

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

ANA NATHÁLIA FERNANDES DA CRUZ

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE OLEOGÉIS
MISTOS CONTENDO ÉSTERES DE SACAROSE**

**BURI
2020**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANA NATHÁLIA FERNANDES DA CRUZ

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE OLEOGÉIS
MISTOS CONTENDO ÉSTERES DE SACAROSE

Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal de São Carlos como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

BURI

2020

Cruz, Ana Nathália Fernandes da

Desenvolvimento e caracterização reológica de oleogéis mistos contendo ésteres de sacarose / Ana Nathália Fernandes da Cruz -- 2020.
47f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Kivia Mislaine Albano Scobosa

Banca Examinadora: Mirian Luisa Faria Freitas, Thais

Lomonaco Teodoro da Silva

Bibliografia

1. Oleogel. 2. Éster graxo de sacarose. 3. Óleo de girassol alto oleico. I. Cruz, Ana Nathália Fernandes da.
II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

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

ANA NATHÁLIA FERNANDES DA CRUZ

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE OLEOGÉIS MISTOS
CONTENDO ÉSTERES DE SACAROSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Alimentos pela
Universidade Federal de São Carlos.

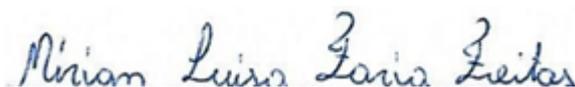
Aprovado em: 19 /10 /2020.

BANCA EXAMINADORA



Orientadora: Profa. Dra. Kivia Mislaine Albano

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar Campus Lagoa do Sino



Membro: Profa. Dra. Mirian Luisa Faria Freitas



Membro: Profa. Dra. Thais Lomonaco Teodoro da Silva

Université de Liege

Dedico o presente trabalho aos meus pais e meus irmãos, que sempre estiveram ao meu lado, me incentivando e torcendo por mim.

Ao meu noivo Antonio Carlos, por todo amor e paciência nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente meu agradecimento é totalmente à Deus, pelo dom da vida, por ter me mantido firme e forte em toda a minha jornada, me concedendo muita paciência e sabedoria para que eu pudesse alcançar meus objetivos e ser quem eu sou hoje. Obrigada Senhor, por ser meu amparo longe de casa.

À Profa. Dra. Maria Aliciane Domingues Fontenele, pela confiança em mim depositada ao me oferecer este projeto, que foi um dos trabalhos mais prazerosos que desenvolvi na Universidade. Muito obrigada por todo ensinamento, aprendizados, conversas, conselhos, aprendi muito com você.

À Profa. Dra. Kivia Mislaine Albano Scobasa, por ter me acolhido no meio desta trajetória, com sua paciência e disposição em me ajudar. Obrigada pela orientação constante no desenvolvimento deste trabalho, por me tornar mais confiante com todo o seu conhecimento em reologia e pelo apoio que vem dando no meu crescimento profissional.

Aos meus professores da UFSCar, que mesmo através das dificuldades iniciais do *campus*, não mediram esforços para proporcionar a nós, estudantes, o melhor ensino e experiência.

Aos técnicos de laboratório, em especial ao Caetano, pela paciência, pelos ensinamentos e pelas .

Aos meus amigos de sala, que levarei para a vida toda: Bruna, Ieda e João Marcos. Obrigada pela nossa convivência, pelos grupos de estudo, lutas, insônias, conquistas, alegrias, conversas e por todo apoio de sempre. Com vocês, a graduação ficou mais leve.

Aos meus companheiros de república: Beatriz, Giovana, Caroline, Henrique e Celso.

Aos meus pais, Antonio e Natalina, que me deram todo apoio, incentivo nas horas difíceis, que mesmo diante das dificuldades não mediram esforços para que meus sonhos se tornassem realidade. Vocês foram e são essenciais na minha vida.

Aos meus irmãos Grasiella e Guilherme, pela parceria e amizade, dispostos para ajudar no que fosse preciso, sempre à disposição. Muito obrigada a vocês dois.

Ao meu sobrinho, João Guilherme, que tornou mais doce o término desta conquista, amenizando todo o cansaço da rotina e das idas e vindas com seu sorriso e jeitinho de ser.

Ao meu noivo Antonio Carlos, pelo amor, carinho, paciência, que apesar da distância, sempre me apoiou desde o início, levantando meu alto-astral, sempre acreditando no meu potencial e que vibrou e vibra com todas as minhas conquistas.

Ao EPA, encontro e pessoas que me ajudaram a me manter em pé em toda esta trajetória.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a minha formação.

“A persistência é o caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

A estruturação de óleos líquidos tornou-se uma área atrativa de pesquisa nos últimos anos, especialmente devido às recomendações para reduzir a ingestão de gordura saturada e eliminar as gorduras *trans* das dietas cotidianas. No entanto, a substituição de gorduras ricas em ácidos graxos saturados por óleo líquido pode levar a grandes mudanças nas características de qualidade dos alimentos processados. Estratégias recentes para conferir funcionalidade de gordura saturada a óleos líquidos incluem a adição de agentes estruturantes lipídicos ao óleo, conduzindo à sua gelificação. Este projeto teve como objetivo estudar as características de formação de oleogéis a partir da combinação de estruturantes lipídicos como monoacilglicerol (MAG), lecitina de soja (LEC) e éster graxo de sacarose (ES) em óleo de girassol alto oleico (HOSO), utilizando para tanto um planejamento de misturas do tipo vértices extremos. Os oleogéis obtidos foram analisados quanto as suas propriedades mecânicas e comportamento reológico. As propriedades mecânicas foram analisadas através do método de extrusão direta (Backward Extrusion), e ao tratar estatisticamente os dados, a análise de regressão indicou que o melhor ajuste para as amostras foi obtido com o modelo linear. As respostas indicaram que a lecitina apresentou influência significativa ($p < 0,05$) nas propriedades de textura dos oleogéis que a contém nas interações ternárias (ES+LEC+MAG). O comportamento reológico foi realizado em reômetro rotacional, onde curvas de escoamento e viscosidade aparente foram obtidas. O ajuste do modelo Lei da Potência foi melhor para todas as amostras, onde estas apresentaram um comportamento pseudoplástico ($n < 1$). Aparentemente, as amostras demonstraram comportamento semelhante, na rampa descendente no início do cisalhamento em altas taxas de deformação se apresentaram mais estruturadas, porém ao continuar o cisalhamento com a diminuição da taxa de deformação tenderam ao comportamento newtoniano. Porém, ao aumentar a taxa de deformação na rampa ascendente (rampa 2), estas apresentaram comportamento pseudoplásticos e tixotropia o que foi comprovado pelas curvas de viscosidade aparente, indicando mudança e perda de estrutura. Os parâmetros reológicos foram condizentes com os dados de textura e mostraram o efeito da formulação das amostras. Foi possível concluir que as amostras com interações ternárias com maiores teores de ES tornaram os materiais um pouco mais resistentes minimizando alterações de viscosidade aparente, sendo que a amostra mais estruturada foi a E5 que possuía valores intermediários de LEC. Os resultados obtidos podem permitir sua aplicação em formulações alimentícias quando submetidas em condições de processos industriais que exigem menores taxas de deformação

(10^0 a 10^3) como extrusão, mistura, bombeamento e/ou sedimentação, entretanto maiores estudos de formulação para aumentar a resistência são necessários.

Palavras-chave: oleogel, óleo de girassol alto oleico, estruturantes, éster graxo de sacarose, propriedades mecânicas, comportamento reológico.

ABSTRACT

The structuring of liquid oils has become an attractive area of research in recent years, especially due to pressures to reduce saturated fat intake and eliminate trans fats from our diets. However, the replacement of fats rich in saturated fatty acids with liquid oil can lead to major changes in the quality characteristics of processed foods. Recent strategies for providing saturated fat functionality to liquid oils include the addition of lipid structuring agents to the oil, leading to its gelation. The objective of this Project was to study the characteristics of formation of oleogels from the combination of lipid structuring agents such as monoacylglycerol (MAG), soy lecithin (LEC) and sucrose fatty ester (ES) in high oleic sunflower oil (HOSO), using for this, a planning of mixtures of the extreme vertex type. The obtained oleogels were analyzed for their mechanical properties and rheological behavior. The mechanical properties were analyzed using the direct extrusion method (Backward Extrusion), and when statistically treating the data, the regression analysis indicated that the best fit for the samples was obtained with the linear model. The test responses indicated that lecithin had a significant influence ($p < 0,05$) on the texture properties of the oleogels that contain it in ternary interactions (ES + LEC + MAG). The rheological behavior was accomplished in a rotational rheometer, where flow curves and apparent viscosity were obtained. The adjustments to the Power Law model were better for all samples, where they showed a pseudoplastic behavior ($n < 1$). Apparently, the samples showed similar behavior, in the descending ramp at the beginning of the shear at high deformation rates, they were more structured, however, as the shear continued with the decrease in the deformation rate, they tended to Newtonian behavior. However, when increasing the deformation rate in the ascending ramp (ramp 2), they showed pseudoplastic behavior and thixotropy, which was confirmed by the apparent viscosity curves, indicating change and loss of structure. The rheological parameters were consistent with the texture data and showed the effect of the sample formulation. It was possible to conclude that the samples with ternary interactions with higher levels of ES made the materials a little more resistant, minimizing changes in apparent viscosity, and the most structured sample was the E5 that had intermediate LEC values. The results obtained may allow its application in food formulations when subjected to conditions of industrial processes that require lower deformation rates (10^0 a 10^3) such as extrusion, mixing, pumping and/or sedimentation, however further studies of formulation to increase the resistance are necessary.

Keywords: oleogel, high oleic sunflower oil, structuring agents, sucrose fatty ester, mechanical properties, rheological behavior.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	14
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	15
2. MOTIVAÇÃO	16
3. OBJETIVOS	17
3.1. Objetivo geral	17
3.2. Objetivos específicos	17
4. REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1. Lipídios em alimentos	17
4.2. Óleo de girassol alto oleico	19
4.3. Tipos de agentes estruturantes	20
4.3.1. <i>Monoacilglicerol (MAG)</i>	21
4.3.2. <i>Éster graxo de sacarose (ES)</i>	22
4.3.3. <i>Lecitina de soja (LEC)</i>	23
5. MATERIAL E MÉTODOS	24
5.1. Matérias-primas	24
5.2. Preparo das misturas	24
5.3. Planejamento experimental	25
5.3.1. <i>Planejamento de misturas de vértices extremos</i>	25
5.4. Avaliação das propriedades dos oleogéis	27
5.4.1. <i>Avaliação da formação de gel</i>	27
5.4.2. <i>Análise de deformação mecânica</i>	27
5.4.3. <i>Cisalhamento constante</i>	27
5.4.4. <i>Cisalhamento oscilatório</i>	28
5.5. Análise estatística	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.1. Preparo das misturas	29
6.2. Avaliação da formação de gel	30
6.3. Análise das propriedades de textura	30
6.4. Cisalhamento estacionário	34
6.5. Cisalhamento oscilatório	41
7. CONCLUSÃO	42
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de ácidos graxos que compõem os triacilgliceróis das gorduras utilizadas na produção de alimentos.....	15
Figura 2: Rede de agentes estruturantes, (a) partículas cristalinas e (b) automontagem molecular.....	21
Figura 3: Formas isoméricas da molécula de MAG.....	22
Figura 4: Gráfico do experimento de vértices extremos.....	26
Figura 5: Disposição dos béqueres após a análise de formação de gel com 7 dias de armazenamento.....	30
Figura 6: Contorno de mistura para as propriedades de Firmeza, Consistência, Coesividade e Índice de Viscosidade dos oleogeis (quantidade de componentes).....	32
Figura 7: Avaliação da tixotropia nas rampas de taxa de deformação descendente (■) e ascendente (○) para os ensaios (a) E2, (b) E5, (c) E7, (d) E9, (e) E11 e (f) E13.....	37
Figura 8: Avaliação da viscosidade aparente nas rampas de taxa de deformação descendente (■) e ascendente (○) para os ensaios (a) E2, (b) E5, (c) E7, (d) E9, (e) E11 e (f) E13.....	40
Figura 9: Região de viscoelasticidade linear (RVL) em frequências de 0,1 rad/s (■,), 1 rad/s (▲,Δ) e 10 rad/s (●,○), onde G' (símbolos fechados) e G'' (símbolos abertos) na amostra E13.....	41

