



HENRIQUE MURTA VALENTE

**INTERESTERIFICAÇÃO COMO ALTERNATIVA À HIDROGENAÇÃO PARCIAL
DE GORDURAS: UMA REVISÃO**

**LAVRAS-MG
2022**

HENRIQUE MURTA VALENTE

**INTERESTERIFICAÇÃO COMO ALTERNATIVA À HIDROGENAÇÃO PARCIAL
DE GORDURAS: UMA REVISÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Alimentos, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes

Orientador

**LAVRAS-MG
2022**

HENRIQUE MURTA VALENTE

**INTERESTERIFICAÇÃO COMO ALTERNATIVA À HIDROGENAÇÃO PARCIAL
DE GORDURAS: UMA REVISÃO**

**INTERESTERIFICATION AS AN ALTERNATIVE TO PARTIAL
HYDROGENATION OF FATS: A REVIEW**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Alimentos, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 de Setembro de 2022.

Dr. Cleiton Antônio Nunes UFLA

Dr. Felipe Furtini Haddad UFLA

Dr^a. Michele Nayara Ribeiro UFLA

Ma. Jéssica Sousa Guimarães UFLA

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes
Orientador

**LAVRAS-MG
2022**

*À minha mãe Isabella pelo apoio e carinho em todas as etapas e por ser
o meu maior exemplo de vida.*

Ao meu pai Sergio pelo exemplo de correr atrás e nunca desistir.

*A minha tia Renata por sempre me apoiar em todos os momentos e pelo exemplo de
dedicação e criatividade.*

A minha irmã Isadora por estar ao meu lado.

Aos meus avós e a minha namorada que sempre acreditaram em mim.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Brasil pela oportunidade de viver neste país cheio de oportunidades.

Sou muito grato aos governos federais por terem investido na educação e construído grandes universidades, o que culminou em maior acesso à educação e ao desenvolvimento de cidades menores.

Sou grato também por ter tido a oportunidade de estudar em uma instituição de excelência, sempre foi meu sonho estar em uma universidade federal, e a UFLA realizou esse sonho que sempre tive.

Sou extremamente grato a CONSEA Jr., por ter me aberto as portas do conhecimento profissional e me propiciado a evoluir como ser humano. Um agradecimento especial aos meus amigos Ellen, Marcos, Iris, Marcela e Julia, que fizeram parte da Diretoria Executiva de 2020. Gostaria de um agradecimento especial a Paola, por ter sido minha “mentora” e amiga ao longo de toda a minha jornada.

Sou grato ao NENP por ter me dado a primeira oportunidade de participar de um núcleo de estudos, foi lá que eu percebi que tinha potencial para crescer e agregar conhecimento na vida das pessoas.

Gostaria de deixar meus agradecimentos a Dr^a. Michele Ribeiro, Prof. Dr.^a Ana Carla, Prof. Dr. Cleiton Antonio Nunes, Ma. Jéssica Sousa e a todos que me auxiliaram nas pesquisas, nos projetos de iniciação científica e na elaboração do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Sou grato a CAPES, ao CNPq e a todas as instituições de pesquisa por terem me dado a oportunidade de desenvolver trabalho acadêmicos de relevância para a sociedade.

Agradeço aos meus amigos, colegas, docentes, técnicos, a todos que sempre me ajudaram e me guiaram para um caminho de sabedoria e excelência.

A todos, meu **muito obrigado!**

RESUMO

As comprovações científicas associadas aos malefícios das gorduras trans e saturada sobre as consequências nos aspectos nutricionais desfavoráveis e riscos à saúde estão evidentemente estabelecidas. A indústria alimentícia investe em pesquisas em interesterificação dos ácidos graxos com o intuito de criar formulações, substituindo as gorduras trans e reduzindo o teor de saturados, de maneira que não prejudique a saúde das pessoas. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi revisar criticamente na literatura as técnicas de interesterificação química e enzimática de óleos e gorduras e suas aplicações mais empregadas nos últimos anos. Além disso, analisar o potencial dessas tecnologias em comparação com a hidrogenação parcial para se obter gorduras zero trans e com baixo teor de ácidos graxos saturados. Realizou-se uma pesquisa bibliográfica, onde foram consultados os trabalhos científicos mais relevantes na área e artigos publicados nos últimos 7 anos. As buscas foram realizadas através de uma pesquisa qualitativa no Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico e no Portal de Teses e Dissertações da CAPES. O obstáculo da indústria de alimentos na substituição da gordura trans em diversos produtos reside no desenvolvimento de formulações que apresentem funcionalidade equivalente e viabilidade econômica, não acarretando, entretanto, aumento substancial do teor de ácidos graxos saturados nos alimentos. A metodologia da interesterificação corresponde a uma alternativa importante para a síntese de óleos e gorduras com teores reduzidos de isômeros trans, visando uma melhor nutrição alimentar, devido a praticidade do procedimento químico e seu custeio reduzido agregado. No Brasil, a substituição da gordura trans se deu predominantemente por compostos ricos em gorduras saturadas, refletindo maiores dificuldades em relação aos Estados Unidos, que obtiveram algumas tentativas bem-sucedidas com o uso de misturas de gorduras e plantas geneticamente modificadas. A interesterificação química é mais viável economicamente do que a enzimática e vem sendo mais empregada nos últimos anos para produção de gorduras básicas ao contrário da enzimática que vem sendo aplicada em gorduras com alto valor agregado. Diante disso, foi possível concluir que as gorduras interesterificadas possuem características desejáveis para substituir as gorduras parcialmente hidrogenadas, desde que o objetivo seja a eliminação dos ácidos graxos trans. Além disso, até o momento não foram encontradas tecnologias alternativas que possibilitem a produção de gorduras com as mesmas funcionalidades, e possuam baixo teor de saturados e zero trans. Também são necessárias políticas e ações complementares que possibilitem o sucesso da eliminação da gordura trans no Brasil e que sejam acompanhadas de ações educativas ao consumidor, permitindo tomadas de decisão mais conscientes.

Palavras-Chave: Ácidos graxos trans. Interesterificação química. Interesterificação enzimática. Gordura saturada. Gordura parcialmente hidrogenada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de estruturas dos ácidos graxos encontrados em lipídios.	13
Figura 2 - Reação de formação de um triacilglicerol.	13
Figura 3 - Estrutura molecular de um triacilglicerol (gordura/óleo), no qual o glicerol está esterificado a três ácidos graxos distintos: esteárico (C18:0), oleico (C18:1) e ácidos linolênico (C18:3).....	14
Figura 4 - Diferença entre as configurações <i>cis</i> e <i>trans</i> em ácidos graxos insaturados.	15
Figura 5 - Isômeros <i>cis</i> e <i>trans</i> de um ácido graxo insaturado por ligações duplas.	15
Figura 6 - Consumo de óleos vegetais em todo o mundo no período de 2014 a 2022.....	16
Figura 7 - Exemplo de reação de interesterificação.	22
Figura 8 - Comparação do perfil de derretimento entre um triacilglicerol puro e uma gordura comestível. A gordura derrete em um intervalo de temperatura maior, pois consiste em uma mistura de diversos tipos de triacilgliceróis com pontos de fusão distintos.....	23
Figura 9 - Mecanismos de iniciação (A) e propagação (B) durante a interesterificação química; R1 e R2: cadeias de alquila gordurosa.....	27
Figura 10 - Diagrama de fluxo de uma planta de interesterificação em processo por batelada.	29
Figura 11 - Etapas gerais do processo de interesterificação química.	31
Figura 12 - Mecanismo da reação de interesterificação enzimática por meio da lipase sn-1,3 específica.	32
Figura 13 - Processo contínuo de interesterificação enzimática.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição de ácidos graxos dos principais óleos comercializados.....	17
Tabela 2 - Principais ácidos graxos presentes na natureza.	18
Tabela 3 - Comparação entre a interesterificação química e enzimática.	25
Tabela 4 - Parâmetros de qualidade de óleos antes de passarem pelo processo de interesterificação.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	METODOLOGIA	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1	Lipídios	12
3.2	Hidrogenação parcial e ácidos graxos trans	18
3.3	Interesterificação de óleos e gorduras vegetais	21
3.3.1	Interesterificação Química	24
3.3.2	Interesterificação enzimática	31
3.3.3	Frações oleosas mais recentes produzidas por interesterificação química e suas aplicações em alimentos	35
3.3.4	Frações oleosas mais recentes produzidas por interesterificação enzimática e suas aplicações em alimentos	37
3.4	Histórico dos dispositivos legais	39
3.5	Tendências de consumo	42
4	ANÁLISE DA PESQUISA E SUGESTÕES	44
4.1	Interesterificação versus hidrogenação parcial de óleos e gorduras	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Os lipídios são uma classe de macronutrientes imprescindível para a composição das estruturas biológicas do corpo humano, pois atuam diretamente na manutenção das funções vitais, desempenhando funções estruturais, energéticas e hormonais no organismo (JORGE, 2009). Alguns lipídeos comestíveis, como os que incluem ácidos graxos ω -3, fitoesteróis e carotenoides, podem reduzir os riscos de diversas doenças. Além disso, possuem influência direta nas características físico-químicas dos alimentos, pois são diretamente responsáveis por aspectos como textura, nutrição, sabor e composição calórica (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Todavia, por mais que os lipídios sejam extremamente necessários para a manutenção do organismo e para funções tecnológicas, existem algumas classes desses compostos que causam prejuízo nutricional e podem causar doenças se consumido em excesso, como ácidos graxos *trans* e saturados (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA., 2010).

