.

Fonte: Autoria própria, 2025.

Em relação a adesividade (Figura 4), ou seja, a capacidade de aderência a superfícies, o que é comparado ao "grudar" do material nos palatos e dentes quando ingerido (Liu; Cao; Liu, 2019). Quanto maior área negativa, menor a adesividade e isso significa que o material apresenta menor aderência a superfície, o que pode ser desejável ou não, dependendo da aplicação. Os organogéis de óleo de soja apresentaram valores relativamente baixos em todas as proporções, exceto a 4:2 e 5:1 que foram consideradas as menos adesivas. O óleo de canola apresentou valores estatisticamente iguais (>0,05) para todas concentrações de cera. Já o óleo de girassol apresentou maior adesividade nas amostras 5:1 e 6:0.

A baixa adesividade observada nos organogéis de óleo de soja pode ser explicada pela interação do óleo, que apresenta maior teor de ácidos graxos em sua composição em comparação com os outros óleos utilizados, o que favorece a interação com as ceras, consequentemente, a formação de rede tridimensional mais coesa e firme. Como resultado, há um aumento da dureza do material e uma menor aderência às superfícies. Já o óleo de girassol possui maior teor de ácidos graxos poliinsaturados, o que dificulta a interação com as ceras, portanto, nas proporções mais altas de cera de abelha(5:1 e 6:0), pode ter ocorrido a formação de redes menos coesas, o que favorece a aderência a superfícies, aumentando a adesividade.

Figura 4- Adesividade dos organogéis elaborados com diferentes óleos e combinação de ceras



Letras iguais nas barras de mesma cor não diferem significativamente entre as amostras (p >0,05) pelo teste Tukey (n = 3). CA: cera de abelha; CC: cera de candelilla.

Fonte: Autoria própria, 2025.

5.4 PROPRIEDADES REOLÓGICAS

As análises reológicas em produtos com gorduras são essenciais para o conhecimento das propriedades de viscosidade e comportamento de escoamento dos materiais a serem desenvolvidos para aplicação em alimentos. Dessa forma, os resultados obtidos permitem prever o potencial de uso dos organogéis desenvolvidos nesta pesquisa em diferentes produtos alimentícios.

5.4.1 Curva de escoamento

O modelo de Herschel-Buckley ajustou-se adequadamente aos dados da curva de escoamento obtida para os organogéis de óleo de soja, canola e girassol, demonstrando o comportamento de fluido pseudoplástico com tensão residual, conforme pode ser visualizado nas Tabelas (3,4 e 5) e Figura 5 (A, B e C). Isso significa que essas amostras requerem uma força mínima para iniciar o fluxo e, uma vez superada essa força, sua viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento aplicada (Mathis *et al.*,2013).

Tabela 3-Parâmetros reológicos obtidos para os organogéis de óleo de canola através do ajuste do modelo de Herschel-Bulckley

OC CA:CC (m/m)	τ_0 (Pa. s)	K (Pa.s^n)	η (Pa. s)	n	Pr > t	R^2	Root MSE
0:6	1,829±0,067^{bc}	0,490±0,035^{a}	0,275±0,020^{bc}	0,774±0,011^{ab}	<.0001	0,9997	0,215
1:5	1,065±1,131^{c}	0,809±0,180^{a}	0,288±0,025^{bc}	0,692±0,005^{b}	<.0001	0,9986	0,44
2:4	3,491±1,193^{b}	0,564±0,249^{a}	0,377±0,195^{abc}	0,789±0,072^{ab}	<.0001	0,9998	0,182
3:3	6,037±0,339^{a}	1,281±0,219^{a}	0,710±0,037^{ab}	0,742±0,021^{ab}	<.0001	0,9993	0,669
4:2	8,080±0,706^{a}	1,390±0,530^{a}	0,754±0,139^{a}	0,691±0,004^{b}	<.0001	0,9994	0,469
5:1	2,618±0,222^{bc}	0,438±0,002^{a}	0,292±0,016^{bc}	0,796±0,011^{ab}	<.0001	0,9999	0,143
6:0	1,811±0,384^{bc}	0,292±0,183^{a}	0,290±0,100^{c}	0,833±0,011^{a}	<.0001	0,9998	0,142

média ± desvio padrão, letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre as amostras (p >0,05) pelo teste Tukey (n = 3); τ_0: tensão inicial; k: Índice de consistência; n: Índice de comportamento, η: viscosidade aparente, R^2: Coeficiente de determinação; Root MSE: raiz quadrada do erro médio; PR>t: valor p; OC: óleo de canola; CA: cera de abelha; CC: cera de candelilla.

Tabela 4- Parâmetros reológicos obtidos para os organogéis de óleo de girassol através do ajuste do modelo de Herschel-Buckley

OG CA:CC (m/m)	τ_0 (Pa. s)	K (Pa.s^n)	η (Pa. s)	n	Pr > t	R^2	Root MSE
0:6	2,751±0,020^{ab}	0,620±0,143^{ab}	0,349±0,058^{bcd}	0,745±0,003^{a}	<.0001	0,999	0,339
1:5	2,901±0,451^{ab}	0,813±0,152^{ab}	0,427±0,010^{bc}	0,753±0,029^{a}	<.0001	0,999	0,534
2:4	4,738±1,400^{ab}	1,621±0,615^{a}	0,659±0,017^{a}	0,668±0,068^{a}	<.0001	0,998	0,880
3:3	5,135±0,998^{a}	0,940±0,072^{ab}	0,499±0,043^{ab}	0,695±0,020^{a}	<.0001	0,999	0,534
4:2	5,518±0,542^{a}	0,585±0,432^{ab}	0,428±0,051^{bc}	0,732±0,118^{a}	<.0001	1,000	0,151
5:1	1,547±0,931^{b}	0,473±0,198^{ab}	0,237±0,011^{d}	0,747±0,084^{a}	<.0001	1,000	0,186
6:0	2,169±0,297^{ab}	0,382±0,056^{b}	0,286±0,046^{bcd}	0,843±0,006^{a}	<.0001	1,000	0,197

média ± desvio padrão, letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre as amostras (p >0,05) pelo teste Tukey (n = 3); τ_0: tensão inicial; k: Índice de consistência; n: Índice de comportamento, η: viscosidade aparente, R^2: Coeficiente de determinação; Root MSE: raiz quadrada do erro médio; PR>t: valor p; OG: óleo de girassol; CA: cera de abelha; CC: cera de candelilla.