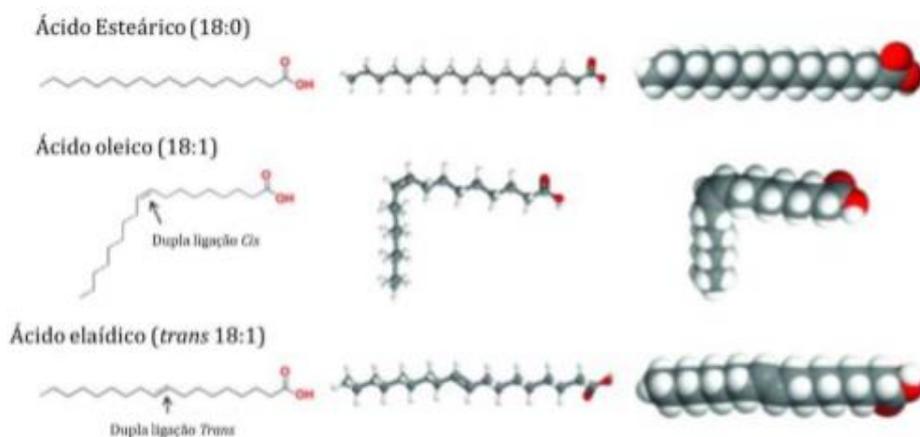
LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição em ácidos graxos de óleo de girassol alto oleico.	19
Tabela 2: Limites do experimento de vértices extremos em porcentagem.	25
Tabela 3: Experimento de vértices extremos (aleatorizado), proporção mássica em porcentagem (%).	26
Tabela 4: Classificação definida para a análise visual dos oleogéis.	27
Tabela 5: Distribuição de cada componente para o preparo das amostras.	29
Tabela 6: Propriedades mecânicas dos oleogéis obtidos.	31
Tabela 7: Valores de índice de consistência (K) e coeficiente de determinação (R^2) dos ensaios E2 e E13 para diferentes valores de gap.	35
Tabela 8: Valores de viscosidade (μ), índice de consistência (K), índice de comportamento (n) e coeficiente de determinação (R^2) para as duas rampas das curvas de escoamento das diferentes composições de oleogéis.	35
Tabela 9: Avaliação da área tixotrópica sobre a curva de escoamento nas duas rampas de taxa de deformação.	37

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Tradicionalmente, a fase lipídica em produtos alimentícios industrializados é estruturada com materiais cristalinos como os triacilgliceróis (TAG). Esses materiais consistem principalmente de ácidos graxos saturados (AGS) ou mesmo de ácidos graxos *trans* (AGT), que demonstraram exercer efeitos negativos sobre os marcadores de risco para doenças cardiovasculares (Figura 1). Portanto, os mesmos devem ser reduzidos (para AGS) ou completamente eliminado (para AGT) e substituído por gorduras insaturadas para melhorar o perfil nutricional das dietas cotidianas (TAVERNIER et al. 2017). No entanto, como as propriedades físicas das gorduras sólidas fornecem várias características tecnológicas funcionais aos alimentos processados, sua substituição direta por óleos líquidos pode impactar negativamente no desempenho e aceitabilidade dos produtos (MARANGONI et al. 2019).

Figura 1: Tipos de ácidos graxos que compõem os triacilgliceróis das gorduras utilizadas na produção de alimentos.



Fonte: Adaptado de Wang et al. 2013.

Alguns métodos alternativos de estruturação são intensamente pesquisados para antecipar essa demanda de consumo, entre eles está o desenvolvimento de oleogel. A gelificação de óleos tem atraído a atenção como um método possível de estruturação de produtos de base lipídica. Os oleogéis são sistemas semi-sólidos, sendo a fase contínua o óleo líquido, que é fisicamente aprisionado em uma rede tridimensional de moléculas estruturantes automontada ou autossustentada (PATEL, DEWETTINCK, 2016).

Com o cerco às gorduras parcialmente hidrogenadas (gorduras *trans*), o interesse em tecnologias alternativas, como os oleogéis, tem aumentado, portanto pesquisadores e empresas

estão se esforçando para o desenvolvimento de oleogéis para aplicação em alimentos, enfatizando sua capacidade em promover saúde e bem-estar. Vários programas governamentais, no âmbito da saúde pública, estão sendo implementados com base na ideia de melhorar a saúde através da nutrição. Essa busca se tornou uma importante premissa para as nações do mundo todo. A ação combinada entre estrutura e benefícios à saúde apoia a importância que esses oleogéis podem ter nos alimentos (PATEL, DEWETTINCK, 2016).

Assim, o objetivo do presente projeto foi desenvolver e caracterizar oleogéis comestíveis com propriedades para substituição de gorduras em produtos alimentícios, usando óleo de girassol alto oleico como fase líquida contínua, e os agentes estruturantes monoacilglicerol, lecitina de soja e éster graxo de sacarose, a partir de um planejamento de misturas vértices extremos. Ainda, como objetivos específicos, caracterizar as propriedades mecânicas dos organogéis quanto a firmeza, consistência, coesividade e viscosidade e estudar o comportamento reológico dos oleogéis obtidos.

2. MOTIVAÇÃO

Os óleos e gorduras são parte indispensável da nossa dieta devido à várias razões como: fonte de energia, solvente para alguns nutrientes (vitaminas lipossolúveis e precursores de vitaminas), compostos bioativos e carreadores de sabor. As gorduras fornecem aos alimentos processados sabor, textura e aroma. No entanto, nos últimos anos, as recomendações nutricionais sobre o consumo de gorduras têm sido revistas. As orientações dietéticas de organizações nacionais e internacionais de saúde enfatizam consistentemente a necessidade de reduzir os níveis de consumo de gorduras trans e saturadas. O efeito negativo das gorduras trans e saturadas sobre a saúde humana está ligado ao seu papel no aumento dos níveis de LDL (lipoproteína de baixa densidade), também conhecido como colesterol ruim, em contraste, as gorduras mono e poliinsaturadas tendem a baixar os níveis de LDL. Por isso, as diretrizes nutricionais recomendam substituir as gorduras trans e saturadas na dieta por gorduras insaturadas. Embora todas as pesquisas afirmem que há um claro benefício ao substituir a gordura saturada pela gordura poliinsaturada e pelos ácidos graxos essenciais, a formulação de produtos alimentícios na ausência de ácidos graxos saturados ou trans é bastante desafiadora, uma vez que são responsáveis por fornecer características funcionais únicas, como a estrutura necessária de muitos produtos de base lipídica (ex.: margarinas, gorduras para panificação e confeitaria), ou mesmo quando utilizadas como matérias-primas na produção de alimentos, fornecendo textura e palatabilidade aos produtos. Oleogéis formados por combinações de

agentes estruturantes contendo monoacilgliceróis, ceras, hard fats, lecitina, ésteres de sorbitana, entre outros, utilizando como fase contínua uma variedade de óleos (soja, girassol, canola, entre outros) têm sido extensivamente pesquisados. Um dos grandes desafios enfrentados pela tecnologia de oleogéis até o momento é encontrar uma combinação que proporcione a mesma consistência e comportamento reológico das gorduras industriais. Neste contexto, o presente projeto irá delinear uma nova combinação de agentes estruturantes lipídicos, incluindo no estudo os ésteres graxos de sacarose (pouco utilizado como agente estruturante) em combinação com monoacilgliceróis e lecitina (agentes estruturantes já estudados em oleogéis, os quais apresentaram resultados positivos na estruturação desse tipo de material), utilizando como fase contínua o óleo de girassol alto oleico (contém mais de 85% de ácido oleico na sua composição, proporcionando homogeneidade em relação a composição dos oleogéis, e possui uma excelente estabilidade oxidativa).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Desenvolver e caracterizar oleogéis comestíveis com propriedades para substituição de gorduras em produtos alimentícios, usando óleo de girassol alto oleico como fase líquida contínua, e os agentes estruturantes monoacilglicerol, lecitina de soja e éster graxo de sacarose, a partir de um planejamento de misturas vértices extremos.

3.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar as propriedades mecânicas dos oleogéis quanto a firmeza, consistência, coesividade e viscosidade;
- ✓ Estudar o comportamento reológico dos oleogéis obtidos;

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Lipídios em alimentos

Os lipídios são substâncias caracterizadas insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos, possuem hidrocarbonetos de cadeia longa em suas moléculas e podem ser obtidos ou estar presentes em organismos vivos. Na tecnologia de alimentos, os lipídios são classificados em “óleo” quando se encontra na forma líquida em temperatura ambiente e em

“gordura” quando está semi-sólido ou sólido à temperatura ambiente (DAMODARAN, PARKIN, FENNEMA, 2010).

Os óleos podem ser encontrados em diferentes fontes vegetais, como soja, girassol, canola, milho, algodão, coco, palma e linhaça. Já as gorduras naturais são provenientes de fontes animais como sebo bovino, banha de porco, gordura de frango e de ovelhas. Porém, as gorduras animais são insuficientes para o abastecimento mundial e possui uma aplicação limitada, por isso existem alternativas de gorduras de origem vegetal, as quais são obtidas por métodos de modificação (DAMODARAN, PARKIN, FENNEMA, 2010).

Os triacilgliceróis (TAG) são os componentes majoritários nos óleos e gorduras (97%), sendo formados por três ácidos graxos esterificados a uma molécula de glicerol. O que irá definir as características físico-químicas (estabilidade) e nutricionais do óleo ou gordura é a posição e o tipo de ácido graxo na molécula de glicerol (GARCIA, GANDRA & BARREIRA-ARELLANO, 2013).

Os ácidos graxos são classificados pelo tamanho da cadeia (cadeia curta, média ou longa) e pela presença ou não de insaturações. Os ácidos graxos saturados são aqueles que não apresentam duplas ligações em sua cadeia carbônica, possui conformação linear e altos pontos de fusão quando comparado aos ácidos graxos insaturados, que por sua vez apresentam baixos pontos de fusão e geralmente se apresentam de forma líquida à temperatura ambiente. Os ácidos graxos insaturados são caracterizados por possuírem pelo menos uma dupla ligação (insaturação) em sua cadeia carbônica, podendo formar diferentes isômeros dependendo da posição dos átomos de hidrogênio na molécula, sendo *cis* para ácidos graxos simétricos e *trans* para ácidos graxos assimétricos. A conformação *cis* apresenta uma “dobra”, fazendo com que seu ponto de fusão diminua por conta da dificuldade no empacotamento das moléculas durante a sua cristalização. Os ácidos graxos *trans* estão naturalmente presente nos animais (em pequena quantidade) e são formados durante a produção de gorduras vegetais (hidrogenação parcial), possuem o ponto de fusão mais elevados que os ácidos graxos saturados com mesmo tamanho de cadeia. Nos alimentos, os ácidos graxos insaturados, na sua grande maioria, apresentam conformação *cis* (SCRIMEMGEOR, 2007).