Segundo Wang et. al (2016), 540.000 mortes globais por doenças coronárias são causadas pelo consumo de ácidos graxos *trans*. Tanto as gorduras *trans* quanto as saturadas apresentam um risco positivo para doenças cardíacas, aumentando linearmente com o consumo, sendo que a ingestão de gordura *trans* compromete cerca de 7 a 8 vezes mais do que a de gordura saturada (KODALI, 2014) e ambas são responsáveis por aumentar o risco de doença cardiovascular, acidente vascular cerebral e diabetes tipo 2 (VANNICE & RASMUSSEN 2014).

Nesse contexto, após diversas pesquisas comprovarem os prejuízos nutricionais ocasionados pelo consumo de ácidos graxos *trans*, a *Food and Drug Administration* - FDA (Agência Federal do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos) determinou em 2015 que as gorduras parcialmente hidrogenadas, principal fonte de gordura *trans* na alimentação, não são mais reconhecidas como produtos seguros para o consumo. O órgão determinou a proibição da produção deste item em solo Americano em janeiro de 2020, ou seja, os fornecedores não podem mais fabricar e as indústrias de processamento não podem mais utilizar como ingrediente.

Para acompanhar as medidas tomadas pelo FDA, foi criado no Brasil em 2015 um Projeto de Lei com a finalidade de banir o uso dessas gorduras em produtos alimentícios. Em 2018, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) homologou a RDC 332/2019, que após dois anos foi atualizada para RDC 514/2021. Essa resolução define os requisitos para uso de gorduras *trans* industriais em alimentos e aponta medidas para que seu uso seja

descontinuado até janeiro de 2023. A partir dessa data, a produção, comercialização e uso desses produtos estarão proibidos.

De acordo com Hissanaga et al. (2012) e Dias et al. (2018), no Brasil, a redução do uso de gordura trans é um processo lento e difícil em relação a outros países, envolvendo diversas dificuldades tecnológicas. O óleo de palma tem se tornado a principal gordura vegetal utilizada como alternativa e a procura continua a aumentar devido a sua consistência semissólida, por ser livre de trans, ter baixo custo e alta disponibilidade. Também associado a doenças cardiovasculares, seu uso gera preocupação por conta do aumento da concentração de gordura saturada e redução do teor de óleos essenciais nos produtos alimentícios (KODALI, 2014).

Com o intuito de conferir funcionalidade, a indústria alimentícia utiliza tecnologias que modificam suas estruturas e as convertem em materiais semissólidos, com o objetivo de aprimorar as características relacionadas ao ponto de fusão, plasticidade, curva de sólidos e estabilidade oxidativa (MENSINK et al., 2016). Dentre essas tecnologias, pode-se citar a hidrogenação, hidrogenação parcial, interesterificação, mistura (*blending*) e fracionamento, sendo a hidrogenação parcial responsável pela produção da gordura parcialmente hidrogenada, principal fonte de ácidos graxos trans presente na alimentação (KODALI, 2014).

A interesterificação é um processo que não interfere no grau de saturação e age reposicionando os ácidos graxos na molécula dos triacilgliceróis, o que permite produzir alimentos sem gordura trans ou com teores muito baixos, e, ainda assim, obter características sensoriais similares (DIAS et al., 2018; RICARDO et al., 2019). Suas implicações para a saúde e para o metabolismo lipídico ainda não são bem conhecidas, sendo necessários mais estudos para garantir a segurança e evitar riscos à população (REMIG et al., 2010; RICARDO et al., 2019). Nos Estados Unidos este processo obteve baixa adesão, possivelmente devido ao custo da tecnologia empregada (VAN CAMP et al., 2012).

Por essas razões, a interesterificação surge como um dos métodos promissores e alternativos a hidrogenação parcial com o intuito de obter gorduras com características semissólidas que não apresentem riscos à saúde (VIRIATO et al. 2019).

Diante desse contexto, o objetivo desse trabalho foi revisar criticamente na literatura as técnicas de interesterificação química e enzimática de óleos e gorduras e suas aplicações mais empregadas nos últimos anos. Além disso, analisar o potencial dessas tecnologias em comparação com a hidrogenação parcial para se obter gorduras zero trans e com baixo teor de ácidos graxos saturados.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho é uma revisão de literatura, no qual realizou-se uma pesquisa bibliográfica, considerando a relevância do tema, sobre as principais soluções obtidas ao se utilizar o processo de interesterificação para substituição da hidrogenação parcial de óleos e gorduras vegetais. Foram consultados periódicos científicos, livros, teses, dissertações e monografias mais relevantes da área. Os artigos pesquisados a fim de levantar as aplicações mais recentes produzidas pelas técnicas de interesterificação foram exclusivamente dos últimos 7 anos.

As buscas foram realizadas através de uma pesquisa qualitativa em diferentes bases de dados, sendo estes o Portal de Periódicos CAPES, Google Acadêmico e o Portal de Teses e Dissertações da CAPES. A busca nos bancos de dados foi realizada utilizando as seguintes palavras-chave (em inglês e português): Trans fatty acids; Chemical interesterification; Enzymatic interesterification, Partially hydrogenated oil; Saturated fat.

3 REVISÃO DE LITERATURA

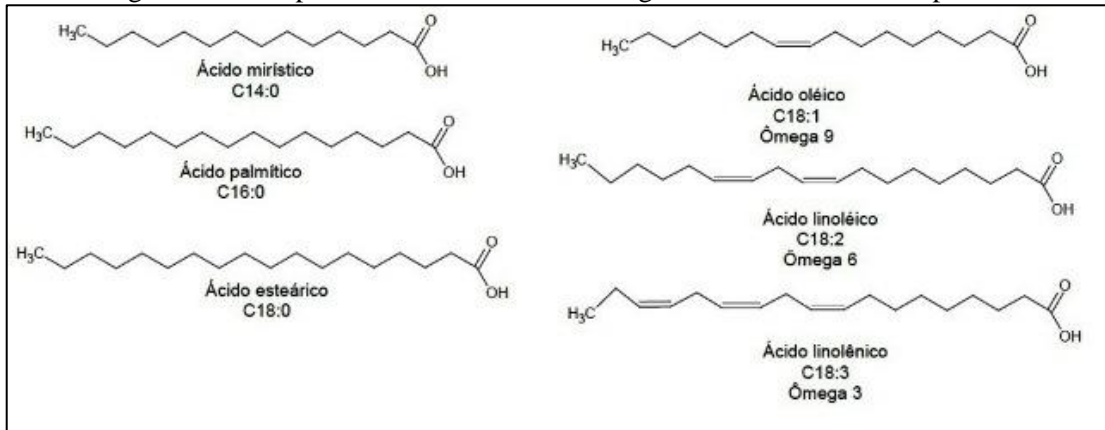
3.1 Lipídios

Os lipídios representam uma grande classe de compostos insolúveis em água essenciais para o organismo humano, pois compõe parte das estruturas das células e fornece energia para manutenção das funções vitais (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Além do mais, essa é a classe de macronutrientes que fornece a maior quantidade de energia por grama, contribuindo com cerca de 30-40% da energia consumida na alimentação em todo o mundo. Também são responsáveis pelo bom funcionamento do metabolismo, atuando como catalizador de reações e auxiliando na absorção de nutrientes e vitaminas (JORGE, 2009).