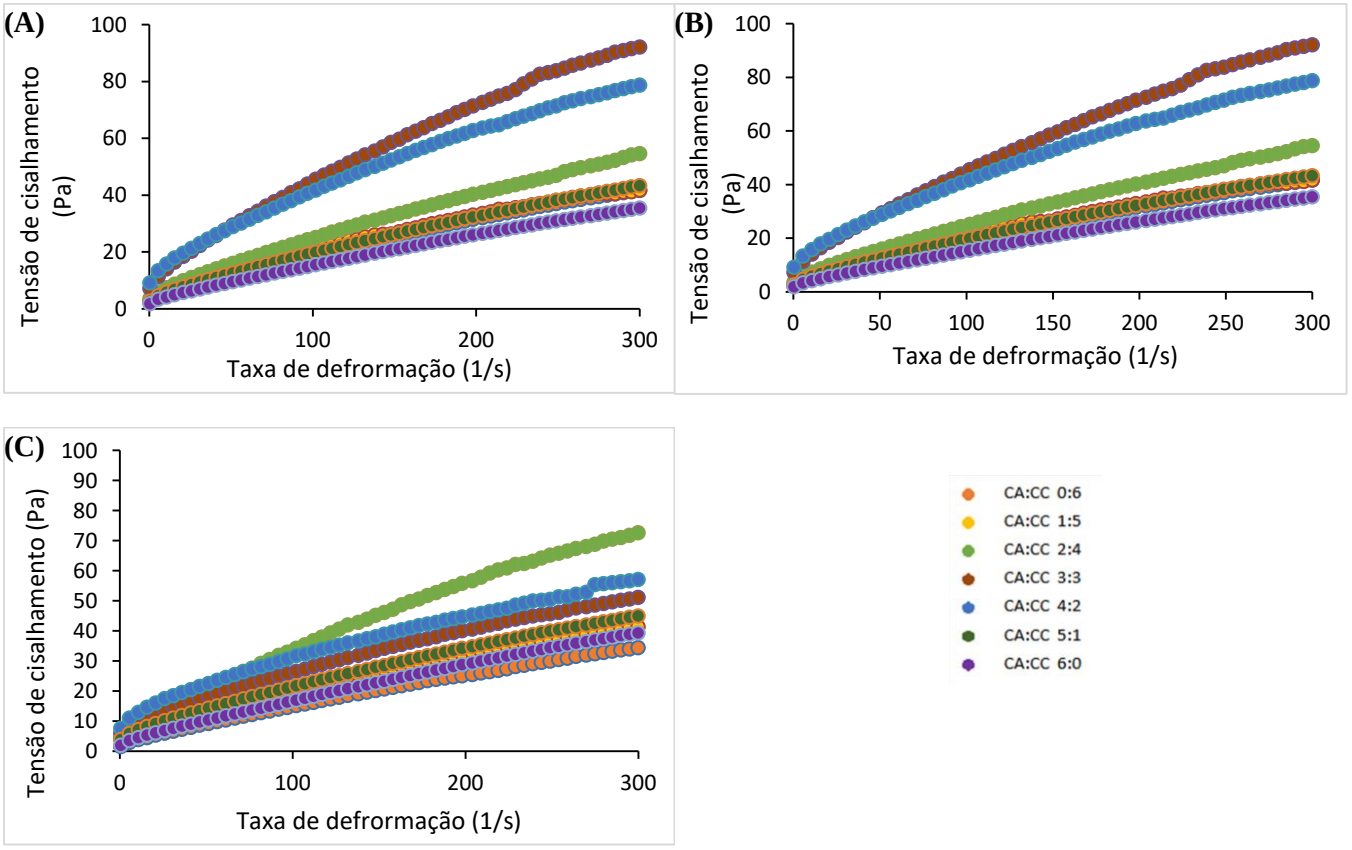
Tabela 5- Parâmetros reológicos obtidos para os organogéis de óleo de soja através do ajuste do modelo de Herschel-Bulckley

OS CA:CC (m/m)	τ_0 (Pa. s)	K (Pa.s^n)	η (Pa. s)	n	Pr > t	R^2	Root MSE
0:6	1,515±0,061^{e}	0,319±0,108^{a}	0,207±0,024^{c}	0,819±0,047^{a}	<.0001	1,000	0,135
1:5	3,641±0,914^{dc}	0,637±0,086^{a}	0,367±0,055^{abc}	0,718±0,014^{a}	<.0001	0,999	0,254
2:4	2,470±0,084^{edc}	1,049±0,067^{a}	0,482±0,011^{abc}	0,740±0,007^{a}	<.0001	0,999	0,650
3:3	5,791±0,245^{ab}	0,753±0,132^{a}	0,496±0,004^{ab}	0,720±0,028^{a}	<.0001	1,000	0,251
4:2	7,655±0,133^{a}	1,056±0,887^{a}	0,598±0,148^{a}	0,674±0,108^{a}	<.0001	0,999	0,387
5:1	3,767±0,253^{c}	0,514±0,078^{a}	0,359±0,031^{abc}	0,770±0,016^{a}	<.0001	1,000	0,162
6:0	2,160±0,330^{ed}	0,287±0,067^{a}	0,244±0,041^{bc}	0,855±0,015^{a}	<.0001	1,000	0,156

média ± desvio padrão, letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre as amostras (p > 0,05) pelo teste Tukey (n = 3); τ_0: tensão inicial; k: Índice de consistência; n: Índice de comportamento, η: viscosidade aparente, R^2: Coeficiente de determinação; Root MSE: raiz quadrada do erro médio; PR>t: valor p; OS: óleo de soja; CA: cera de abelha; CC: cera de candelilla.

Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 5- Curva de escoamento dos organogéis de óleo de canola (A), óleo de girassol (B) e óleo de soja (C).CA: Cera de abelha;CC: Cera de candelilla.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Os óleos vegetais apresentam-se como fluido newtoniano (dados não mostrados),

entretanto, a adição dos agentes estruturantes é o fator responsável pela mudança de comportamento para pseudoplástico, já que os estruturantes (cera de candelilla e cera de abelha) são capazes de reter o óleo líquido e aumentar o teor de sólidos (Barbosa, 2018), o que foi observado em todas as formulações desenvolvidas.Os organogéis geralmente apresentam comportamento pseudoplástico, pois é necessário o rompimento da estrutura para que o fluido possa escoar, comportamento desejável em alimentos.

Em relação aos organogéis de óleo de canola (Tabela 3 e Figura 5A), as amostras que apresentaram maior tensão residual foram 3:3 e 4:2, as quais são semelhantes estatisticamente, ou seja, organogéis com maior estabilidade mecânica. As demais proporções(0:6,1:5,2:4,5:1 e 6:0) são semelhantes estatisticamente, somente apresentaram diferenças significativas em relação as proporções 3:3 e 4:2. Em relação ao índice de consistência, não houve diferença estatística significativa ($p>0,05$) entre as amostras. As viscosidades aparentes das amostras foram muito semelhantes entre si. Lim, Hwang e Lee (2017) investigaram a estruturação do óleo de canola com diferentes ceras(cera de abelha, cera de carnaúba e cera de abelha),e, os organogéis que apresentaram os maiores valores de dureza, ou seja, maior tensão residual, foram os organogéis com cera de candelilla.Portanto, a adição da cera de candelilla é responsável pela formação de um gel mais firme e estável, o que explica os resultados obtidos para tensão residual e dureza.

Os organogéis à base de óleo de girassol (Tabela 4 e Figura 5B) apresentaram alta tensão inicial em quase todas as proporções, exceto na proporção 5.1. De maneira semelhante, o índice de consistência seguiu o mesmo padrão, exceto na proporção 6:0. Não foi observada diferença significativa ($p>0,05$) na viscosidade aparente. No estudo realizado por Frolova *et al*.(2022),foi investigada a influência do tipo de óleo sobre as propriedades de organogéis com 6% de cera de abelha em diferentes tipos de óleos, demonstrando que a resistência mecânica e formação de cristais nos organogéis são diretamente afetadas pelo tipo de óleo utilizado. No caso do óleo de girassol, os organogéis produzidos apresentaram características plásticas e espalháveis, ou seja, menor tensão inicial de escoamento e menor índice de consistência, assim como foi observado no presente estudo. Portanto, os organogéis à base de óleo de girassol na proporção 5:1, podem ser utilizados para aplicação em produtos alimentícios em que é desejável géis menos estruturados.

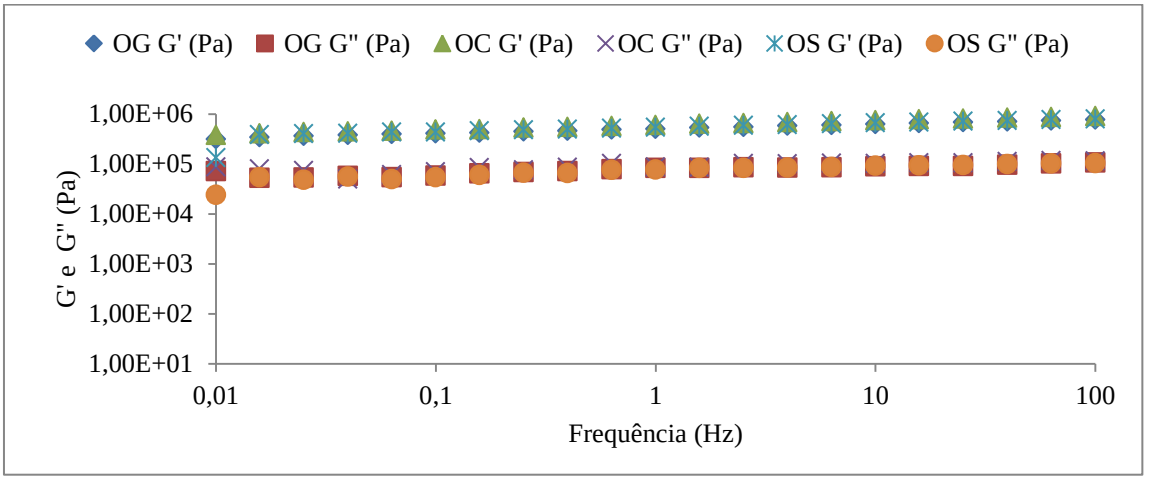
Para os organogéis de óleo de soja (Tabela 5 e figura 5C), a proporção de 4:2 apresentou maior tensão residual. Em relação ao índice de consistência e viscosidade aparente não foram observadas diferenças significativas ($p>0,05$). De maneira similar, o estudo de

Mandu (2018) demonstrou que a cera de candelilla quando utilizada no óleo de soja, contribui para a formação de cristais e a rede tridimensional que define a estrutura do organogel e a combinação da cera de candelilla com outros agente estruturantes pode ser promissora garantindo a formação de um gel mais estável e com melhores propriedades sensoriais, portanto, isso pode explicar os melhores resultados nas concentrações em que as ceras são combinadas.

5.4.2 Varredura de frequência

A varredura de frequência foi realizada para os organogéis que apresentaram maior dureza(óleo de canola 4:2, óleo de soja 4:2 e óleo de girassol 4:2) a fim de avaliar o comportamento estrutural do material por meio dos módulos de armazenamento G’ e de dissipação G’’ em função da variação da frequência (Hz). A Figura 6, apresenta os organogéis e seus módulos de armazenamento e perda em baixas deformações. Em todas condições testadas, foi observado que G’ > G’’, na frequência de 10 Hz, indicando que os três organogéis analisados apresentaram comportamento de sólidos elásticos (Barbosa, 2018). Quando G’’ > G’, o sistema demonstra comportamento de líquido viscoso, enquanto se G’ > G’’ caracteriza o comportamento de um sólido elástico, tal como um gel (Cruz et al., 2008).