Se tratando de tecnologia, os lipídios são grandes responsáveis por conferir sabor e aroma aos alimentos, além de serem influentes na textura e aeração. Na dieta, eles são responsáveis por promover a saciedade e absorção de vitaminas lipossolúveis, além do fornecimento de energia (DAMODARAN, PARKIN, FENNEMA, 2010).

4.2. Óleo de girassol alto oleico

O óleo de girassol alto oleico (HOSO) é visto como sendo um óleo saudável, por conter mais de 85% de ácidos graxos insaturados, baixo conteúdo de saturados (<9%) e sem trans (MARTÍNEZ-FORCE et al., 2009). Devido a alta quantidade de ácido oleico, que segundo a FAO (2011) não deve ser inferior a 75%, é relevante destacar que o consumo deste tipo de óleo favorece o aumento do colesterol HDL e diminui os níveis de colesterol LDL, o que consequentemente reduz os riscos de doenças cardiovasculares (GROMPONE, 2005), além de possuir tocoferóis (vitamina E), que atuam como antioxidante natural. Apresenta uma excelente estabilidade oxidativa em alimentos devido a elevada proporção de ácido linoleico (GROMPONE, 2005).

O triacilglicerol predominante é a trioleína (OOO) (84,4%). A seguir, na Tabela 1, é apresentado a composição do óleo de girassol alto oleico (PATEL, 2015).

Tabela 1: Composição em ácidos graxos de óleo de girassol alto oleico.

<i>Ácidos graxos</i>	<i>Proporção (% ,m/m)</i>
14:0 Mirístico	0,04
16:0 Palmítico	4,12
16:1 Palmitoleico	0,15
18:0 Esteárico	2,91
18:1 Oleico	81,34
18:1t Elaídico	0,02
18:2 Linoleico	9,46
18:2t	0,02
18:3 Linolênico	0,18
20:0 Araquidônico	0,24
20:1 Gondoico	0,27
22:0 Behênico	0,84
24:0 Lignocérico	0,28
Total de AGS	8,45
Total de AGMI	81,89
Total de AGPI	9,65

AGS = ácidos graxos saturados; AGMI = ácidos graxos monoinsaturados; AGPI = ácidos graxos poliinsaturados.

Fonte: PATEL (2015).

Além do mais, o óleo de girassol possui alto potencial na elaboração de alimentos, uma vez que possui qualidades de sabor e odor neutro. Como um ingrediente na formulação de oleogéis, têm grande potencial para aplicação em produtos de panificação, o qual foi usado como “*shortening*” (capacidade de uma gordura lubrificar, enfraquecer ou encurtar a estrutura dos componentes dos alimentos de forma que funcionem de um modo característico para proporcionar propriedades de textura desejáveis a um produto em formulações de bolo, os quais apresentaram boas características reológicas e sensoriais (GHOTRA, DYAL, NARINE, 2002)).

4.3. Tipos de agentes estruturantes

Segundo Co e Marangoni (2012), o agente estruturante ideal deve: 1º atender aos requisitos regulatórios rigorosos para uso em alimentos, 2º ser acessível e prontamente disponível, 3º ser capaz de estruturar lipídios em concentrações relativamente baixas, 4º apresentar propriedades físicas semelhantes às da gordura que se destina a substituir e 5º ser versátil.

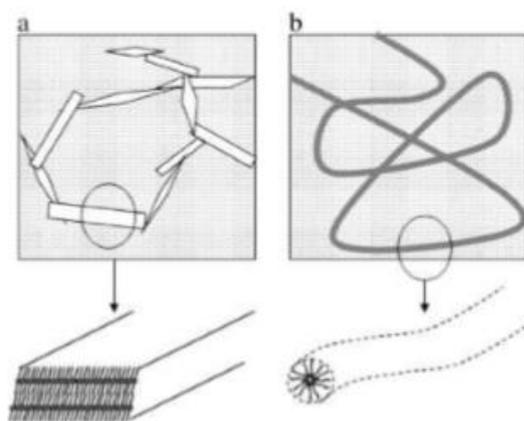
Existem diferentes maneiras de categorizar os agentes estruturantes, por exemplo, com base nas suas características moleculares (compostos orgânicos de baixo peso molecular, compostos poliméricos e compostos inorgânicos); característica química (lipídios e não lipídios), quantidade de agentes (géis monocomponente ou sistema multicomponente) e o tipo de blocos de construção e princípios estruturantes envolvidos na gelificação (formação de partículas cristalinas, formação de rede e cristalização induzida por automontagem ou rede não-cristalina, rede preenchida com partículas e cadeias poliméricas) (PERNETTI et al. 2007; MARANGONI e GARTI, 2011; DASSANAYAKE et al. 2011; PATEL, 2015).

Os agentes estruturantes de base lipídica como ceras, ácidos graxos, álcoois graxos e monoacilgliceróis (MAGs) são normalmente dispersos diretamente na fase oleosa a temperaturas acima de seus pontos de fusão, seguido de resfriamento a temperaturas mais baixas sob condições estáticas ou de cisalhamento. Este é o processo mais comumente utilizado para a criação de oleogéis e, como tal, é uma extensão do processo de estruturação convencional envolvendo gorduras sólidas (moléculas de triacilglicerol de alto ponto de fusão, TAGs). Etapas de nucleação, crescimento de cristais, agregação e formação de rede como visto com gorduras sólidas também estão envolvidos na estruturação de óleo com agentes lipídicos. Entretanto, o tipo e a morfologia dos cristais, a tendência de crescimento unidirecional e a menor agregação entre os cristais formados os diferencia dos cristais convencionais da gordura sólida, resultando

na formação de rede (que apresenta alta capacidade de ligação de óleo) em fração de massa muito menor da fase cristalina.

Para géis multicomponentes, particularmente aqueles preparados pela combinação de materiais à base de lipídios com pequena diferença de polaridade (ácidos graxos, álcool graxo e misturas de lecitina com triestearato de sorbitana ou sitosterol), a gelificação é influenciada por mudanças na microestrutura induzidas por nucleação heterogênea, maior cinética de cristalização (aumento da taxa de nucleação devido à redução da tensão superficial), modificação do hábito de cristais e fortalecimento da rede. Em casos específicos, como ácidos graxos hidroxilados, β -sitosterol + γ -orizanol e lecitina + tocoferol, são formadas estruturas supramoleculares complexas, como redes fibrilares automontadas, túbulos e micelas cilíndricas, que são responsáveis por fornecer estrutura (DASSANAYAKE et al. 2011; NIKIFORIDIS e SCHOLTEN, 2014; HAN et al. 2014; PATEL e DEWETTINCK, 2016). Os dois tipos de estruturação podem ser observados na Figura 2.

Figura 2: Rede de agentes estruturantes, (a) partículas cristalinas e (b) automontagem molecular.

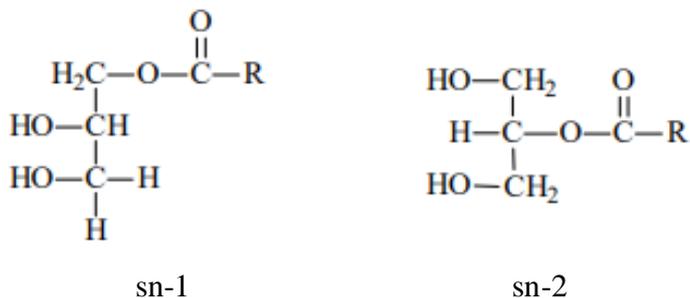


Fonte: Dassanayake et al. 2011.

4.3.1. Monoacilglicerol (MAG)

Os monoacilgliceróis ou monoacilglicerídeos são monoésteres que são constituídos de um único resíduo de ácido graxo esterificado a uma molécula de glicerol, que podem possuir duas formas isoméricas dependendo da orientação de suas moléculas (Figura 3) (DAMSTRUP, 2008).

Figura 3: Formas isoméricas da molécula de MAG.



R – cadeia carbônica saturada ou insaturada.

Fonte: LASZLO et al, 2008.

As moléculas de MAG são classificadas como moléculas anfipáticas, ou seja, apresentam características hidrofóbicas e hidrofílicas. As características hidrofílicas são dadas pelos grupos hidroxilas livres do glicerol, enquanto que a cadeia acil é responsável pelas características lipofílicas e hidrofóbicas da molécula. Em meio aquoso, moléculas do tipo anfipáticas tendem a se agrupar formando micelas, as quais atuam como surfactantes ou emulsificantes, e então proporcionam estabilidade à emulsão por redução da tensão superficial entre as fases água e óleo (YANG et al., 2005).

Os monoacilgliceróis são bastante utilizados na produção de produtos de panificação, bolos, massas e margarinas, visando manter a textura, umidade e evitando que os demais ingredientes se separem (BACKELS, 1976). Também são utilizados como matéria-prima na produção de outros emulsificantes, onde o grupo hidroxila do glicerol é trocado por diversos tipos de moléculas como os ácidos cítrico, láctico, acético, tartárico dentre outros (DANISCO, 2005).

Por conta da sua capacidade emulsificante, os MAG representam 70% dos emulsificantes utilizados na indústria alimentícia (SAGALOWICZ et al, 2006).

4.3.2. Éster graxo de sacarose (ES)

Segundo o Anexo I da Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 239, de 08 de abril de 2020, o aditivo alimentar ésteres graxos de sacarose, INS 473, na função emulsificante, possui limite máximo de uso de 7 gramas por 100 gramas, e com as notas “somente para suplementos fontes de ferro”, “somente para comprimidos, gomas, drágeas, tabletes, cápsulas, cápsulas gelatinosas, pastilhas e formas mastigáveis” e “sozinho ou em combinação com os

aditivos oligoésteres de sacarose tipo I e tipo II, INS 473a, e ésteres de glicerol e sacarose, sucroglicerídeos, INS 474” (ANVISA, 2020).

Os ésteres graxos de sacarose são misturas de derivados esterificados de sacarose com ácidos graxos. Além de apresentarem propriedades tensoativas, possuem características como atóxicos, sem gosto ou odor, não-irritantes e biodegradáveis. São obtidos através da reação onde a sacarose se combina com ésteres graxos constituintes de óleos vegetais. Possui vasta versatilidade de uso quanto comparado a outros emulsificantes, podendo ser usados em alimentos, produtos farmacêuticos, cosméticos e na produção de tintas e vernizes (BERNARDI et al., 1994).

Existem os ésteres graxos de mono- e dissacarídeos de baixa substituição, que são os mono-, di- e triésteres de açúcares (1 a 3 cadeias graxas). Estes são altamente hidrofílicos, excelentes tensoativos para emulsões óleo/água, agentes estabilizantes e antimicrobianos (AKOH, 1995).

Ainda, os ésteres de sacarose, além de possuir a estrutura típica de emulsificantes como grupos polares e apolares na mesma molécula, suas oito posições possíveis para esterificação com ácidos graxos permitem diferentes propriedades lipofílicas/hidrofílicas. Entretanto, o grau de saturação e tamanho da cadeia do ácido graxo também tem influência significativa nessas propriedades (GARTI, 2001).

Os ácidos láurico (C12), mirístico (C14), palmítico (C16), esteárico (C18) e behênico (C22) são os ácidos graxos mais comuns usados em ésteres de sacarose. E devido o tipo ou número de grupos de ácidos graxos utilizados, os valores de HBL (Hydrophilic-lipophilic balance) podem ser obtidos com grande variedade (DOMINGUES, 2013).