Os principais componentes lipídicos encontrados em alimentos são os ácidos graxos, compostos que possuem típica estrutura formada por uma cadeia carbônica acíclica que conta com a presença de um grupo carboxílico (-COOH) em sua extremidade (Figura 1). A polaridade, número de insaturações, tamanho e tipo da cadeia são fatores que os diferenciam e que determinam sua solubilidade (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Esses compostos também podem ser classificados de acordo com seu estado físico a uma dada

temperatura. São chamados de óleo se líquido a temperatura ambiente e de gordura se sólido/pastoso (KODALI, 2014).

Figura 1 - Exemplos de estruturas dos ácidos graxos encontrados em lipídios.

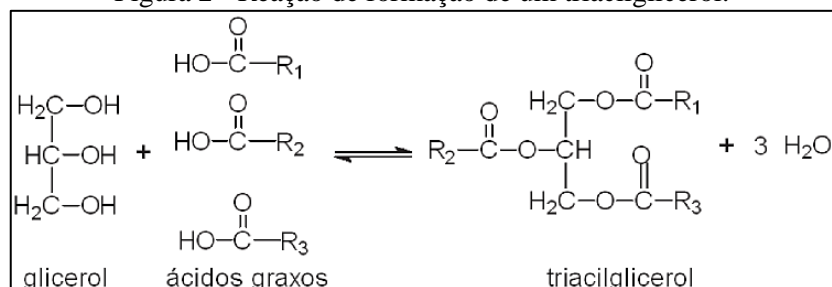


Fonte: Farias et al. (2012)

Segundo Ramalho e Suarez (2013) os óleos e gorduras tem como principais constituintes os triacilgliceróis, mas podem ser encontrados também fosfolipídios, vitaminas lipossolúveis e esteroides. Eles são formados por variadas concentrações e composições de moléculas de triacilgliceróis, responsáveis por cerca de 95% da formação desses lipídios.

Os triacilgliceróis são moléculas constituídas por 3 cadeias de ácidos graxos esterificadas através do grupamento acil a uma “espinha dorsal”, denominada de glicerol (KODALI, 2014). A composição e estrutura molecular são fatores que determinam as propriedades físico-químicas, qualidades funcionais e nutricionais dos óleos e gorduras (MENSINK et al., 2016). A Figura 2 a seguir representa uma reação de formação desse composto.

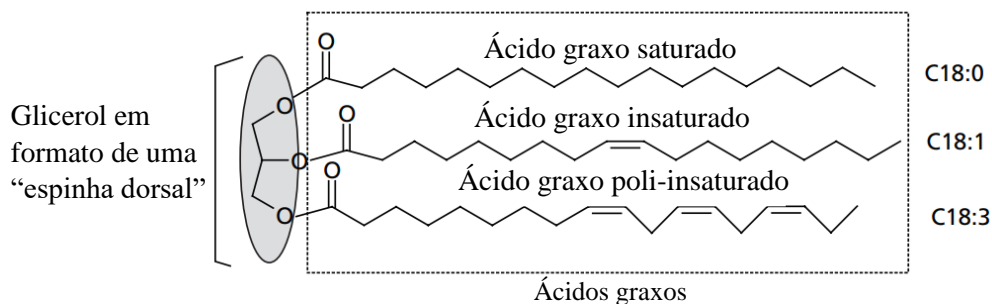
Figura 2 - Reação de formação de um triacilglicerol.



Fonte: Merçon (2010).

Os ácidos graxos são classificados como insaturados, se sua cadeia carbônica apresentar uma ou mais ligações duplas e como saturado, quando apresenta somente ligações simples (O'BRIEN, 2004). Durante a formação do triacilglicerol, os ácidos graxos saturados e insaturados (monoinsaturados e poliinsaturados) são conectados as três posições presentes (sn-1, sn-2, sn-3) na espinha dorsal da molécula de glicerol (Figura 3), variando sua proporção de acordo com a origem do lipídeo (KADHUM; SHAMMA, 2017).

Figura 3 - Estrutura molecular de um triacilglicerol (gordura/óleo), no qual o glicerol está esterificado a três ácidos graxos distintos: esteárico (C18:0), oleico (C18:1) e ácidos linolênico (C18:3).

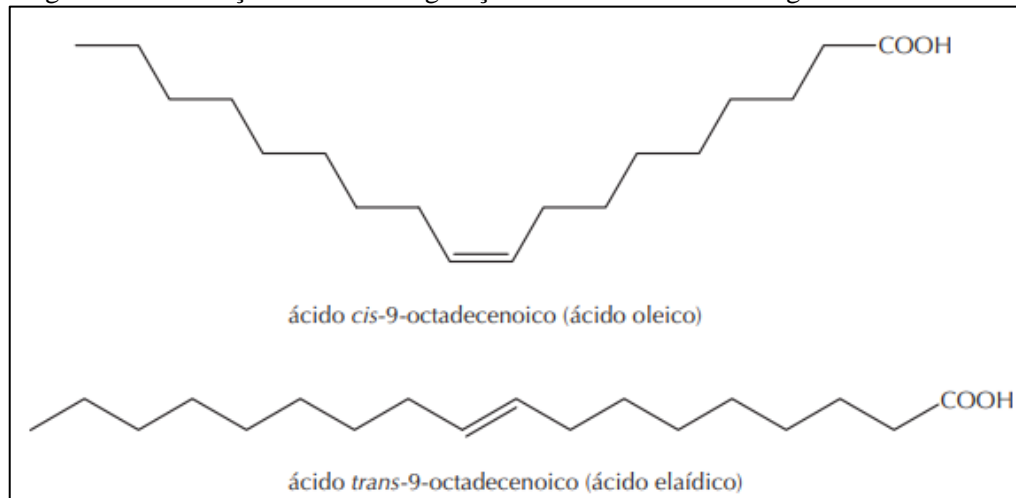


Fonte: Adaptado de Kodali (2014).

Dentre os componentes lipídicos, a maior parte dos ácidos graxos insaturados são encontrados na natureza com a geometria espacial na forma *cis*. Nesta configuração, os hidrogênios ligados aos carbonos da dupla ligação se encontram do mesmo lado (ANVISA, 2018; OTENG e KERSTEN, 2020).

Na configuração *cis*, como apresentado na Figura 4, os hidrogênios se encontram no mesmo lado da ligação dupla, o que torna a molécula mais instável por conta de sua conformação curvada, que não permite o empacotamento. Essa configuração prejudica as forças intramoleculares, tornando-as enfraquecidas, e conseqüentemente reduzindo seu ponto de fusão. O estado físico se altera de acordo com o número de ligações duplas, ou seja, quanto mais ligações duplas, mais a molécula estará curvada e as forças se tornarão mais fracas. Logo, esse é um dos fatores preponderantes para que a maioria dos óleos insaturados se encontrem como líquido a temperatura ambiente (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

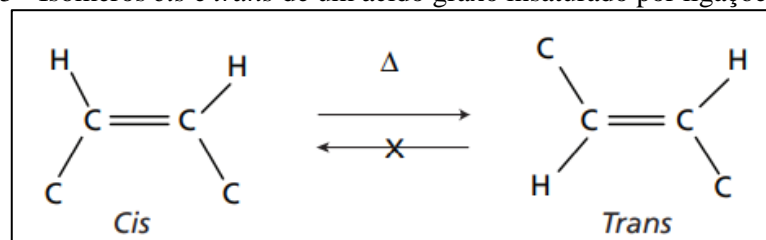
Figura 4 - Diferença entre as configurações *cis* e *trans* em ácidos graxos insaturados.



Fonte: Damodaran; Parkin; Fennema (2010).