Figura 6- Avaliação da varredura de frequência dos organogéis a 25 ºC, analisados através dos dados de módulo de armazenamento (G’) e dissipação (G”), em função da frequência (Hz). OC: óleo de canola; OS: óleo de soja; OG: óleo de girassol; G’’: módulo de dissipação; G’: módulo de armazenamento.



Fonte: Autoria própria,2025.

A classificação do comportamento do gel como “forte” ou “fraco” depende dos módulos de tensão, sendo assim, para ser classificado como ‘’forte”, o G’ deve sempre

apresentar valores maiores na faixa de frequência avaliada, porém isso tende a ocorrer independe da oscilação de frequência. Já géis “fracos” possuem maior dependência da frequência, portanto, pode ocorrer relaxação em escalas de curta duração, o que indica a recuperação de uma parte da energia armazenada (Rao, 1999). Então, os organogéis analisados acima podem ser classificados como gel “forte”, já que é visualizado maior distanciamento entre G’ e G’’, ou seja, maior G’, com pouca interferência da variação da frequência. Conclui-se que as três amostras analisadas são organogéis fortes, com dureza considerável e caracterizados pela formação de redes cristalinas fortes.

A composição dos ácidos graxos nos óleos pode afetar a resistência dos géis (Frolova *et al.*,2022), influenciando os resultados obtidos na varredura de frequência. Os óleos vegetais com maior teor de ácidos graxos insaturados como o óleo de canola, promove maior flexibilidade na conformação molecular e aumenta o volume molar, o que proporciona um arranjo especial mais distorcido, o qual reduz a energia de interação entre as moléculas. Esse comportamento promove maior hidrofobicidade do óleo, o que favorece mais pontos de ligação com agente estruturante, consequentemente, resulta em géis mais fortes (Cabrera, Rojas, Moreno, 2020), portanto, essa característica dos óleos vegetais pode influenciar nos resultados da varredura de frequência. Entretanto, não foi possível evidenciar uma diferença efetiva entre os diferentes tipos de óleo a partir do gráfico resultante da análise.

6. CONCLUSÃO

A adição de cera de candelilla combinada com a cera de abelha resultou em organogéis com maior dureza e menor liberação de óleo, ou seja, maior estabilidade devido à alta dispersão dos cristais cera na fase líquida ocasionado pela adição da cera de candelilla. Quanto aos parâmetros de dureza, a proporção de 4:2 (cera de abelha para cera de candelilla) se destacou, apresentando alta resistência mecânica e tensão inicial. Dentre os organogéis testados, os de óleo de soja, canola e girassol, com essa proporção de ceras, se mostraram os mais promissores, com características de sólidos elásticos e formação de redes cristalinas robustas, alinhados a um possivel melhor sensorial na boca. Na avaliação reológica, os organogéis foram classificados como fluidos pseudoplásticos com tensão residual, o que é comportamento típico e esperado em organogéis. Portanto, esse organogéis podem ser utilizados em alimentos que precisam de estrutura firme e resistência ao derretimento ou deformação, por exemplo, sorvetes e manteigas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOLMALEKI, Khadije; ALIZADEH, Leyla; NAYEBZADEH, Kooshan; BARANOWSKA, Hanna Maria; KOWALCZEWSKI, Przemysław Łukasz; MOUSAVI KHANEGHAH, Amin. Potential application of hydrocolloid-based oleogel and beeswax oleogel as partial substitutes of solid fat in margarine. **Applied Sciences,** Basel, v. 12, n. 23, p. 12136, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/app122312136. Acesso em: 12 abr. 2025.

AIROLDI, Rafaela; DA SILVA, Thais Lomonaco Teodoro; RACT, Juliana Neves Rodrigues; FOGUEL, Aline; COLLERAN, Heather L.; IBRAHIM, Salam A.; DA SILVA, Roberta Claro. Potential use of carnauba wax oleogel to replace saturated fat in ice cream. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 99, n. 11, p. 1085–1099, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1002/aocs.12652. Acesso em: 11 abr. 2025.

ALIMENTARIUS, Codex. Codex standard for named vegetable oils. **Codex stan**, v. 210, p. 1-13, 1999.

ÁLVAREZ-MITRE, F. M.; MORALES-RUEDA, J. A.; DIBILDOX-ALVARADO, E.; CHARÓ-ALONSO, M. A.; TORO-VAZQUEZ, J. F. Shearing as a variable to engineer the rheology of candelilla wax organogels. **Food Research International,** v. 49, n. 1, p. 580–587, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.025. Acesso em: 11 abr. 2025.

AVENDAÑO-VÁSQUEZ, G.; CHÁVEZ-ALFARO, O. M.; VARGAS-GARCÍA, K. A.; VARELA-SANTOS, E. D. C.; BUSTOS-RAMÍREZ, K. Study of textural properties Frankfurter's sausages modified with candelilla wax oleogel**. Agro Productividad**, v. 17, n. 7, p. 181–187, 2024. Disponível em: https://revistas-colpos.mx/agroproductividad/article/view/3046. Acesso em: 11 abr. 2025.

BARBOSA, Karina Martins. **Obtenção e caracterização de sistemas lipídicos à base de óleo de soja utilizando a tecnologia de organogéis**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em: https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1009822. Acesso em: 11 abr. 2025.

BEMER, H. L.; LIMBAUGH, M.; CRAMER, E. D.; HARPER, W. J.; MALEKY, F. Vegetable organogels incorporation in cream cheese products. **Food Research International**, v. 85, p. 67–75, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.016. Acesso

em: 11 abr. 2025.

BLAKE, Alexia I.; CO, Edmund D.; MARANGONI, Alejandro G. Structure and physical properties of plant wax crystal networks and their relationship to oil binding capacity. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, [S.l.], v. 91, n. 6, p. 885–903, 2014. DOI: 10.1007/s11746-014-2435-0. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11746-014-2435-0. Acesso em: 11 abr. 2025.