4.3.3. *Lecitina de soja (LEC)*

A lecitina domina o mercado de emulsificantes naturais através de uma variedade de fontes, formatos e funcionalidades. A fonte mais comum encontrada é a soja (95%), contendo um percentual de 2 a 3% de lecitina. Outras fontes comerciais provêm do óleo de canola, palma e girassol, bem como do leite e ovos (ADITIVOS INGREDIENTES, 2020).

É um natural tensoativo utilizado na indústria cosmética e farmacêutica, contendo uma pequena cabeça hidrofílica e duas grandes caudas hidrofóbicas (PAKSERESHT, TEHRANI, 2020). Essa propriedade tensoativa é proveniente da estrutura molecular dos fosfolipídios (50%), componentes ativos da lecitina, que também é formada por triglicerídeos (35%),

glicolípídios (10%), carboidratos, pigmentos, carotenoides e outros microcompostos (ADITIVOS INGREDIENTES, 2020).

Para a obtenção de emulsões mais estáveis é necessário a combinação da lecitina com outros emulsificantes ou modificadas, uma vez que esta possui propriedades emulsificantes relativamente limitadas devido ao antagonismo dos três componentes dos fosfolípídios, sendo eles: fosfatidilcolina (PC) que possui propriedades emulsificantes do tipo O/A; fosfatidiletanolamina (PE) e; fosfatidiletanosinol (PI), com propriedades emulsificantes do tipo A/O) (ADITIVOS INGREDIENTES, 2020).

A lecitina é bastante usada em alimentos por conta das suas propriedades emulsificantes e também devido à molhabilidade e dispersibilidade. Mesmo com vários tipos de emulsificantes sintéticos sendo desenvolvidos, a lecitina permanece em uso pelo simples fato de possuir um melhor funcionamento comparado as outras alternativas (COMAS et al., 2006).

5. MATERIAL E MÉTODOS

Todo o experimento foi executado na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), *campus* Lagoa do Sino, nos laboratórios de tecnologia dos alimentos, microbiologia, reologia, processos biológicos e ambientais.

5.1. Matérias-primas

O éster graxo de sacarose (RYOTO™ Sugar Ester) foi fornecido pela Mitsubishi-Kagaku Foods (Japão). O óleo de girassol alto oleico fornecido pela Cargill (Mairinque, SP, Brasil). A lecitina de soja Grings, adquirida em mercado local. O monoacilglicerol (GRINDSTED® CRYSTALLIZER) foi fornecido pela DuPont Nutrition & Health (Barueri, SP, Brasil).

5.2. Preparo das misturas

Na obtenção dos oleogéis, o óleo de girassol alto oleico foi aquecido em agitador magnético com aquecimento até a temperatura de 70 °C, a qual foi controlada com termômetro digital tipo espeto. Então, os agentes estruturantes foram adicionados sob agitação magnética até completa fusão, por aproximadamente 15 minutos, tempo que variou de acordo com cada amostra. Após esta etapa, as amostras ainda líquidas, foram transferidas para béqueres de 100 mL e mantidos em condição estática a 5 °C durante 24h em BOD com controle de temperatura,

para que houvesse estruturação e estabilização da rede de gel. Em seguida a temperatura foi elevada para 25 °C, sendo mantidos nessa temperatura por mais 24h (GODOI, 2017).

As formulações utilizadas em cada amostra se encontram na Tabela 5, mais adiante.

5.3. Planejamento experimental

5.3.1. Planejamento de misturas de vértices extremos

Os experimentos de vértices extremos são utilizados quando algum componente da mistura apresenta um limite inferior ou superior. Estudos prévios indicam que 6% é a menor concentração de estruturantes que garante boas características de força e estabilidade dos oleogéis (GODOI, 2017).

O experimento foi conduzido limitando a 6% o total da mistura dos agentes estruturantes em estudo, os quais foram determinados os limites inferior e superior para cada componente, como verificado na Tabela 2.

Tabela 2: Limites do experimento de vértices extremos em porcentagem.

<i>Componentes estruturantes</i>	<i>Limite inferior</i>	<i>Limite superior</i>
Éster graxo de sacarose (ES)	0,25	0,5
Lecitina de soja (LEC)	0,0	0,5
Monoacilglicerol (MAG)	5,0	6,0

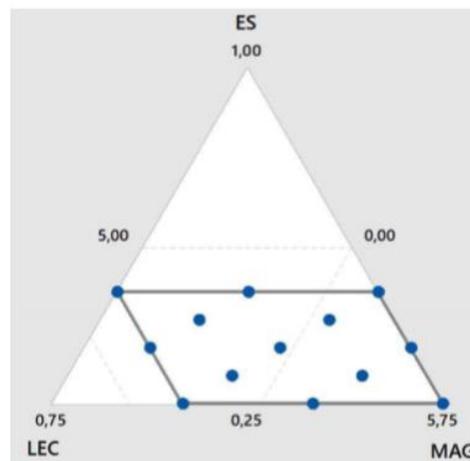
Em resumo, o experimento foi realizado com 3 componentes como agentes estruturantes, em um total de 13 ensaios e 3 graus de lattice (modelo cúbico completo). Os vértices são os pontos onde cada componente está em um de seus limites e restrições. Em um experimento básico sem restrições lineares, o número de pontos de vértice é igual ao número de componentes (Minitab, 2018). A Tabela 3 mostra os dados do experimento aleatorizado.

Tabela 3: Experimento de vértices extremos (aleatorizado), proporção mássica em porcentagem (%).

<i>Ensaio</i>	<i>Tipo</i>	<i>ES</i>	<i>LEC</i>	<i>MAG</i>
1	0	0,3750	0,2500	5,3750
2	2	0,2500	0,2500	5,5000
3	1	0,5000	0,5000	5,0000
4	-1	0,3125	0,1250	5,5625
5	-1	0,3125	0,3750	5,3125
6	-1	0,4375	0,1250	5,4375
7	1	0,2500	0,5000	5,2500
8	-1	0,4375	0,3750	5,1875
9	2	0,3750	0,0000	5,6250
10	2	0,5000	0,2500	5,2500
11	1	0,2500	0,0000	5,7500
12	2	0,3750	0,5000	5,1250
13	1	0,5000	0,0000	5,5000

A Figura 4 a seguir mostra os vértices extremos deste experimento de três componentes com restrições superiores e inferiores. A área delimitada representa o espaço do experimento e os pontos são colocados nos vértices extremos do espaço do experimento.

Figura 4: Gráfico do experimento de vértices extremos.



5.4. Avaliação das propriedades dos oleogéis

5.4.1. Avaliação da formação de gel

Os oleogéis foram analisados visualmente para verificar a possível ocorrência de instabilidade, como: separação de fases e exsudação de óleo líquido na superfície. As amostras foram armazenadas em béqueres com capacidade de 100 mL, a temperatura de 5 °C por 24h em BOD com controle de temperatura. Em seguida, os béqueres contendo as amostras foram armazenados a temperatura de 25 °C. A análise visual dos oleogéis foi realizada após 7 dias de armazenamento a 25 °C. Para padronização da análise visual, a classificação das características observadas foi de acordo com o descrito por Godói (2017), e apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Classificação definida para a análise visual dos oleogéis.

<i>Análise visual do gel</i>	<i>Classificação</i>
Totalmente firme	5
Firme	4
Médio	3
Fraco	2
Totalmente líquido	1

5.4.2. Análise de deformação mecânica

Os resultados para os índices de firmeza, consistência, coesividade e viscosidade foram obtidos através do método de extrusão indireta (Backward Extrusion) (MAY2/BEC STABLE MICRO SYSTEMS, 2006), para tanto, foi utilizado um analisador de textura TA-XT plus (Stable Micro Systems). O teste foi condicionado para o modo medir força de compressão, e uma célula de carga de 5 kg foi usada. Foi utilizado um probe cilíndrico de 35mm de diâmetro que penetrou na amostra na velocidade de teste de 1,0mm/s, percorrendo uma distância de 25mm. Todas as medições foram realizadas em triplicata.

5.4.3. Cisalhamento constante

As análises reológicas de curva de escoamento foram realizadas em reômetro Anton Paar (Áustria) utilizando geometria de placas paralelas ranhuradas, de aço inox, com diâmetro de 40 mm e o gap foi definido em testes iniciais na faixa de 200 µm a 1000 µm. A temperatura

de análise foi controlada por sistema Peltier, sendo mantida a 25 °C. O sistema permaneceu em repouso por 2 minutos para que a amostra atingisse a temperatura de medição. Em seguida, foi acoplado o acessório “solvent trap” para evitar influência do ambiente na amostra e, então as medições reológicas foram iniciadas (ALBANO, FRANCO, TELIS, 2014).

Curvas de escoamento foram obtidas através de duas rampas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação: rampa 1 descendente (100 a 0,01 s⁻¹) e rampa 2 ascendente (0,01 a 100 s⁻¹), na temperatura de 25 °C e no gap pré-selecionado (800 µm). Curvas de viscosidade aparente também foram obtidas (ALBANO, FRANCO, TELIS, 2014).

As determinações foram realizadas em triplicata e foram ajustados os modelos Lei de Potência (Equação 1) e Lei de Newton (Equação 2), os quais permitiram obter os parâmetros reológicos para cada sistema.

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

$$\tau = \mu\dot{\gamma} \quad (2)$$

onde,

τ : tensão de cisalhamento (Pa);

k : índice de consistência (Pa.s ^{n});

n : índice de comportamento do fluido (adimensional) (newtonianos $n = 1$, pseudoplásticos $0 < n < 1$ ou dilatantes $1 < n < \infty$);

$\dot{\gamma}$: taxa de deformação (1/s).

μ : viscosidade, constante de proporcionalidade para um fluido Newtoniano (Pa.s ^{n});

Os ajustes foram realizados para todas as amostras e de acordo com o maior coeficiente de determinação (R²) foi selecionado o modelo que mais se adequou aos dados.

5.4.4. *Cisalhamento oscilatório*

Foram avaliadas as propriedades viscoelásticas dos oleogéis, na temperatura constante de 25 °C através de medidas reológicas em cisalhamento oscilatório para classificar o seu comportamento em função dos espectros mecânicos (ALBANO, FRANCO, TELIS, 2014).

Ensaio foram realizados para determinação da região de viscoelasticidade linear (RVL) das amostras em suas condições extremas (E2 e E13) afim de verificar se seria possível determinar os espectros mecânicos de todas as amostras. Os ensaios foram realizados em

diferentes valores de frequência, 0,1 rad/s, 1 rad/s e 10 rad/s, em uma varredura de deformação crescente de 1^{-5} a 100 e de 1^{-15} até 10 (ALBANO, FRANCO, TELIS, 2014).

Devido as características reológicas encontradas, as amostras não apresentaram região de linearidade, por esse motivo as varreduras de frequência não foram realizadas.

5.5. Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), utilizando o software Minitab 19. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey com nível de significância de 5% ($p \geq 0,05$). A obtenção dos coeficientes e o ajuste do modelo por análise de regressão também foram realizadas através do software Minitab 19.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Preparo das misturas

Com os dados apresentados na Tabela 3 e definindo a massa que teria cada amostra (50g), foram definidas as quantidades (em gramas) de óleo de girassol alto oleico e de cada estruturante por regra de três simples. Esses resultados foram dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Distribuição de cada componente para o preparo das amostras.