Diferentemente dos ácidos com configuração *cis*, os ácidos graxos com isomeria *trans* possuem uma cadeia mais linear, o que favorece o empacotamento, a cristalização e eleva as forças intermoleculares, resultando em maior estabilidade e ponto de fusão mais elevado (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Os ácidos graxos *trans* são formados a partir dos ácidos graxos insaturados e possuem a inversão na dupla ligação (Figura 5), o que acarreta o hidrogênio na posição transversal e provoca a linearização da cadeia, fazendo com que se pareçam estruturalmente com os ácidos graxos saturados, desta forma obtendo suas propriedades termodinâmicas alteradas e melhorando sua estabilidade (ANVISA, 2018; OTENG e KERSTEN, 2020). Esses compostos podem ser formados de diversas maneiras, entre elas estão a hidrogenação parcial, aquecimento a elevadas temperaturas, durante o processo de refino, em frituras e por biohidrogenação em animais (KODALI, 2014).

Figura 5 - Isômeros *cis* e *trans* de um ácido graxo insaturado por ligações duplas.

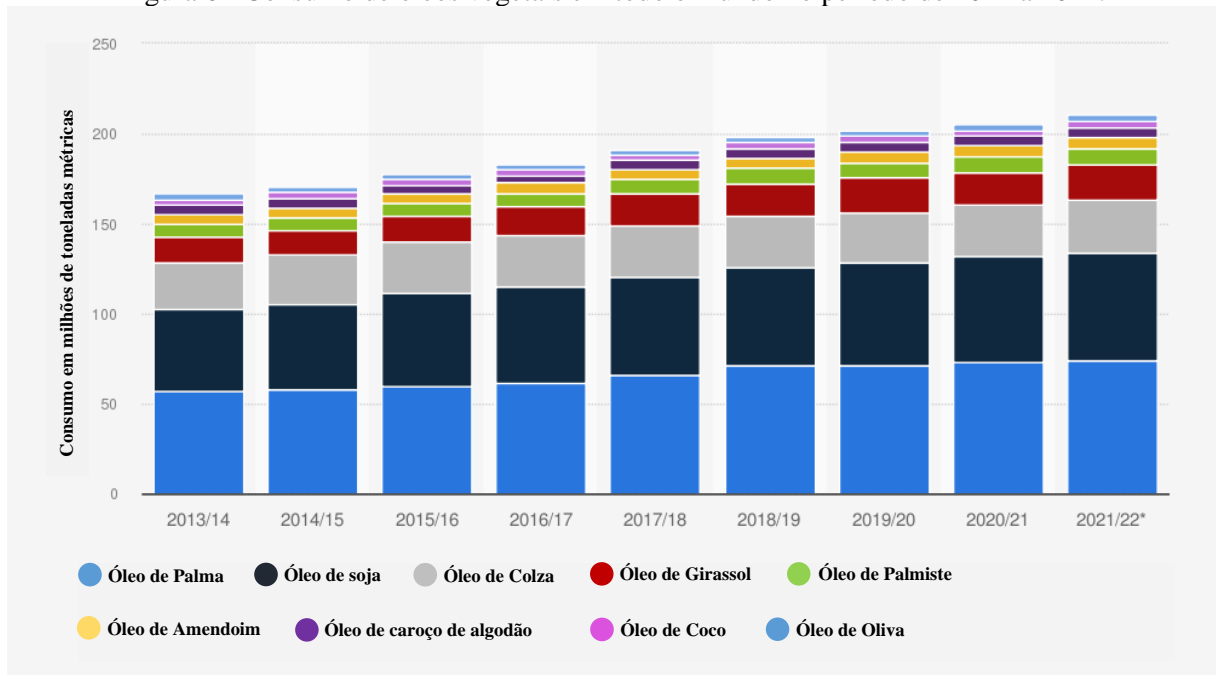


Fonte: Kodali (2014).

Segundo Kodali (2014), mais de 90% dos óleos e gorduras destinados para a produção de alimentos são de origem vegetal. Os óleos vegetais que possuem maior disponibilidade no mercado global são soja e palma, seguidos pelos óleos de canola, girassol, palmiste,

amendoim, coco e azeite. Os demais óleos destinados ao consumo humano, como o azeite de oliva, não são utilizados pela indústria devido à baixa disponibilidade e alto custo. O uso de certos óleos na dieta em todo o mundo é ditada pelo custo, disponibilidade, geografia de produção e características de nutrição/saúde (KODALI, 2014) A composição de ácidos graxos predominante nesses óleos estão representados na Tabela 1. O consumo mundial de óleos vegetais nos últimos anos é representado na Figura 6.

Figura 6 - Consumo de óleos vegetais em todo o mundo no período de 2014 a 2022.



Fonte: Adaptado de US Department of Agriculture; USDA Foreign Agricultural Service (2022).

O óleo de palma vem sendo amplamente utilizado pela indústria de alimentos pois possui duas características, que interligadas, o torna único, são elas: disponibilidade e versatilidade. O óleo de palma, conforme apresentado na Tabela 1, possui teores balanceados de ácidos graxos saturados (palmítico, C16) e insaturados (oleíco C18:1), o que acarreta um ponto de fusão intermediário (35-38°C) e confere características de um material semi-sólido a temperatura ambiente, com boa estabilidade oxidativa. Além disso, o óleo de palma é o óleo vegetal que possui maior produtividade por hectare e não é sazonal, ou seja, não depende de períodos de safra para gerar frutos. Esses fatores o credenciam para ser um produto natural com ótimo custo-benefício e com características similares a de gorduras parcialmente hidrogenadas, sem passar por processos de transformação. Diante disso, o óleo de palma e suas frações, como a estearina, oleína, e a fração média da palma (FMP) por serem óleos naturais e livres de *trans*, vem se tornando excelentes alternativas para substituição das

gorduras parcialmente hidrogenadas, entretanto, seu lento comportamento de cristalização, que pode gerar grânulos, e seu alto teor de ácidos graxos saturados, faz com que métodos alternativos como a interesterificação surjam como muito promissores (KODALI, 2014).

Tabela 1 - Composição de ácidos graxos dos principais óleos comercializados.

Fonte	C6-C10	C12	C14	C16	C18	C20-C24	C18:1	C18:2	C18:3
Soja	-	-	-	11	4	-	23	55	7
Algodão	-	-	1	22	3	-	19	54	1
Girassol	-	-	-	7	5	-	19	68	1
Canola	-	-	-	4	2	-	62	22	10
Amendoim	-	-	-	11	2	7	48	32	
Milho	-	-	-	11	2	-	28	58	1
Coco	15	47	18	9	3	-	6	2	-
Palmiste	8	48	16	8	2	-	15	3	-
Palma	-	-	1	45	4	-	40	10	-

Fonte: Kodali (2014).

Em óleos e gorduras em sua forma natural, o ponto de fusão pode ser determinado a partir da composição de ácidos graxos (KODALI, 2014). Os principais ácidos graxos presentes na natureza e seus respectivos pontos de fusão estão representados na Tabela 2 a seguir.

Para que estes óleos e gorduras estejam adequados para uso em alimentos e conseqüentemente ao consumo humano, estes precisam passar por diversas etapas na indústria de modo a retirar todas as impurezas presentes que podem afetar a qualidade sensorial e físico-química. Os óleos processados passam por diversas etapas, como o refino físico ou químico para remoção de fosfolipídios, o branqueamento para remover pigmentos de cor e a desodorização com o objetivo de remover os compostos voláteis. Estes óleos são denominados de RBD (refinado, branqueado e desodorizado) (KODALI, 2014).

Tabela 2 - Principais ácidos graxos presentes na natureza.

Nome oficial	Nome usual	Símbolo	Ponto de fusão (°C)
Ácido butanóico	Ácido butírico	C4:0	-8,0
Ácido hexanóico	Ácido capróico	C6:0	-3,0
Ácido octanóico	Ácido caprílico	C8:0	16,5
Ácido decanóico	Ácido cáprico	C10:0	31,0
Ácido dodecanóico	Ácido láurico	C12:0	44,0
Ácido tetradecanóico	Ácido mirístico	C14:0	54,0
Ácido hexadecanóico	Ácido palmítico	C16:0	63,0
Ácido cis-hexadec-9-enóico	Ácido palmitoleico	C16:1(9)	0,0
Ácido octadecanóico	Ácido esteárico	C18:0	70,0
Ácido cis-octadec-9-enóico	Ácido oleico	C18:1(9)	13,0
Ácido cis,cis-octadec-9,12-dienóico	Ácido linoleico	C18:2(9,12)	-5,0
Ácido cis,cis,cis-octadec-9,12,15- trienóico	Ácido linolênico	C18:2(9,12,15)	11,0
Ácido eicosanóico	Ácido araquídico	C20:0	75,0

Fonte: Merçon (2010).