BOGDANOV, Stefan. Beeswax: Production, properties, composition, and control. **Bee Product Science**, Muehlethurnen, 2016. Disponível em: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=69652e92ffbb047dafa1b4142651f6a98a4c7a54. Acesso em: 11 abr. 2025.

BRANCALLION NETO, Oswaldo**. Substituintes de gordura trans em alimentos processados**. 2022. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2022. Disponível em: https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/7758/1/Osvaldo%20Brancallion%20Neto%20-%202022.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC n.º 326, de 3 de dezembro de 2019. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 dez. 2019. Seção 1, p. 95. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-326-de-3-de-dezembro-de-2019-231272617. Acesso em: 2 mar. 2025.

BRASIL**.** Resolução da diretoria colegiada - RDC n. 332, de 23 de dezembro de 2019. Define os requisitos para uso de gorduras trans industriais em alimentos. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br. Acesso em: 11 abr. 2025.

CABRERA, S.; ROJAS, J.; MORENO, A. Oleogels and their contribution in the production of healthier food products: the fats of the future. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 8, n. 4, p. 10, 2020.Disponível em: https://pubs.sciepub.com/jfnr/8/4/3/index.html.Acesso em: 28 abr. 2025.

CHAVES, K. F.; BARRERA-ARELLANO, D.; RIBEIRO, A. P. B. Potential application of lipid organogels for food industry**. Food Research International**, v. 105, p. 863-872, 2018. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.020.Acesso em: 10 abr.2025.

CHAVES, Kamila Ferreira; SILVA, Thaís Jordânia; DOMINGUES, Maria Aliciane Fontenele; BARRERA-ARELLANO, Daniel; RIBEIRO, Ana Paula Badan. Conventional and unconventional crystallization mechanisms. In: GLEBOVSKY, Vadim (Ed.). **Crystal Growth.** London: IntechOpen, 2019. p. 1-22. DOI: 10.5772/intechopen.82347. Disponível em: https://www.intechopen.com/chapters/64633. Acesso em: 11 abr. 2025.

CHAVES, Kamila Ferreira. **Desenvolvimento de organogéis para aplicação em spreads de chocolate = Development of organogels for chocolate spreads application**. 2019. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019. Disponível em: https://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/1129093. Acesso em: 11 abr. 2025.

CO, Edmund Daniel; MARANGONI, Alejandro G. Organogels: an alternative edible oil-structuring method. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 89, n. 5, p. 749–780, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11746-012-2021-x.Acesso em: 9 abr. 2025.

CRUZ, S. A.; FARAH, M.; ZANIN, M.; BRETAS, R. E. S. Avaliação das propriedades reológicas de blendas de PEAD virgem/PEAD reciclado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 144–151, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/j/po/a/KrFcZHR5fM9zPRwd5ZLt9Dd/. Acesso em: 11 abr. 2025.

DAVIDOVICH-PINHAS, M.; BARBUT, S.; MARANGONI, A. G. The role of surfactants on ethylcellulose oleogel structure and mechanical properties. **Carbohydrate Polymers,** v. 127, p. 355–362, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.085.Acesso em: 9 abr. 2025.

DHAKA, Vandana; GULIA, Neelam; AHLAWAT, Kulveer Singh; KHATKAR, Bhupender Singh. Trans fats—sources, health risks and alternative approach: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 5, p. 534–541, 2011. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-010-0225-8. Acesso em: 11 abr. 2025.

DOAN, Diem Chi; PATEL, Ashok R.; TAVERNIER, Iris; DE CLERCQ, Nathalie; VAN RAEMDONCK, Kevin; VAN DE WALLE, Davy; DELBAERE, Claudia; DEWETTINCK, Koen. The feasibility of wax-based oleogel as a potential co-structurant with palm oil in low-saturated fat confectionery fillings. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 118, n. 12, p. 1903–1914, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ejlt.201500172. Acesso em: 11 abr. 2025.

DOAN, Diem Chi; TO, Chak Ming; DE VRIEZE, Mike; LYNEN, Frederic; DANTHINE, Sabine; BROWN, Allison; DEWETTINCK, Koen; PATEL, Ashok R. Chemical profiling of the major components in natural waxes to elucidate their role in liquid oil structuring. **Food Chemistry**, v. 214, p. 717–725, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.123. Acesso em: 11 abr. 2025.

DOAN, Chi Diem; TAVERNIER, Iris; OKURO, Paula Kiyomi; DEWETTINCK, Koen. Internal and external factors affecting the crystallization, gelation and applicability of wax-based oleogels in food industry. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 132, p. 98–113, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.019. Acesso em: 12 abr. 2025.Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.023. Acesso em: 11 abr. 2025

DONG, L.; LV, M.; GAO, X.; ZHANG, L.; ROGERS, M.; CAO, Y.; LAN, Y. In vitro gastrointestinal digestibility of phytosterol oleogels: influence of self-assembled microstructures on emulsification efficiency and lipase activity. **Food Function**, v. 11, p. 9503–9513, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1039/D0FO01642J. Acesso em: 11 abr. 2025.

FERRO, Ana Caroline; DE SOUZA PAGLARINI, Camila; POLLONIO, Marise A. R.; CUNHA, Rosiane Lopes. Oleogéis à base de monostearato de glicerila como novo substituto de gordura em emulsão cárnea. **Meat Science**, v. 174, p. 108424, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108424. Acesso em: 11 abr. 2025.

FLÖTER, E.; WETTLAUFER, T.; CONTY, V.; SCHARFE, M. Oleogels—their applicability and methods of characterization. **Molecules**, v. 26, n. 6, p. 1673, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/molecules26061673. Acesso em: 11 abr. 2025.

FOREZI, Luana da S. M.; HÜTHER, Cristina M.; FERREIRA, Patricia G.; PORTELLA, Danielle P.; GONZAGA, Daniel T. G.; DA SILVA, Fernando de C.; FERREIRA, Vitor F. Aqui tem Química: Parte V. Ceras Naturais. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 5, 2022. Disponível em: https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/4337. Acesso em: 11 abr. 2025.