<i>Ensaio</i>	<i>ES (g)</i>	<i>LEC (g)</i>	<i>MAG (g)</i>	<i>Óleo de girassol alto oleico (g)</i>
<i>E1</i>	0,1875	0,1250	2,6900	47,0000
<i>E2</i>	0,1250	0,1250	2,7500	47,0000
<i>E3</i>	0,2500	0,2500	2,5000	47,0000
<i>E4</i>	0,1562	0,0625	2,7812	47,0000
<i>E5</i>	0,1562	0,1875	2,6562	47,0000
<i>E6</i>	0,2187	0,0625	2,7187	47,0000
<i>E7</i>	0,1250	0,2500	2,6250	47,0000
<i>E8</i>	0,2187	0,1875	2,5937	47,0000
<i>E9</i>	0,1875	0,0000	2,8125	47,0000
<i>E10</i>	0,2500	0,1250	2,6250	47,0000
<i>E11</i>	0,1250	0,0000	2,8750	47,0000
<i>E12</i>	0,1875	0,2500	2,5625	47,0000
<i>E13</i>	0,2500	0,0000	2,7500	47,0000

6.2. Avaliação da formação de gel

A partir da Figura 5 pode-se perceber que não foram todas as amostras que apresentaram formação de gel, e a partir da Tabela 4, as amostras foram classificadas em 4 (firme) para aquelas que apresentaram consistência visual e 1 (totalmente líquidos) para aquelas que não apresentaram consistência visual, ou seja, que se deslocaram no béquer ao serem inclinadas. Estas amostras que foram classificadas como 1, foram descartadas, restando apenas 6 amostras para a continuidade dos testes, sendo elas: E2, E5, E7, E9, E11 e E13.

Figura 5: Disposição dos béqueres após a análise de formação de gel com 7 dias de armazenamento.



6.3. Análise das propriedades de textura

O teste de extrusão indireta (Back Extrusion) gera informações sobre a firmeza, consistência, coesividade e índice de viscosidade dos alimentos viscosos ou semissólidos, caracterizando suas propriedades de textura. Estes resultados podem ser observados na Tabela 6. Ao penetrar na amostra, a sonda gera um pico de força máxima, que é atribuída a firmeza, e quanto maior a força, mais firme é a amostra. A área sob curva deste pico é a medida de consistência, e quanto maior o valor, mais espessa é a amostra. O retorno da sonda, gera uma região negativa, que resulta do peso da amostra que é levantada. Isso fornece uma indicação da coesão e resistência da amostra para separar-se (escoamento) da sonda. A força negativa máxima indica a coesividade (força adesiva) da amostra; quanto mais negativo for o valor, mais "pegajosa" será a amostra. A área sob a parte negativa do gráfico é conhecida como adesividade

(índice de viscosidade - energia necessária para quebrar o contato da amostra com a sonda) e pode fornecer uma indicação das forças coesivas das moléculas na amostra. Quanto maior o valor, mais energia é necessária para interromper o contato da amostra com a sonda, à medida que a sonda se retira da amostra (KASPARAVICIENE et al., 2018).

Tabela 6: Propriedades mecânicas dos oleogeis obtidos.

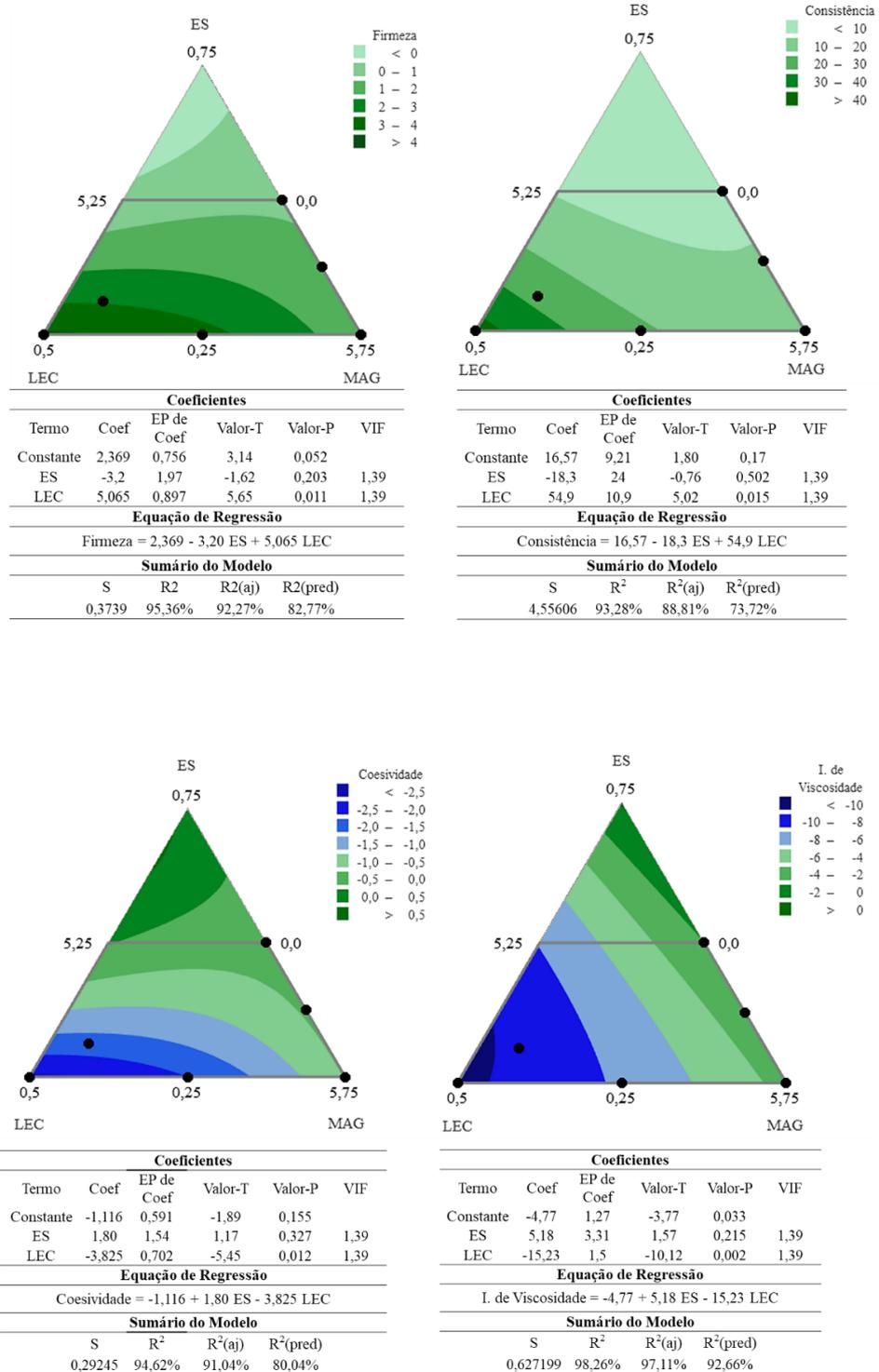
<i>Amostras</i>	<i>Firmeza (N)</i>	<i>Consistência (N/s)</i>	<i>Coesividade (N)</i>	<i>I. de Viscosidade (N/s)</i>
E2	3,302 ± 0,592 ^a	21,75 ± 6,21 ^{bc}	-2,003 ± 0,661 ^b	-7,662 ± 1,208 ^a
E5	2,906 ± 0,428 ^a	27,31 ± 3,02 ^b	-1,721 ± 0,262 ^b	-9,57 ± 1,95 ^a
E7	4,141 ± 0,962 ^a	44,54 ± 10,89 ^a	-2,588 ± 0,591 ^b	-10,38 ± 7,99 ^a
E9	1,201 ± 0,266 ^b	10,71 ± 3,65 ^c	-0,4409 ± 0,1460 ^a	-2,791 ± 1,295 ^a
E11	1,3206 ± 0,149 ^b	13,49 ± 2,02 ^{bc}	-0,4753 ± 0,0708 ^a	-3,311 ± 0,687 ^a
E13	0,8445 ± 0,05 ^b	7,95 ± 0,55 ^c	-0,2817 ± 0,0360 ^a	-2,030 ± 0,226 ^a

Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa ($p \geq 0,05$) de acordo com o teste de médias de Tukey.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 6, é evidente que a amostra E7 apresentou melhores resultados de textura para todos os índices estudados. Ainda, vale ressaltar que, as amostras E2, E5 e E7, as quais expressaram os melhores valores para os índices, são amostras que continham a combinação dos três estruturantes (ES+LEC+MAG).

Os coeficientes calculados por regressão múltipla a partir dos resultados experimentais das propriedades de textura a 25°C encontram-se na Figura 6. Os coeficientes não significativos ($p > 0,05$) foram retirados do modelo devido a sua multicolinearidade (MAG). A análise de regressão indicou que o melhor ajuste para as amostras foi obtido com o modelo linear. As respostas indicaram que a lecitina apresentou influência significativa ($p < 0,05$) nas propriedades de textura dos oleogeis que a contém nas interações ternárias.

Figura 6: Contorno de mistura para as propriedades de Firmeza, Consistência, Coesividade e Índice de Viscosidade dos oleogéis (quantidade de componentes).



A relação entre as propriedades de textura e a quantidade de agentes estruturantes utilizadas no planejamento não pode ser correlacionada em todas as amostras. No entanto, a presença de lecitina de soja foi correlacionada positivamente com a dureza (Firmeza+Consistência) e ligada negativamente a coesividade e índice de viscosidade dos oleogeis E2, E5 e E7. Esses achados indicam que as propriedades de textura por si só não podem prever a estabilidade das matrizes formadas, pois os oleogeis formados por interação binária E9, E11 e E13 eram sólidos, o que significa que não fluíram quando invertidos, apesar de apresentarem valores relativamente baixos de dureza.

Já é bem conhecido que a lecitina pura por si só não pode estruturar solventes não polares. Algumas combinações conhecidas que podem resultar na gelificação do material lipídico são com triestearato de sorbitana (STS) (PERNETTI et al., 2007), pequenas quantidades de um solvente polar (CIRKEL et al., 1999; SHCHIPUNOV, 2001), alfa-tocoferol (NIKIFORIDIS E SCHOLTEN, 2014), fitosteróis (OKURO et al., 2018) e etilcelulose (AGUILAR-ZÁRATE et al., 2019).

De acordo com Nikiforidis e Scholten (2014) hipotetizaram que a formação de gel espalhável e não derramável, como resultado da adição de lecitina e α -tocoferol ao óleo de girassol, é devido a uma mudança na geometria de empacotamento das micelas reversas de lecitina. No caso da lecitina, a pequena área hidrofílica e a grande área hidrofóbica favorecem a formação de pequenas micelas esféricas reversas. A adição de uma molécula hidrofílica maior na forma de α -tocoferol, conduz a uma combinação da geometria dos estruturantes, o que favoreceria o empacotamento mais próximo de micelas cilíndricas ou em fases lamelares, diminuindo o parâmetro de empacotamento molecular. As micelas esféricas reversas não têm a capacidade de se sobrepor para formar redes que abrangem o espaço. No entanto, o envolvimento de α -tocoferol nas micelas reversas esféricas, muito provavelmente, induz a criação de estruturas supramoleculares, também conhecidas como polímeros supramoleculares que são fisicamente reticulados e emaranhados devido a ligações não covalentes, como van der Waals e ligações de hidrogênio. Isso induz a formação de uma rede abrangente e, portanto, a gelificação do sistema.

De acordo com Sintang et al. (2017), a gelificação de ésteres de sacarose em combinação com lecitina de óleo de girassol pode ser atribuída ao efeito hidrofóbico entrópico. Este efeito minimiza a interação do grupo de cabeça hidrofílica-solvente, modulando assim o comportamento de automontagem dos sistemas, onde tais mudanças conformacionais foram induzidas pela presença de lecitina.