Contudo, o maior objetivo da indústria alimentícia ao se utilizar os lipídeos na formulação de produtos é de atribuir funcionalidade, seja para dar corpo e textura, atuar como emulsificante, ser fonte e agente carregador de aromas, garantir estabilidade e atuar como veículo para transmitir calor em processos de fritura (JORGE, 2009). Diante disso, a hidrogenação parcial se tornou o método mais utilizado pela indústria alimentícia, pois possibilita transformar óleos líquidos em gorduras plásticas, o que ampliou a possibilidade de aplicações em formulações de produtos alimentícios. Todavia, por conta da formação de ácidos graxos *trans*, esse processo está sendo banido ao redor do mundo. Portanto, o estudo de métodos alternativos como a interesterificação, torna-se de extrema importância.

3.2 Hidrogenação parcial e ácidos graxos *trans*

Os óleos e as gorduras vegetais em sua forma natural tendem a não apresentar características plásticas adequadas para serem incorporadas nas formulações da maioria dos

produtos alimentícios. Por esta razão, a indústria de alimentos tem desenvolvido tecnologias de modificação de óleos e gorduras tornando-as mais adequadas para aplicações específicas (COSTALES; FERNÁNDEZ, 2009).

O processo de hidrogenação de óleos comestíveis foi descoberto por Wilhelm Normann em 1902, e desde então apresenta grande importância econômica mundial (DIJKSTRA, 2012). No Brasil, a indústria de hidrogenação de óleos vegetais surgiu no final da década de 1950, produzindo a princípio gordura hidrogenada e margarina dura (MARTIN et al., 2008). Com o aperfeiçoamento do processo de hidrogenação, através do desenvolvimento da hidrogenação seletiva (DIJKSTRA, 2010), tornou-se possível a produção de gorduras específicas, com diferentes características sensoriais e pontos de fusão, ampliando sua utilização na produção de alimentos, como na utilização em margarinas, shortenings (gorduras específicas), pastas para untar a base de chocolate, biscoitos e produtos de panificação (PHILIPPAERTS; JACOBS; SELS, 2013).

Vários fatores contribuíram para o crescente aumento da utilização da gordura parcialmente hidrogenada, entre eles, o baixo custo, boa disponibilidade, boa plasticidade, excelente comportamento de fusão, boa estabilidade oxidativa e a alegação de ser uma gordura livre de colesterol e com menos gordura saturada que as gorduras de origem animal (MENAA et al., 2013a; SCHEEDER, 2007; VALENZUELA; MORGADO, 1999; WASSELL; YOUNG, 2007). A popularização da gordura parcialmente hidrogenada foi impulsionada pela descoberta dos impactos negativos na saúde dos ácidos graxos saturados, nas décadas de 1950 a 1970 (WHO, 2018b).

No entanto, a gordura parcialmente hidrogenada é a principal fonte de gordura *trans* de origem tecnológica (não biológica) presente na alimentação. No início dos anos 2000 contribuíam com cerca de 80% a 90% de todos os isômeros *trans* que estavam presentes na alimentação (LARQUÉ; ZAMORA; GIL, 2001) e apesar dos benefícios tecnológicos, a partir da década de 90, pesquisas passaram a associar o consumo de gordura *trans* com problemas relacionados à saúde, em especial com as doenças cardiovasculares (BAYLIN et al., 2003; FOURNIER et al., 2012; KARBOWSKA; KOCHAN, 2011; MENSINK; KATAN, 1990; MOZAFFARIAN; ARO; WILLETT, 2009; MOZAFFARIAN; CLARKE, 2009; WILLETT, 2012).

De acordo com Barros (2020) os ácidos graxos *trans* utilizados industrialmente tem origem no método da hidrogenação parcial e são desenvolvidos em tanques vedados, onde o gás hidrogênio é adicionado aos óleos insaturados na presença de catalisador finamente fragmentado, a temperaturas que ultrapassam 180°C, com pressões próximas a 15 atm.

Sabarense (2003) e Gioielli (2003) destacam que durante o desdobramento do processo, uma pequena proporção de ligações duplas dos ácidos graxos são suprimidos, ao passo que uma outra quantidade significativa de duplas ligações *cis* são isomerizadas mediante a uma alteração pontual ao longo da cadeia ou pela conversão *cis-trans*. Esse processo tem por função conferir maior ponto de fusão aos óleos vegetais, promover estabilidade à oxidação lipídica e reduzir o tempo de cozimento.

Por isso, Ghotra et al. (2002) indicam que no processo de hidrogenação parcial nem todas as ligações duplas são saturadas e logo resultam na síntese de alguns isômeros *trans*, contrariamente ao que ocorre com o método de hidrogenação total, onde não há a formação de isômeros *trans* devido a saturação de todas as duplas ligações. De acordo com Ray (1985) o emprego de baixas temperaturas e alta pressão na presença de um catalisador, acarreta a formação de quantidades menores de ácidos graxos *trans*. No entanto, essas condições de reação tornam o processo lento e ainda continuam formando gorduras ricas nesses compostos (IIDA et al., 2021).

O objetivo da hidrogenação parcial é de conferir funcionalidade aos óleos líquidos, tornando-os mais sólidos em temperatura ambiente, com comportamento adequado de cristalização e com maior estabilidade oxidativa, aumentando o tempo de vida de prateleira do produto (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A hidrogenação pode ser parcial ou total. A hidrogenação total produz gorduras muito sólidas, totalmente saturadas e a hidrogenação parcial caracteriza-se pela produção de gorduras semi-sólidas, parcialmente saturadas e com a presença de ácidos graxos insaturados com configuração isomérica *trans*, em especial o ácido elaídico - C18:1 n-9t (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). O processo de hidrogenação parcial vinha sendo o mais utilizado, porém, atualmente, em função da formação de isômeros *trans*, esse processo vem sendo substituído pela hidrogenação total, fracionamento e principalmente pela interesterificação.

Alguns ácidos graxos *trans* podem ter como fonte produtos cárneos e derivados de leite de animais ruminantes, formados por bio-hidrogenação durante processos metabólicos de microrganismos, no entanto, os isômeros *trans* são formados principalmente durante o processamento industrial através da hidrogenação parcial de óleos vegetais ricos em ácidos graxos poli-insaturados ou durante o processo de fritura (OTENG e KERSTEN, 2020; MERÇON, 2010; IZAR, 2021).

3.3 Interesterificação de óleos e gorduras vegetais

Em decorrência do elevado grau de preocupação, devido aos impactos negativos resultantes das implicações desfavoráveis originárias do impacto nutricional e riscos à saúde das pessoas, além de diversas recomendações mundiais sugerindo evitar o consumo de ácidos graxos *trans*, Enig (2008) salienta que uma das soluções encontradas pela indústria de alimentos é um processo altamente industrializado, chamado de interesterificação, que consiste basicamente em modificar, de forma seletiva ou não, a posição dos ácidos graxos nas moléculas de triacilgliceróis (KODALI, 2014).

Segundo Petrauskaite et al., (1998), a interesterificação é uma metodologia que possibilita produzir óleos e gorduras com diferentes funções, com o intuito de ser um método opcional ao processo de hidrogenação parcial, pois, de acordo com Norizzah et al., (2004), o aumento dos cuidados com a saúde levaram as pessoas a reduzirem o consumo de ácidos graxos *trans*, o que alertou a indústria para buscar um método alternativo que não forme esses compostos prejudiciais. Além do mais, o processo de interesterificação não promove a isomerização dos ácidos graxos de *cis* para *trans*, pois os ácidos graxos não são modificados, mas sim rearranjados, dando origem a novas estruturas (LIU; LAMPERT, 1999). Distingue-se também do fracionamento, que promove a modificação dos triacilgliceróis de partida, que só então podem ser separados em duas ou mais frações (RAMAMURTHI; MCCURDY, 1995).