FROLOVA, Y.; SARKISYAN, V.; SOBOLEV, R.; MAKARENKO, M.; SEMIN, M.; KOCHETKOVA, A. The influence of edible oils' composition on the properties of beeswax-based oleogels. **Gels**, v. 8, n. 1, p. 48, 2022.Disponível em:

https://doi.org/10.3390/gels8010048.Acesso em: 28 abr. 2025.

GAO, Yanlei; LI, Minghua; ZHANG, Li; WANG, Zhuo; YU, Qunli; HAN, Ling. Preparation of rapeseed oil oleogels based on beeswax and its application in beef heart patties to replace animal fat. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 356, p. 129694, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643821011397. Acesso em: 12 abr. 2025.

GARCIA, R. K. A.; GANDRA, K. M.; BARRERA-ARELLANO, D. Development of a zero trans margarine from soybean-based interesterified fats formulated using artificial neural networks**. Grasas y Aceites**, v. 64, n. 5, p. 521–530, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.3989/gya.083013.. Acesso em: 11 abr. 2025.

GEORGE, Mathew; WEISS, Richard G. Molecular organogels. Soft matter comprised of low-molecular-mass organic gelators and organic liquids. **Accounts of Chemical Research**, v. 39, n. 8, p. 489–497, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1021/ar0500923. Acesso em: 11 abr. 2025.

GIOIELLI, Luiz Antonio. Óleos e gorduras vegetais: composição e tecnologia**. Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 5, n. 2, p. 211–232, 1996. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-695X1996000200008. Acesso em: 6 maio 2025.

GODOI FERNANDES, Kamila Ramponi Rodrigues de. **Desenvolvimento e caracterização de organogéis a partir de óleo de soja com diferentes estruturantes lipídicos.** 2017. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017. Disponível em: https://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/1129093. Acesso em: 11 abr. 2025.

GODOI, Kamila Ramponi Rodrigues de; BASSO, Rodrigo Corrêa; MING, Chiu Chih; SILVA, Vanessa Martins da; CUNHA, Rosiane Lopes da; BARRERA-ARELLANO, Daniel; RIBEIRO, Ana Paula Badan. Physicochemical and rheological properties of soybean organogels: Interactions between different structuring agents. **Food Research International**, [S. l.], v. 139, p. 109904, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109904. Acesso em: 12 abr. 2025.

HOLANDA, Camila de Araújo. **Aplicação de tecnologia de oleogéis com óleo de girassol e cera de abelha na produção de gelado comestível à base de leite**. 2022. 51 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76846. Acesso em: 11

abr. 2025.

HONG, S.; KIM, M. J.; PARK, S.; LEE, S.; LEE, J.; LEE, J. Effects of hydrogen-donating or metal-chelating antioxidants on the oxidative stability of organogels made of beeswax and grapeseed oil exposed to light irradiation. **Journal of Food Science**, v. 83, n. 4, p. 885–891, 2018. Disponível em: https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.14085. Acesso em: 11 abr. 2025.

LAREDO, T.; BARBUT, S.; MARANGONI, A. G. Molecular interactions of polymer oleogelation. **Soft Matter**, v. 7, n. 6, p. 2734–2743, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1039/C0SM00885K. Acesso em: 11 abr. 2025.

LIM, Jeongtaek; HWANG, Hong-Sik; LEE, Suyong. Oil-structuring characterization of natural waxes in canola oil oleogels: Rheological, thermal, and oxidative properties. **Applied Biological Chemistry**, v. 60, p. 17-22, 2017.Disponível em: https://doi.org/10.1007/s13765-016-0243-y.Acesso em: 28 abr. 2025.

LIU, Yi-Xiang; CAO, Min-Jie; LIU, Guang-Ming. Texture analyzers for food quality evaluation. In: **Evaluation Technologies for Food Quality**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019. p. 441–463. Disponível em: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00017-2. Acesso em: 11 abr. 2025.

MANDU, Camila Cordeiro. **Efeito da adição de emulsificantes industriais em organogéis de óleo de soja com cera de candelilla**. 2018. 1 recurso online (81 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: https://hdl.handle.net/20.500.12733/1640483. Acesso em: 28 abr. 2025.

MANZOOR, Shaziya; MASOODI, F. A.; NAQASH, Farah; RASHID, Rubiya. Oleogels: Promising alternatives to solid fats for food applications. **Food Hydrocolloids for Health**, v. 2, p. 100058, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100058. Acesso em: 11 abr. 2025.

MARÇOLA, Sabrina Mayumi Antoniazzi; MARTINS, Izabelle Cremaschi Kasuwa; BURANELLO, Catharina Paula; SOUZA, Emilly Julia; SANTOS, Patrícia Daniele Silva; SAQUETI, Bruno Henrique Figueiredo; SANTOS, Oscar Oliveira. Desenvolvimento de organogéis de óleo de canola utilizando monoestearato de sorbitano: qual é a influência de diferentes concentrações? **Revista Virtual de Química**, v. 16, n. 4, 2024. Disponível em:

https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/4699. Acesso em: 11 abr. 2025.

MARTINS, Artur J.; VICENTE, António A.; CUNHA, Rosiane L.; CERQUEIRA, Miguel A. Edible oleogels: An opportunity for fat replacement in foods. **Food & Function**, v. 9, n. 2, p. 758–773, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1039/C7FO01641G. Acesso em: 11 abr. 2025.

MARTINS, A. J.; VICENTE, A. A.; PASTRANA, L. M.; CERQUEIRA, M. A. Oleogels for development of health-promoting food products. **Food Science and Human Wellness**, v. 9, p. 31–39, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.01.001. Acesso em: 11 abr. 2025.

MARTINS, Artur J.; CERQUEIRA, Miguel Ângelo; FASOLIN, Luiz H.; CUNHA, Rosiane L.; VICENTE, António A. Beeswax organogels: Influence of gelator concentration and oil type in the gelation process. **Food Research International**, v. 84, p. 170–179, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.035. Acesso em: 11 abr. 2025.

MATHIAS, T. R. D. S.; ANDRADE, K. C. S.; ROSA, C. L. D. S.; SILVA, B. A. Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, p. 12–20, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bjft/a/rkXkmkYX9LjQPrp3kxfhzDS/. Acesso em: 7 maio 2025.