Neste sentido, a combinação de estearato de sacarose e monoacilglicerol na presença de lecitina, possivelmente produziu oleogeis com estruturas supramoleculares capazes de sustentar maiores quantidades de óleo em seu reticulado. A lecitina pode ter atuado como um co-emulsificante, induzindo a organização do sistema pelo aumento do volume lipofílico do éster de sacarose (RODRIGUEZ-ABREU et al., 2005).

Por outro lado, segundo Gaudino et al. (2019), que estudaram a formação de oleogel a partir da combinação dos estruturantes lecitina de soja e ácido esteárico em óleo de canola, observaram efeito contrário ao nosso estudo, em que ao reduzir a proporção de lecitina no sistema, o oleogel ganhava estrutura e aumentava sua dureza. Os autores também encontraram que os oleogeis foram amplamente estruturados por meio de um sistema micelar reverso de lecitina, o que segundo os autores, provavelmente conduziu a propriedade de textura mais suave dos oleogeis.

Em relação aos oleogeis obtidos pela mistura binária de éster de sacarose e monoacilglicerol. Sabe-se que os ésteres de sacarose (monoéster, diéster e triéster) têm grande parte hidrofílica e tendem a se automontar em micelas esféricas reversas em solvente não polar. Além disso, apresentam alta velocidade de recristalização (SZÜTS et al., 2008). Essas características podem conduzir a formação de grandes agregados, que causam a formação de textura mais suave ou mesmo a separação de fases.

6.4. Cisalhamento estacionário

Inicialmente, testes foram realizados para determinar o gap que seria utilizado nas análises reológicas, sendo que este deveria ser propício para as diferentes amostras, sem que ocorresse destruição de estrutura (esmagamento) das mesmas, de forma a serem bem acomodadas entre a geometria e a base do reômetro.

Ao realizar o ajuste do modelo Lei da Potência (Tabela 7) foi observado que com o aumento do gap os valores de índice de consistência aumentaram, principalmente para a amostra E13, pois, o pequeno espaçamento entre as placas provoca alterações estruturais na amostra (ALBANO, FRANCO, TELIS, 2014). A partir do gap de 800 μm , em ambas as amostras (E2 e E13) o índice de consistência (K) não teve alteração considerável, garantindo não ocorrer destruição da estrutura e/ou transbordamento da amostra indicando boa acomodação no equipamento, o que foi determinante para adotar esse valor de gap.

Tabela 7: Valores de índice de consistência (K) e coeficiente de determinação (R²) dos ensaios E2 e E13 para diferentes valores de gap.

<i>Ensaio</i>	<i>Gap (μm)</i>	<i>K (Pa.s)</i>	<i>R²</i>
E2	200	0,17	0,997
	500	0,20	0,997
	800	0,21	0,997
	1000	0,22	0,997
E13	200	0,43	0,993
	500	0,36	0,986
	800	0,51	0,991
	1000	0,52	0,991

É perceptível que o gap de 800 e 1000μm apresentaram valores muito semelhantes, todavia foi adotado 800μm, pois uma menor quantidade de amostra seria utilizada para os experimentos.

Após a definição do gap foram avaliados os comportamentos reológicos das amostras por meio dos ajustes realizados (Tabela 8).

Tabela 8: Valores de viscosidade (μ), índice de consistência (K), índice de comportamento (n) e coeficiente de determinação (R²) para as duas rampas das curvas de escoamento das diferentes composições de oleogéis.

		<i>Lei de Newton</i>				<i>Lei da Potência</i>					
		Rampa 1		Rampa 2		Rampa 1			Rampa 2		
Rep		μ	R²	μ	R²	K	n	R²	K	n	R²
E2	1	0,32	0,982	0,28	0,984	0,19	1,1	0,987	0,54	0,84	0,999
	2	0,33	0,984	0,28	0,984	0,20	1,1	0,988	0,55	0,84	0,999
	3	0,32	0,981	0,27	0,985	0,18	1,1	0,987	0,52	0,85	0,999
E5	1	0,28	0,984	0,25	0,980	0,18	1,1	0,988	0,54	0,82	0,999
	2	0,28	0,984	0,25	0,980	0,17	1,1	0,988	0,53	0,82	0,999
	3	0,28	0,983	0,25	0,980	0,18	1,1	0,987	0,53	0,82	0,999
E7	1	0,33	0,982	0,28	0,974	0,23	1,0	0,984	0,64	0,80	0,999
	2	0,32	0,982	0,27	0,976	0,22	1,0	0,984	0,62	0,81	0,999

	3	0,32	0,982	0,27	0,979	0,23	1,0	0,984	0,59	0,82	0,999
E9	1	0,29	0,974	0,24	0,861	0,51	0,87	0,983	1,19	0,63	0,991
	2	0,30	0,975	0,25	0,850	0,49	0,88	0,982	1,25	0,62	0,990
	3	0,28	0,977	0,24	0,877	0,49	0,87	0,985	1,10	0,64	0,992
E11	1	0,34	0,966	0,28	0,685	0,56	0,88	0,973	2,13	0,52	0,980
	2	0,34	0,968	0,27	0,702	0,56	0,88	0,975	2,05	0,53	0,981
	3	0,35	0,970	0,28	0,736	0,54	0,90	0,975	1,93	0,54	0,984
E13	1	0,23	0,988	0,21	0,969	0,32	0,93	0,991	0,52	0,79	0,998
	2	0,24	0,987	0,21	0,964	0,33	0,92	0,989	0,55	0,77	0,998
	3	0,25	0,984	0,22	0,952	0,36	0,92	0,987	0,65	0,75	0,997

Observando os valores apresentados na Tabela 8, pode-se perceber que as amostras E2, E5 e E7 apresentaram forte tendência ao comportamento newtoniano, principalmente em baixas taxas de deformação (Figuras 7a, 7b e 7c). O modelo da Lei de Newton apresentou um bom ajuste aos dados com elevados coeficientes de determinação ($0,97 > R^2 < 0,99$). Porém, na rampa 2 (ascendente) é observado que os valores de viscosidade decrescem ligeiramente em comparação à rampa 1 (descendente), possivelmente ocasionada pelo cisalhamento aplicado, principalmente em maiores taxas de deformação conforme evidenciado, não permitindo caracterizar tais amostras como newtonianas.

Ao ajustar o modelo Lei da Potência para as mesmas amostras (E2, E5 e E7), os ajustes foram melhores ($0,98 > R^2 < 0,99$), apresentando ligeira dilatação onde os valores de n foram iguais a 1,1 para E2 e E5 e comportamento newtoniano, $n=1,0$ para E7 na rampa descendente. Porém, na rampa 2, os valores de n reduziram ligeiramente, apresentando um comportamento pseudoplástico ($n = 0,8$), justificando a tixotropia encontrada nos gráficos apresentados na Figura 7 e Tabela 9, comportamento característico de amostras pseudoplásticas.

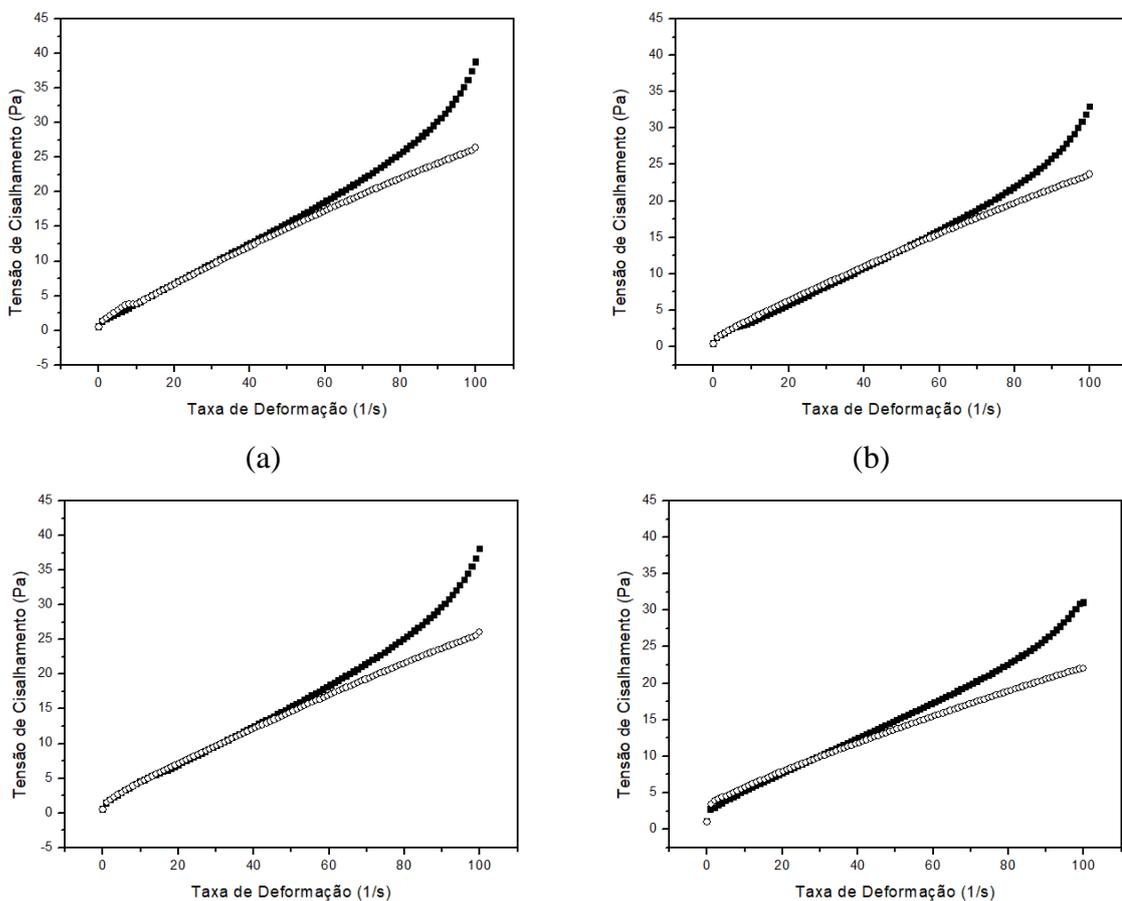
A tixotropia dos oleogéis foi avaliada por quantificação da área sob as curvas de escoamento correspondentes a cada rampa de taxa de deformação, tendo a área sob a primeira curva descendente como referência e equivalente a 100% (ALBANO, FRANCO, TELIS, 2014). Sendo assim, quanto maior o distanciamento de 100% maior a tixotropia das formulações (Tabela 9).

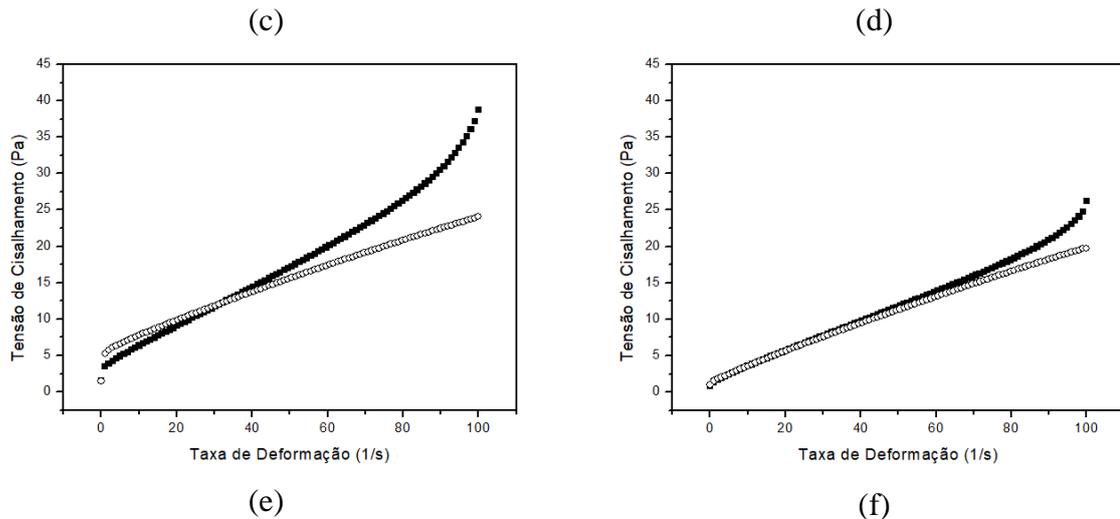
Tabela 9: Avaliação da área tixotrópica sobre a curva de escoamento nas duas rampas de taxa de deformação.