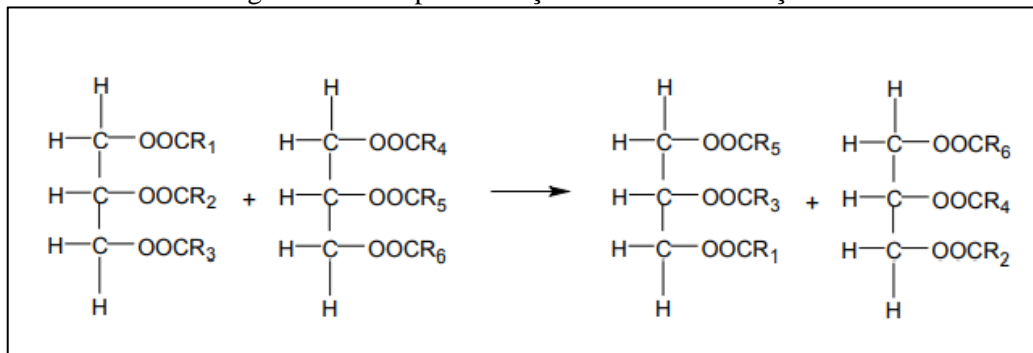
As modificações nos atributos de fusão e solidificação de óleos e gorduras provenientes da técnica da interesterificação são ocasionadas devido às proporções relativas dos elementos acilglicerídicos após a reordenação das estruturas dos ácidos graxos. Desta forma, a estabilidade e as características intrínsecas dos produtos interesterificados podem ser planejadas. Em geral, a interesterificação promove o aumento do ponto de fusão de óleos e gorduras, mediante a inclusão de ácidos graxos saturados na posição sn-2 do glicerol e segundo Hustedt et al. (1976) e Kok et al. (1999), conseqüentemente, é possível a obtenção de produtos plásticos com baixos teores de isômeros *trans*.

A interesterificação compreende uma metodologia desenvolvida para ser opção ao processo de hidrogenação parcial de óleos e gorduras, visto que propicia a síntese de ácidos graxos com finalidades singulares. Em óleos e gorduras vegetais, as ligações entre os ácidos graxos e a cadeia de glicerol são realizadas comumente de maneira organizada, não aleatória. Os ácidos graxos saturados possuem preferência pelos grupos acil nas posições 1 e 3, enquanto os insaturados possuem preferência pelo grupo na posição 2 da espinha dorsal do glicerol. A reação de interesterificação (Figura 7) é utilizada para rearranjar os grupos acil

entre os triacilgliceróis a fim de alterar as propriedades físico químicas e conferir funcionalidade, podendo ser aplicada de forma direta nos óleos naturais, hidrogenados, fracionados ou em misturas (*blending*) (KODALI, 2014).

Ademais, a interesterificação pode ocorrer dentro da mesma molécula (intramolecular) ou entre moléculas diferentes (intermolecular). O produto interesterificado apresenta a mesma concentração em ácidos graxos do material inicial, mas a composição dos triacilgliceróis é modificada. De acordo com Kodali (2014), os principais objetivos deste processo são melhorar os perfis gerais de fusão, a compatibilidade entre os diferentes triacilgliceróis no estado sólido, modificar a plasticidade de um produto alterando seu comportamento de cristalização e combinar propriedades de produtos mistos. As propriedades e características do produto final são totalmente relacionadas com a composição de ácidos graxos das matérias primas iniciais.

Figura 7 - Exemplo de reação de interesterificação.



Fonte: Jorge (2009).

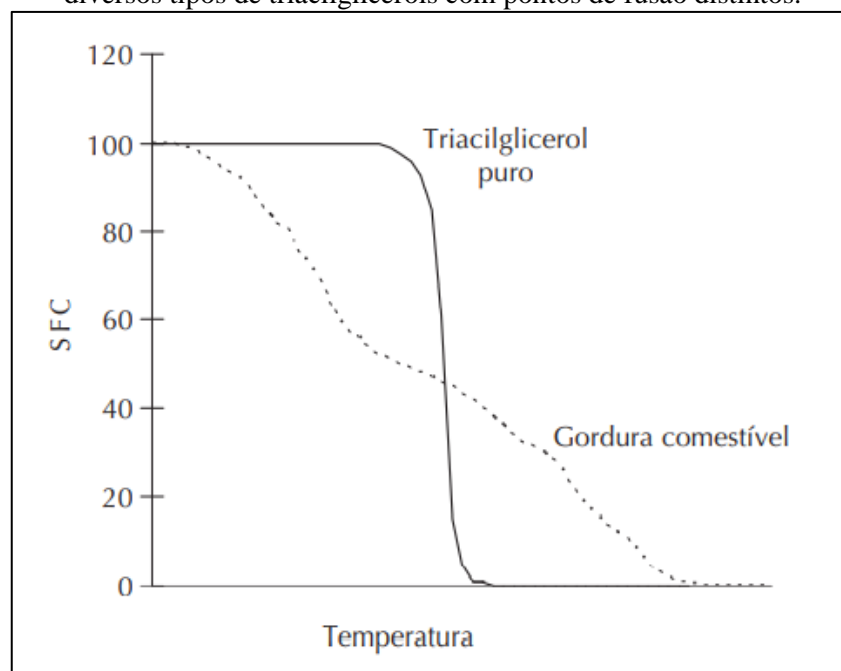
Para que a reação ocorra, são necessários baixos níveis de água, de peróxidos e de ácidos graxos livres, pois esses componentes inativam o catalisador. A transesterificação aleatória ocorre em temperaturas na faixa de 100 a 150°C, sendo concluída por volta de 30 a 60 minutos. O processo é interrompido através da inativação do catalisador por meio da adição de água (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA., 2010).

A interesterificação pode ser realizada através da mistura de dois lipídios com pontos de fusão distintos ou entre dois lipídios com composição de triacilgliceróis semelhantes. A primeira opção permite obter um produto com características mistas, no qual a combinação de ácidos graxos saturados e insaturados permitirá um perfil de derretimento gradual e descontínuo ao longo do aquecimento, o que aumenta o intervalo de plasticidade (Figura 8). A opção alternativa possibilita a conversão de triacilgliceróis homogêneos em heterogêneos, o

que amplia o intervalo plástico favorecendo o comportamento de cristalização, e consequentemente, a estabilidade do produto (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Nesse contexto, para obter produtos com características semelhantes ao da gordura parcialmente hidrogenada, são utilizadas misturas com óleos de diferentes pontos de fusão. É necessário que uma das matérias primas utilizadas na reação seja um óleo rico em ácidos graxos saturados, pois este método propicia a formação de uma gordura consistente com características plásticas, emulsionantes e livre de ácidos graxos *trans* (KODALI, 2014). Esse tipo de reação acarreta a formação de uma nova composição de triacilgliceróis com propriedades singulares (MENSINK et al., 2016).

Figura 8 - Comparação do perfil de derretimento entre um triacilglicerol puro e uma gordura comestível. A gordura derrete em um intervalo de temperatura maior, pois consiste em uma mistura de diversos tipos de triacilgliceróis com pontos de fusão distintos.



Fonte: Damodaran; Parkin; Fennema (2010).

Outra forma de rearranjo pode ser realizado com o uso de lipases específicas como catalisadores, no qual é possível selecionar as posições do triacilglicerol que serão rearranjadas e/ou especificar o tipo de ácido graxo que será esterificado. Esse processo pode ser chamado de dirigido e permite maior controle da reação a fim obter gorduras com características delimitadas e superiores (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Dessa forma, a interesterificação tem se mostrado como o principal método para a preparação de gorduras com baixos teores de ácidos graxos *trans* (RIBEIRO et al., 2007;

SUNDRAM; KARUPAIAH; HAYES, 2007). Entretanto, segundo Enig (2008), este método decorre de um processo altamente industrializado, com aquecimento que inicia com óleos que já foram submetidos a processos altamente industrializados e o produto resultante pode até ser “livre de trans”, porém ele ainda irá conter resíduos de produtos químicos repletos de radicais livres.