MERT, Behic; DEMIRKESEN, Ilkem. Evaluation of highly unsaturated oleogels as shortening replacer in a short dough product. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 477–484, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643815304205. Acesso em: 12 abr. 2025.

MIYAMOTO, Josiane Érica; FERREZ, Ana Carolina G.; PORTOVEDO, Mariana; REGINATO, Andressa; STAHL, Marcella Aparecida; IGNACIO-SOUZA, Leticia Martins; CHAN, Kenny L.; TORSONI, Adriana Souza; TORSONI, Marcio Alberto; RIBEIRO, Ana Paula Badan; MILANSKI, Marciane. Interesterified soybean oil promotes weight gain, impaired glucose tolerance and increased liver cellular stress markers**. The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 59, p. 153–159, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955286317305156. Acesso em: 12 abr. 2025.

MORALES-RUEDA, Juan A.; DIBILDOX-ALVARADO, Elena; CHARÓ-ALONSO, Miriam A.; WEISS, Richard G.; TORO-VÁZQUEZ, Jorge F. Thermo-mechanical properties of candelilla wax and dotriacontane organogels in safflower oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 111, n. 2, p. 207–215, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ejlt.200810174. Acesso em: 12 abr. 2025.

OKURO, Paula K.; GOMES, Andresa; CUNHA, Rosiane L. Hybrid oil-in-water emulsions applying wax(lecithin)-based structured oils: Tailoring interface properties**. Food Research International**, v. 138, p. 109798, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109798. Acesso em: 11 abr. 2025.

OLIVEIRA, N. A. **Síntese e caracterização de catalisadores de níquel suportados em sílica mesoporosa altamente ordenada para hidrogenação de óleos vegetais.** 2008. 124 p. Dissertação (Mestre em Química Analítica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/001681560. Acesso em: 11 abr. 2025.

PATEL, A. R. Alternative Routes to Oil Structuring. In: **HARTEL,** R. W. (ed.). Springer. 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19138-6. Acesso em: 11 abr. 2025.

PATEL, A. R.; DEWETTINCK, K. Comparative evaluation of structured oil systems: Shellac oleogel, HPMC oleogel, and HIPE gel. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 117, p. 1772-1781, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ejlt.201500212. Acesso em: 11 abr. 2025.

PATEL, Ashok R.; NICHOLSON, Reed A.; MARANGONI, Alejandro G. Applications of fat mimetics for the replacement of saturated and hydrogenated fat in food products. **Current Opinion in Food Science**, v. 33, p. 61–68, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.008. Acesso em: 12 abr. 2025.

PATEL, Ashok R. A colloidal gel perspective for understanding oleogelation**. Current Opinion in Food Science**, v. 15, p. 1–7, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.02.013. Acesso em: 12 abr. 2025.

PERNETTI, M.; VAN MALSSEN, K. F.; FLÖTER, E.; BOT, A. Structuring of edible oils by alternatives to crystalline fat. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 12, n. 4–5, p. 221–231, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cocis.2007.07.002. Acesso em: 11 abr. 2025.

PINHO, D. M. M.; SUAREZ, P. A. Z**.** A hidrogenação de óleos e gorduras e suas aplicações industriais. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 5, n. 1, p. 47–62, 2013. Disponível em: https://www.rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/476. Acesso em: 11 abr. 2025.

POPOVICI, V.; BUCUR, L.; GÎRD, C. E.; RAMBU, D.; CALCAN, S. I.; CUCOLEA, E. I.; COSTACHE, T.; UNGUREANU-IUGA, M.; OROIAN, M.; MIRONEASA, S.; SCHRÖDER, V.; OZON, E.; LUPULIASA, D.; CARAIANE, A.; BADEA, V. Antioxidant, cytotoxic, and rheological properties of canola oil extract of *Usnea barbata* (L.) Weber ex F.H*. **Wigg from Călimani Mountains, Romania. Plants***, [S. l.], v. 11, n. 7, p. 854, 2022. DOI: 10.3390/plants11070854. Disponível em: https://www.mdpi.com/2223-7747/11/7/854. Acesso em: 11 abr. 2025.

PUȘCAȘ, Andreea; MUREȘAN, Vlad; SOCACIU, Carmen; MUSTE, Sevastița. Oleogels in Food: A Review of Current and Potential Applications. **Foods**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 70, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/foods9010070. Acesso em: 12 abr. 2025.

RAO, M. A. Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications. Maryland: Aspen Publishers Inc., 1999. 433 p.

RIBEIRO, Ana Paula Badan; MASUCHI, Monise Helen; GRIMALDI, Renato; GONÇALVES, Lireny Aparecida Guaraldo. Interesterificação química de óleo de soja e óleo de soja totalmente hidrogenado: influência do tempo de reação. **Química Nova**, [S. l.], v. 32, n. 4, p. 1023–1027, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400021. Acesso em: 12 abr. 2025.

RIBEIRO, Ana Paula Badan; MOURA, Juliana Maria Leite Nóbrega de; GRIMALDI, Renato; GONÇALVES, Lireny Aparecida Guaraldo. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras zero trans. **Química Nova**, [S. l.], v. 30, n. 5, p. 1295–1300, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000500043. Acesso em: 12 abr. 2025.

ROCHA, Julio Cesar Barbosa; LOPES, Julice Dutra; MASCARENHAS, Maria Cristina Nucci; ARELLANO, Daniel Barrera; GUERREIRO, Lizielle Maria Ricardo; DA CUNHA, Rosiane Lopes. Propriedades térmicas e reológicas de organogéis formados por cera de cana-de-açúcar ou candelila em óleo de soja. **Food Research International**, [S. l.], v. 50, n. 1, p. 318–323, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.043. Acesso em: 12

abr. 2025.

RODRIGUES, Robson**. Extração, refino e hidrogenação de óleos e gorduras**. 2014. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA, Assis, 2014. Disponível em: https://cepein1.fema.edu.br/extrafema/buscarTccCurso.jsp?id=1651. Acesso em: 11 abr. 2025.