Rampa	E2	E5	E7	E9	E11	E13
1	38,72 (100%)	32,93 (100%)	38,06 (100%)	31,03 (100%)	38,70 (100%)	26,23 (100%)
2	26,38 (68,13%)	23,66 (71,85)	26,00 (68,32%)	22,07 (71,12%)	24,03 (62,11%)	19,73 (75,20%)
	12,34 (31,87%)	9,27 (28,15%)	12,06 (31,68%)	8,96 (28,88%)	14,66 (37,89%)	6,50 (24,80%)

Dessa forma, é possível concluir que a formulação das amostras E2, E5 e E7 influenciou na intensidade da tixotropia, surgindo em maiores ou menores taxas de deformação para cada amostra. A tixotropia se iniciou na amostra E2 em 40s^{-1} , E5 em 60s^{-1} e E7 em 45s^{-1} (Figuras 7a, 7b e 7c). Esses resultados foram condizentes com as análises de textura da mistura ternária que mostraram que a presença da lecitina apresentou influência significativa ($p < 0,05$) e foi ligada negativamente a coesividade e índice de viscosidade dos oleogéis E2, E5 e E7, o que justifica a tixotropia encontrada.

Figura 7: Avaliação da tixotropia nas rampas de taxa de deformação descendente (■) e ascendente (○) para os ensaios (a) E2, (b) E5, (c) E7, (d) E9, (e) E11 e (f) E13.





Entretanto, baseado nas formulações apresentadas na Tabela 5 e, principalmente, da amostra E5 que apresentou uma menor redução de área tixotrópica (71,85%) para amostras ternárias, é possível considerar que maiores teores de ES quando combinados com valores intermediários de LEC (0,18g) tornaram os materiais um pouco mais resistentes ao cisalhamento quando submetidos às maiores taxas de deformação, minimizando alterações de viscosidade aparente e permitindo, por exemplo, sua aplicação quando submetidas em condições de processos industriais específicas como extrusão, mistura, bombeamento, sedimentação e/ou mastigação (10^0 a 10^3) (BARNES; HUTTON; WALTERS, 1989; STEFFE, 1996). É perceptível também que a maior interação e efeito dos componentes estão relacionados às proporções ideais de ES e LEC, visto que ao aumentar ou diminuir o conteúdo de LEC para um mesmo valor de ES nas amostras E2 e E7 a intensidade da tixotropia aumentou e ocorreu precocemente (Tabela 9). Além disso, os valores de K foram menores para a amostra E5 resultando em menores valores de viscosidade aparente em relação à E2 e E7, o que pode ter contribuído para menores tixotropias, uma vez que amostras menos viscosas tendem a ter menor efeito tixotrópico.

Porém, as formulações de E2, E5 e E7 não influenciaram na determinação do tipo de comportamento, que mesmo com todas oscilações de comportamento ao longo da taxa de deformação aplicada, o que é relevante e deve ser muito bem avaliado ao processo que esse tipo de material será submetido, a conclusão final foi que ambas apresentaram comportamento pseudoplástico. Essa discussão pode ser comprovada pelos dados de viscosidade aparente, evidenciados na Figuras 8a, 8b e 8c.

Para as amostras E9, E11 e E13, o modelo Lei da Potência se adequou melhor aos dados ($0,97 > R^2 < 0,99$), contrário ao modelo Lei de Newton, que apresentou coeficientes de

determinação inferiores ($0,65 > R^2 < 0,96$). Portanto, essas amostras tiveram comportamento pseudoplástico ($n < 1$).

Os valores de K da amostra E13 foram inferiores quando comparados com as amostras E9 e E11, o que pode ser justificado de acordo com suas formulações (Tabela 5), e que também foi justificado pelos menores valores de viscosidade aparente (Figura 8f).

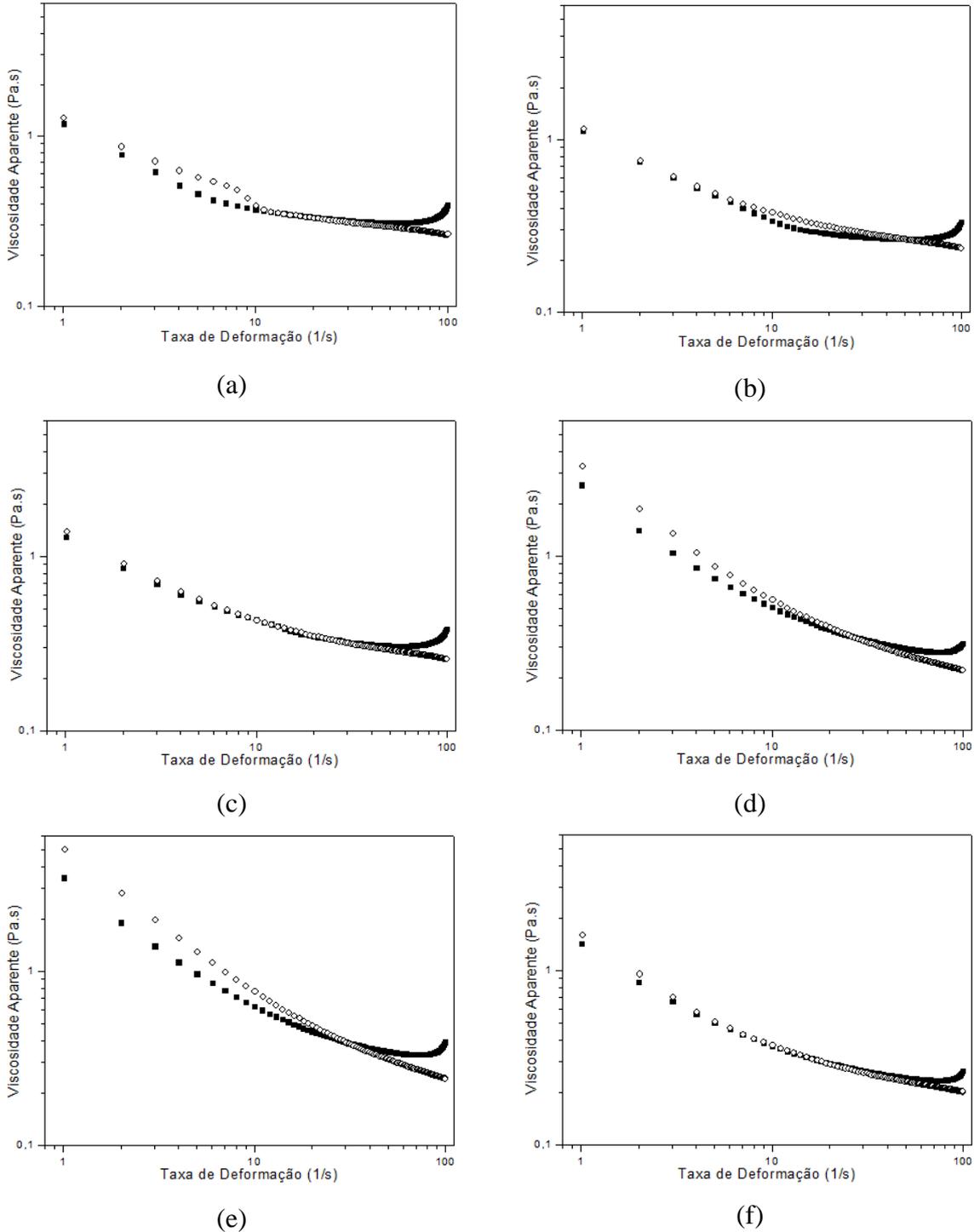
Inicialmente, é importante destacar que nenhuma dessas amostras apresenta teor de LEC. Na amostra E13 havia maiores concentrações de ES e na amostra E11 maior concentração de MAG. Baseado nisto, o maior teor de MAG (2,87g) de E11 foi eficiente como estruturante somente em taxas de deformação muito baixas, onde a rampa ascendente se sobrepôs à rampa descendente (Figura 7e). Foi observado que quando a amostra tende ao repouso (início da rampa 2), o material tende a ter um aumento na sua viscosidade aparente, recuperando um pouco da sua estrutura, apresentando leve dilatância, o que é comprovado pelos maiores valores de índice de consistência para essa amostra. Porém, ao continuar o cisalhamento em aproximadamente em $35s^{-1}$ a tixotropia foi ainda maior em relação à todas as amostras avaliadas (Tabela 9), indicando que materiais com maior teor de MAG são mais sensíveis ao cisalhamento, perdendo sua estrutura facilmente. Tal comportamento pode ser inviável visto que muitas condições de processos industriais são superiores a $35s^{-1}$ e não é desejável que alimentos percam facilmente suas propriedades físicas, como textura, estrutura e viscosidade durante o processamento.

Em contrapartida, amostras com concentrações mais elevadas de ES (E9 e E13) apresentaram menor tixotropia e menor dilatância com relação à amostra E11, o que pode ser mais interessante visando condições de processo e desenvolvimento de formulações.

Com base nos dados obtidos, é possível observar que a tixotropia ocorreu em todas as amostras de forma semelhante, porém nos ensaios E9 (Figura 7d), E11 (Figura 7e) e E13 (Figura 7f) ela ocorreu de forma proeminente.

É importante ressaltar que as amostras E2 (Figura 6a), E5 (Figura 6b) e E7 (Figura 6c), apresentavam em sua composição os três estruturantes (LEC, ES e MAG), porém a que apresentava a maior concentração de ES (Figura 7b) foi a que apresentou uma menor área de tixotropia e maior resistência ao cisalhamento se indicando ser a amostra mais estruturada. Percebe-se também que o ES na presença da LEC apresenta um efeito mais positivo como estruturante no sistema, comparado com este na ausência da LEC, que foi o caso da amostra E13. Portanto, é visível que a LEC em proporções adequadas é fundamental para tornar o material mais estruturado nessas formulações.

Figura 8: Avaliação da viscosidade aparente nas rampas de taxa de deformação descendente (■) e ascendente (○) para os ensaios (a) E2, (b) E5, (c) E7, (d) E9, (e) E11 e (f) E13.



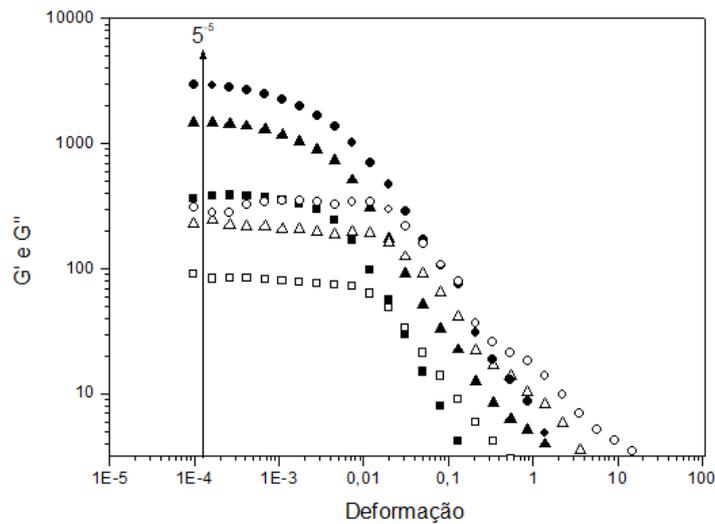
Em geral, pode-se dizer que esse tipo de material, trabalhado em baixas taxas de deformação, se mostra um material mais estruturado, ou seja, sem alterações em sua viscosidade aparente. Porém, ao aumentar a taxa de deformação, tais materiais começam a perder sua estrutura, o que não é interessante para os processos industriais. Uma taxa de deformação de 40

s^{-1} é uma taxa considerável para se trabalhar com esse tipo de material, porém em processos industriais de alimentos, costuma-se trabalhar com taxas maiores, o que torna necessário um melhoramento na formulação desses materiais para sua utilização como estruturantes.