Segundo Ribeiro et al. (2007), são conhecidos dois tipos de interesterificação na comunidade científica: a química e a enzimática. No processo químico, é utilizado um solvente que propicia a distribuição dos ácidos graxos na cadeia de glicerol através das composições tendendo para o equilíbrio químico. No processo enzimático, o rearranjo dos ácidos graxos é feito de forma mais específica, no qual é possível priorizar as moléculas presentes nas posições 1 e 3, mantendo a posição 2 mais preservada.

Por conta do baixo custo, a interesterificação química sempre foi a opção para desenvolver gorduras para commodities, enquanto a interesterificação enzimática era um processo destinado para elaboração de gorduras especiais. O processo químico é mais simples e barato de ser executado, porém, possui muitas desvantagens, como a geração de efluentes e perdas de óleos durante o processo. Entretanto, por conta de maior disponibilidade comercial de lipases imobilizadas e melhor eficiência no processo, atualmente o processo enzimático se tornou uma boa opção custo-benefício para desenvolver gorduras mais simples (KODALI, 2014). A Tabela 3 a seguir enfatiza as principais diferenças entre as duas técnicas de interesterificação.

3.3.1 Interesterificação Química

Para que os ácidos graxos sejam redistribuídos entre as moléculas dos triacilgliceróis via interesterificação química, torna-se necessária a adição de calor e de catalisadores alcalinos na reação. O rearranjo químico pode ocorrer de forma natural em elevadas temperaturas (250 °C ou superiores), contudo, requer um longo tempo e normalmente promove a decomposição e a polimerização de algumas substâncias. Uma forma de diminuir a temperatura do processo e acelerar a reação é por meio do uso de catalisadores (O'BRIEN, 2004).

Tabela 3 - Comparação entre a interesterificação química e enzimática.

Características	Interesterificação Enzimática	Interesterificação Química
Catalizador	Biocatalizador (lipases microbianas)	Catalisador químico (alquilato de sódio, sódio metálico, misturas de sódio/potássio, hidróxido de sódio/potássio em combinação com glicerol)
Condição para reação	Condições suaves de processamento	Condições pesadas de processamento
Tipo de reação	Aleatória ou específica. Muito mais específica do que o processo químico	Reação aleatória que gera posições aleatórias dos grupos acil na espinha dorsal do triacilglicerol
Subprodutos e perdas	Pouco	Elevado
Controle da reação	As enzimas podem ser facilmente inativadas	O controle é mais complicado do que o processo enzimático
Reaproveitamento de produto	Fácil	Difícil
Especificidade	Alta	Não há
Ácidos graxos trans	Não produz	Não produz
Custo	O custo das enzimas é elevado, mas pode ser reduzido se forem utilizadas lipases imobilizadas	Custo baixo, o fator que encarece um pouco o processo é o uso de calor
Desafio técnico	A atividade e estabilidade de enzimas podem ser afetadas pela temperatura, pH, e presença de metais pesados. A desodorização deve ser realizada.	Purificação, branqueamento e desodorização pós-processo são necessários para remover subprodutos, incluindo os sabonetes.
Preocupação ambiental	Processo limpo, sem danos ao meio ambiente	Processo danoso ao meio ambiente

Fonte: Sivakanthan & Madhujith (2020).

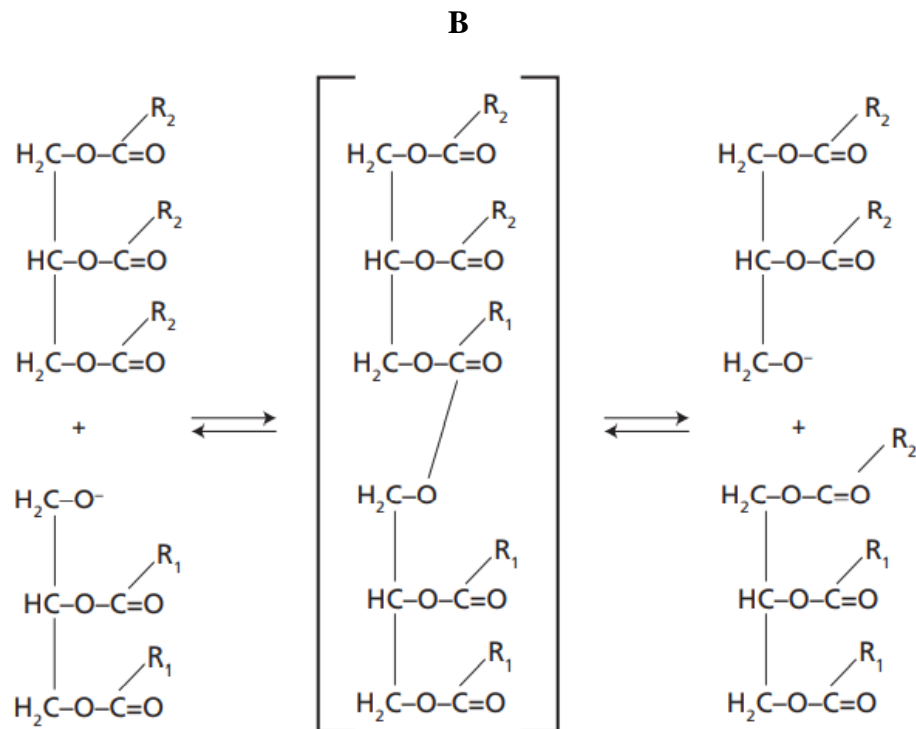
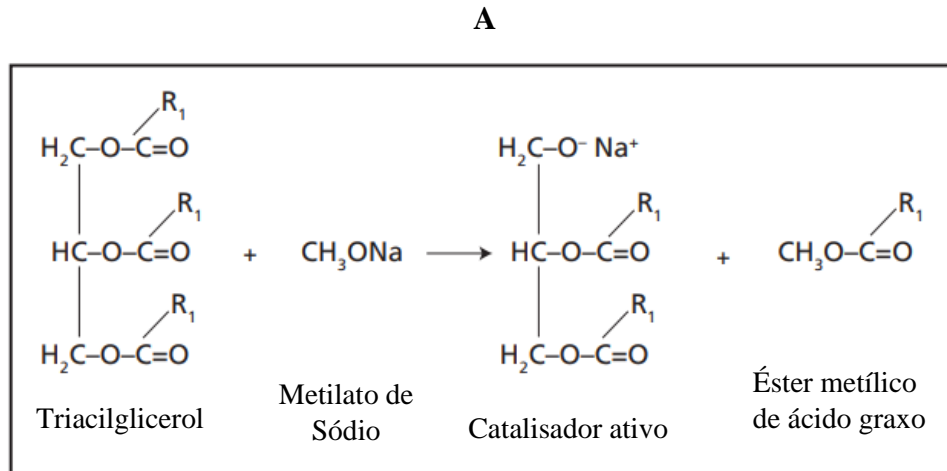
De acordo com Sreenivasan et al., (1978), na reação de interesterificação química, os catalisadores são adicionados em proporções específicas, e os óleos e gorduras são aquecidos para que aconteça a melhor distribuição do material de partida de maneira mais ágil e eficiente. Alguns aspectos interferem na resposta do catalisador quando acrescentado aos ácidos graxos como intensidade de agitação, temperatura e tamanho de partícula do catalisador. Atualmente, graças a disponibilidade de recursos e tecnologia, o método se tornou mais seguro, e as perdas de óleos/gorduras durante o processo foram reduzidas de 5% para 1% (KODALI, 2014).

O uso de catalisadores compostos de metais alcalinos e alquilatos de metais alcalinos geralmente reduz a temperatura necessária para que a interesterificação ocorra entre 50 e 100°C, além de diminuir o tempo de reação. Os mais utilizados são: alquilatos metálicos (metóxido/metilato de sódio), metais sódio, liga sódio-potássio e hidróxidos de sódio ou potássio em combinação com o glicerol (O'BRIEN, 2004). O emprego do metilato de sódio apresenta vantagens como: fácil manuseio; custo relativamente baixo; alta atividade a baixas temperaturas; menor tempo de reação; não necessita de vácuo; é disperso em gordura com facilidade; pode ser inativado após a reação com o uso de água (RIBEIRO, 2007; O'BRIEN 2004). Segundo O'Brien, o metilato de sódio pode ser utilizado em pó ou dissolvido em solventes como o xileno e a dosagem recomendada varia de 0,1 a 0,2%.