RODRIGUES, Thuanny Silva; CASTEJON, Letícia Vieira. Pesquisas e publicações sobre o processo de hidrogenação de óleos em margarinas utilizando catalisadores. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e13810716392-e13810716392, 2021.Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16392.Acesso em: 11 abr.2025.

SANSÓN, M. D. S. **Desenvolvimento de oleogéis à base de óleo de girassol alto oleico estruturados por monoestearato de sorbitana e cera de candelilla.** 2019. 141 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: https://www.teses.usp.br. Acesso em: 11 abr. 2025.

SANTOS, Paulo Henrique Silva; SUZUKI, Cristina Kaori; LANNES, Suzana Caetano da Silva. Effects of adding micronutrient mixtures to a model dark chocolate system and partially replacing the fat phase with a structuring oleogel. **Foods**, v. 14, n. 3, p. 430, 2025. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-6643/14/3/430. Acesso em: 11 abr. 2025.

SILVA, Roberta Claro da; FERDAUS, Md. Jannatul; FOGUEL, Aline; DA SILVA, Thais Lomonaco Teodoro. Oleogels as a fat substitute in food: A current review. **Gels**, v. 9, n. 3, p. 180, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/gels9030180. Acesso em: 12 abr. 2025.

SILVA, Karina Vila Verde; GONÇALVES, Bruna Néria Azevedo; OLIVEIRA, Larissa Costa de; SCHMIELE, Marcio; ANDRADE, Monalisa Pereira Dutra. Caracterização de pepperoni com aplicação de organogel de cera de abelha e óleo de açaí como substituto de gordura. **Revista Semiárido De Visu,** v. 12, n. 1, p. 3–16, 2024. Disponível em: https://revistas.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/692. Acesso em: 11 abr. 2025.

SILVA, Thaís Jordânia; FERNANDES, Gabriel Deschamps; BERNARDINELLI, Oigres Daniel; SILVA, Eliane Cristina da Rosa; BARRERA-ARELLANO, Daniel; RIBEIRO, Ana Paula Badan. Organogels in low-fat and high-fat margarine: A study of physical properties and shelf life. **Food Research International**, v. 140, p. 110036, 2021b. Disponível em:

https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110036. Acesso em: 11 abr. 2025.

SILVA, Thais Lomonoco Teodoro Da; ARELLANO, Daniel Barrera; MARTINI, Silvana. Physical properties of candelilla wax, monoacylglycerols, and fully hydrogenated oil oleogels. **Journal of the American Oil Chemists' Society,** n. July, p. 797–811, 2018. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11746-018-3092-x. Acesso em: 11 abr. 2025.

SILVA, Pedro M.; MARTINS, Artur J.; FASOLIN, Luiz H.; VICENTE, António A. Modulation, and characterization of wax-based olive oil organogels in view of their application in the food industry. **Gels**, v. 7, n. 1, p. 12, 2021a. Disponível em: https://doi.org/10.3390/gels7010012. Acesso em: 11 abr. 2025.

SINGH, A.; AUZANNEAU, F.-I.; ROGERS, M. A. Advances in edible oleogel technologies – A decade in review**. Food Research International**, v. 97, p. 307-317, 2017. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28578056/. Acesso em: 11 abr. 2025.

WANG, T.; ROGERS, M. A. Biomimicry – an approach to engineering oils into solid fats. **Lipid Technology**, v. 27, p. 175–178, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1002/lite.201500036. Acesso em: 11 abr. 2025

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO plan to eliminate industrially-produced trans-fatty acids from global food supply.** 2018. Disponível em: https://www.who.int/news/item/14-05-2018-who-plan-to-eliminate-industrially-produced-trans-fatty-acids-from-global-food-supply. Acesso em: 12 abr. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **A global brief on hypertension: silent killer, global public health crisis**. 2013. Disponível em: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/publications/global_brief_hypertension/en/. Acesso em: 14 abr. 2025.

YANG, Shu; LI, Guode; SALEH, Ahmed S. M.; YANG, Hongli; WANG, Na; WANG, Peng; YUE, Xiqing; XIAO, Zhigang. Functional characteristics of oleogel prepared from sunflower oil with β-sitosterol and stearic acid. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 94, n. 9, p. 1153–1164, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11746-017-3026-7. Acesso em: 11 abr. 2025.

ZANDONÁ, Laís Ramalho. **Produção de biscoitos recheados com formação de organogel na base gordurosa**. 2021. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/003057052. Acesso em: 11 abr. 2025.

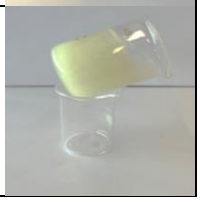
ZARNOWSKI, A.; JANKOWSKI, M.; GUJSKI, M. Public awareness of diet-related diseases and dietary risk factors: A 2022 nationwide cross-sectional survey among adults in Poland. **Nutrients**, v. 14, n. 14, p. 3285, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/nu14143285. Acesso em: 11 abr. 2025.

APÊNDICE

Apêndice 1 - Imagens dos organogéis avaliados na análise de ciclização.

	1º Ciclização		2º Ciclização		
OG CA:CC	**5 °C/48h**	**35 °C/24h**	**5 °C/24h**	**35 °C/48h**	**5 °C/72h**
0:6					
1:5					
2:4					
3:3					
4:2					
5:1					
6:0					

*CA:CC = cera de abelha: cera de candelilla; OG = óleo de girassol

	1º Ciclização		2º Ciclização		
OS CA:CC	**5 °C/48h**	**35 °C/24h**	**5 °C/24h**	**35 °C/48h**	**5 °C/72h**
0:6					
1:5					
2:4					
3:3					
4:2					
5:1					
6:0					

*CA:CC = cera de abelha: cera de candelilla; OG = óleo de girassol

	1º Ciclização		2º Ciclização		
OC CA:CC	**5 °C/48h**	**35 °C/24h**	**5 °C/24h**	**35 °C/48h**	**5 °C/72h**
0:6					
1:5					
2:4					
3:3					
4:2					
5:1					
6:0					

*CA:CC = cera de abelha: cera de candelilla; OG = óleo de girassol