6.5. Cisalhamento oscilatório

Teste de RVL foram realizados, porém, a região encontrada foi muito estreita conforme pode ser observado na Figura 9, o que impediu a realização e continuidade dos ensaios oscilatórios, pois conforme constatado nas curvas de escoamento, as formulações apresentarem forte tendência ao comportamento viscoso e por isso não foi detectado comportamento viscoelástico.

Figura 9: Região de viscoelasticidade linear (RVL) em frequências de 0,1 rad/s (■, □), 1 rad/s (▲, △) e 10 rad/s (●, ○), onde G' (símbolos fechados) e G'' (símbolos abertos) na amostra E13.



7. CONCLUSÃO

Observou-se que, a adição dos emulsificantes modificou as propriedades físicas do óleo de girassol alto oleico, e que os dados obtidos de textura e do comportamento reológico caminharam juntos para evidenciar que o material estudado possui característica de um material pseudoplástico, indicando que há perda de viscosidade aparente modificando assim a sua estrutura. Porém, foi evidente que a combinação dos três estruturantes utilizados, resultou em materiais mais estruturados quando comparado àqueles que eram ausentes de lecitina . Ainda, foi notória a participação do éster graxo de sacarose, uma vez que a amostra combinada dos três estruturantes, com maior concentração de ES resultou em um oleogel com maior resistência ao cisalhamento. Entretanto, maiores estudos de formulação para aumentar a resistência são necessários para permitir sua aplicabilidade em formulações alimentícias e processos industriais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADITIVOS INGREDIENTES. **Emulsificantes: tipos e funções**. São Paulo. Disponível em: <https://aditivosingredientes.com.br/artigos/ingredientes-funcionais/emulsificantes-tipos-e-funcoes>. Acesso em: 09 set, 2020.

AGUILAR-ZÁRATE, M., MACIAS-RODRIGUEZ, B. A., TORO-VAZQUEZ, J. F., & MARANGONI, A. G. (2019). Engineering rheological properties of edible oleogels with ethylcellulose and lecithin. *Carbohydrate polymers*, 205, 98-105.

AKOH, C.C.; Crit. Rev. Food Sci. Nut., 35 (1995).

ALBANO, K. M. **Comportamento reológico de géis de amido de mandioca salsa**. Dissertação - Curso de Engenharia de Alimentos, Unesp, São José do Rio Preto, 2012.

ALBANO, K. M.; FRANCO, C.M. L.; TELIS, V.R.N. **Rheological behavior of Peruvian carrot starch gels as affected by temperature and concentration**, *Food Hydrocolloid*. 40 (2014) 30-43.

ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 239, de 08 de abril de 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2020/alimentos-aberta-cp-sobre-aditivos-e-coadjuvantes>>.

BACKELS, B. J. Distilled Monoglycerides, *Food Manufacture* 2, 25, 1976.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. F. R. S. 1ª ed. **An introduction to rheology**. Amsterdam, The Netherlands Elsevier, 1989.

BERNARDI, A. C.; VILEGAS, W.; CABRERA, A.; POZETTI, G. L. **Obtenção de ésteres graxos de sacarose a partir do óleo das sementes de *Carica papaya L.*** Departamento de Química Orgânica UNESP. Ecl. Quim., São Paulo, 19: 15-20, 1994.

CIRKEL, P. A.; FONTANA, M., & KOPER, G. J. M. (1999). Carotenoids as end-cap-active agents in lecithin cylindrical micelles. *Langmuir*, 15(9), 3026-3028.

CO, E.D.; MARANGONI, A.G. Organogels: An alternative edible oil-structuring method. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 89, n. 5, p. 749-780, 2012.

COMAS, D. I.; WAGNER J. R.; TOMÁS, M. C. (2006). Creaming stability of oil in water (O/W) emulsions: Influence of pH on soybean protein–lecithin interaction. *Food Hydrocolloids*, 20, 990–996.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. *Química de Alimentos*, 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DAMSTRUP, M. L. Process Development of Enzymatic Glycerolysis for Industrial Monoacylglycerol Production. PhD Thesis, Food Production Engineering, Technical University of Denmark, 2008.

DANISCO Corporation. Disponível em <<http://www.danisco.com>> . Acesso em: 03 de setembro de 2020.

DASSANAYAKE, L.S.K.; KODALI, D.R.; UENO, S. Formation of oleogels based on edible lipid materials. *Current opinion in colloid&interface science*, v. 16, n. 5, p. 432-439, 2011.

DOMINGUES, M. A. F. **Avaliação da incorporação de emulsificantes sobre as propriedades de cristalização de gorduras industriais**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 54. 2013.

GARCIA, R.K.; GANDRA, K.M.; BARRERA-ARELLANO, D. Development of a zero *trans* margarine from soy bean-based interesterified fats formulated using artificial neural networks. *Grasas y Aceites*, p.521-530, 2013.

GARTI, N. Food emulsifiers and stabilizers. **Food shelf life stability, chemical, biochemical and microbiological changes**. CRC Press, Boca Raton, p. 211-263, 2001.

GAUDINO, N.; GHAZANI, S. M.; CLARK, S.; MARANGONI, A. G. & ACEVEDO, N. C. (2019). Development of lecithin and stearic acid based oleogels and oleogel emulsions for edible semisolid applications. *Food Research International*, 116, 79-89.

GHOTRA, B.S.; DYAL, S.D.; NARINE, S.S. Lipid shortenings: a review. **Food Research International**, v.35, n.10, p.1015-1048, 2002. [Review].

GODOI, K.R.R. Desenvolvimento e caracterização de organogéis a partir de óleo de soja com diferentes estruturantes lipídicos. Tese de mestrado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2017, 177p.

GROMPONE, M.A. Sunflower oil. In: SHAHIDI, F. **Bailey's industrial oil & fat products**. 6.ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2005. V.2.

HAN, L. et al. Structure and physical properties of organogels developed by sitosterol and lecithin with sunflower oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 91, n. 10, p. 1783-1792, 2014.

HOLDSWORTH, S.D. Dehydration of food products. A review. **Journal of Food Technology**, v.6, p.331 – 370, 1971.

HOLDSWORTH, S.D. Dehydration of food products. A review. **Journal of Food Technology**, v.6,

KASPARAVICIENE, G., KALVENIENE, Z., PAVILONIS, A., MARKSIENE, R., DAUKSIENE, J., & BERNATONIENE, J. (2018). Formulation and characterization of potential antifungal oleogel with essential oil of thyme. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018.

LASZLO, J.A.; COMPTON, D. L.; VERMILLION, K. Acyl Migration Kinetics of Vegetable Oil 1,2-Diacylglycerols. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85, 307 – 312, 2008.

MARANGONI, A. G.; GARTI, N. in *Edible Oleogels: Structure and Health Implications*, ed. MARANGONI, A.G.; GARTI, N. AOCS Press, Urbana, IL, USA, pp. 1-18, 2011.

MARTÍNEZ-FORCE, E.; RUIZ-LÓPEZ, N.; GARCÉS, R. Influence of specific fatty acids on the asymmetric distribution of saturated fatty acids in sunflower (*Helianthus annuus* L.) triacylglycerols. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, v. 57, p. 1595–1599, 2009.

NIKIFORIDIS, C.V.; SCHOLTEN, E. Self-assemblies of lecithin and α -tocopherol as gelators of lipid material. *RSC es*, v.4, n. 5, p. 2466-2473, 2014.

OKURO, P. K., MALFATTI-GASPERINI, A. A., VICENTE, A. A., & CUNHA, R. L. (2018). Lecithin and phytosterols-based mixtures as hybrid structuring agents in different organic phases. *Food Research International*, 111, 168-177.

PAKSERESHT, S.; TEHRANI, M. M. Advances in Multi-component Supramolecular Oleogels- a Review. **Food Reviews International**, Mashhad, Iran, 8 Apr., 2020. Available in: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87559129.2020.1742153>. Access in: 22 sep. 2020.

PATEL, A.R., in *Alternative Routes to Oil Structuring*, Springer International Publishing, 2015, ch. 1, pp. 1-14

PATEL, A.R; DEWETTINCK, K. Edible oil structuring: an overview and recent updates. *Food&function*, v. 7, n. 1, p. 20-29, 2016.

PERNETTI, Mimma et al. Structuring of edible oils by alternatives to crystalline fat. *Current Opinion in Colloid&Interface Science*, v. 12, n. 4-5, p. 221-231, 2007.

RODRIGUEZ-ABREU, C., ARAMAKI, K., TANAKA, Y., LOPEZ-QUINTELA, M. A., ISHITOBI, M., & KUNIEDA, H. (2005). Wormlike micelles and microemulsions in aqueous mixtures of sucrose esters and nonionic cosurfactants. *Journal of colloid and interface science*, 291(2), 560-569.

SAGALOWICZ, L.; LESE, M. E.; WATZKE, H. J.; MICHEL, M. Monoglyceride self assembly Structures as delivery vehicles. *Trends in Food Science & Technology* 17, 204–214, 2006.

SCRIMEMGEOR, C.M. Fatty acid and lipid structure. In: GUSTONE, F.D.; HARDWOOD, J.H.; DIJKSTRA, A. **The Lipid Handbook**. Boca Raton: CRC Press, 2007. P1-28.

SHCHIPUNOV, Y. A. (2001). Lecithin organogel: a micellar system with unique properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 183, 541-554.

SINTANG, M. D. B., DANTHINE, S., PATEL, A. R., RIMAUX, T., VAN DE WALLE, D., & DEWETTINCK, K. (2017). Mixed surfactant systems of sucrose esters and lecithin as a synergistic approach for oil structuring. *Journal of colloid and interface science*, 504, 387-396.

STABLE MICRO SYSTEMS. Comparison of consistencies of full-fat and low-fat mayonnaise by back extrusion. Application Guide, Ref: MAY2/BEC, 2006.

STEFFE, F. L. **Rheological Methods in Food Process Engineering**, Freeman Press, East Lansing, 418 p. 1996.

SZÚTS, Angéla et al. Study of the effects of drugs on the structures of sucrose esters and the effects of solid-state interactions on drug release. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, v. 48, n. 4, p. 1136-1142, 2008.

TAVERNIER, I. et al. Sequential crystallization of high and low melting waxes to improve oil structuring in wax-based oleogels. *RSC Advances*, v. 7, n. 20, p. 12113-12125, 2017.

WANG, D.Q.H.; PORTINCASA, P.; NEUSCHWANDER-TETRI, B.A. Steatosis in the liver. *Comprehensive Physiology*, 2013.

YANG, T., REBSDORF. M., ENGELRUD, U., XU. X. Enzymatic Production of Monoacylglycerols containing polyunsaturated fatty acids through an efficient glycerolysis system *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 1475 – 1481, 2005.