Após a adição do precursor alcalino, ocorre a formação de ânions glicerolato na mistura. Inicialmente, o íon diacilglicerol negativo irá aderir ao carbono positivo do grupo carbonila de outro ácido graxo, o que resulta em um complexo de transição que se decompõe para formar um novo triacilglicerol com um novo ion catalisador ativo (Figura 9A). A reação e distribuição dos ácidos graxos continua até que o equilíbrio químico seja alcançado (Figura 9B) (MARANGONI; ROSSEAU, 1995; KODALI, 2014;).

Diante disso, é possível observar que o metilato de sódio não age como um verdadeiro catalisador da reação, mas sim, como agente de iniciação do processo de formação do catalisador ativo (glicerolato de sódio). De acordo com O'Brien (2004), o início da reação pode ser visualizado a partir da mudança de cores da solução pastosa de branco para marrom. Essa mudança se torna perceptível a partir da dispersão do catalisador em um óleo previamente seco e mantido aquecido no intervalo de temperatura de 60 a 80°C e está associada à formação do anión glicerato.

Figura 9 - Mecanismos de iniciação (A) e propagação (B) durante a interesterificação química; R1 e R2: cadeias de alquila gordurosa.



Fonte: Adaptado de Kodali (2014).

A reação de interesterificação é um processo reversível, diante disso, é necessário que o catalisador seja desativado ao fim do processo. Esse procedimento pode ser realizado através da lavagem da mistura com água (desativação úmida), de modo a separar a fase aquosa rica em sais/sabões, ou através do uso de ácido fosfórico (desativação seca), removendo os sais de fosfato por filtração. Ambas as opções resultam em perdas de produto, entretanto, a técnica com uso de ácido fosfórico é mais eficiente, porém mais cara. A

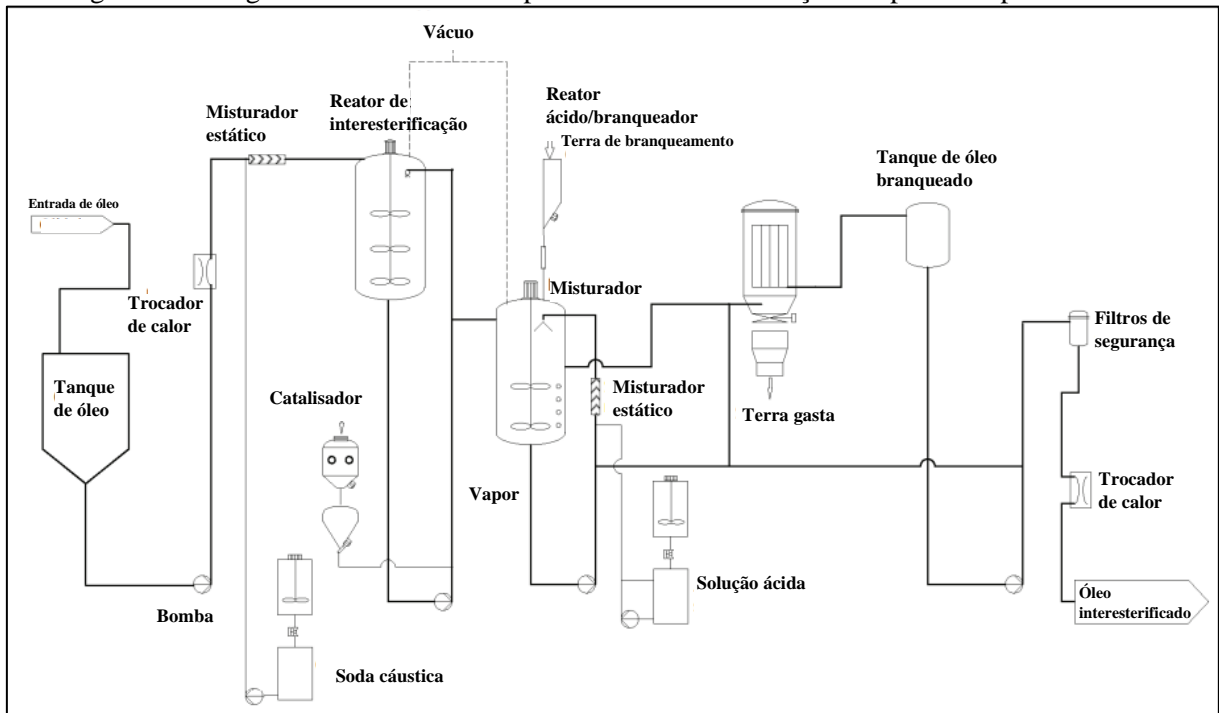
diferença no custo precisa ser bem avaliada e calculada, pois a eficiência do processo e a qualidade do produto interesterificado podem justificar o custo (O'BRIEN, 2004). A desativação do catalisador também pode ser realizada através da adição da sílica adsorvente Trisyl (Grace Silica), pois o alto teor de umidade desse produto permite desativar o catalisador e remover o sabão restante no óleo interesterificado (KODALI, 2014).

Diversas técnicas de controle podem ser empregadas para monitorar e detectar o ponto final da reação (endpoint), tais como a tonalidade da coloração marrom em um intervalo de tempo fixo pré-determinado, os limites de ponto de fusão, o teor de gordura sólida, a calorimetria de varredura diferencial e a composição de glicerídeos (O'BRIEN, 2004).

A interesterificação química pode ser realizada através de um processo contínuo ou descontínuo. Em escala industrial, geralmente opta-se por utilizar o processo em bateladas (descontínuo), pois a planta para produção contínua exige alta infraestrutura (KODALI 2014, O'BRIEN 2004; GUNSTATON 2004). Ambos os processos são realizados em 3 etapas: A primeira etapa envolve o pré-tratamento do óleo, a segunda etapa consiste na reação com o catalisador e a terceira etapa envolve a inativação deste. Geralmente, os recipientes utilizados para produção de um lote de gordura interesterificada são tanques equipados com um agitador e com capacidade de vácuo, pulverização de nitrogênio e bobinas para aquecimento e resfriamento (O'BRIEN, 2004). A Figura 10 a seguir representa um diagrama de fluxo de uma planta de interesterificação química em um processo descontínuo.

A interesterificação química realizada através do processo contínuo segue o mesmo ciclo, porém com equipamentos distintos e para capacidades maiores. No fluxo contínuo, o óleo é armazenado em tanques aquecidos com trocadores de calor, e os componentes da mistura são dosados juntamente com a soda cáustica diluída no tanque de neutralização e são misturados a fim de neutralizar os ácidos graxos livres. Logo após, a mistura é seca pela técnica de flash com um secador a vácuo até a umidade atingir valores abaixo ou iguais a 0,01%. O óleo seco é resfriado por meio de um trocador de calor até a temperatura ideal para a reação e o catalisador é adicionado na corrente de óleo aquecida e homogeneizado por dispersão. A mistura é enviada para um recipiente de reação e é mantida por cerca de 30 a 60 minutos. Posteriormente, a mistura é enviada para outro reator a fim de desativar o catalisador. Se a desativação úmida for realizada, a fase aquosa é separada anteriormente a etapa de secagem, pós-branqueamento e pós-desodorização. Este processo está detalhado por completo no livro *Fats and Oils* de O'Brien, 2004 (O'BRIEN 2014).

Figura 10 - Diagrama de fluxo de uma planta de interesterificação em processo por batelada.



Fonte: Adaptado de Kodali (2014).

Ademais, podemos classificar a interesterificação química de duas maneiras: ao acaso e direcionada. As reações de interesterificações realizadas em temperaturas acima do ponto de fusão dos triacilgliceróis, de fusão mais elevada, resultam em uma completa redistribuição ao acaso dos ácidos graxos em todos os triacilgliceróis. Neste contexto a interesterificação tende a produzir uma composição de equilíbrio de triacilgliceróis. Porém, se durante a reação houver o resfriamento para temperaturas inferiores ao ponto de fusão dos triacilgliceróis presentes na mistura, estes começarão a cristalizar, separando-se da reação. Essa cristalização seletiva desloca o equilíbrio termodinâmico da reação e faz com que ela comece novamente a produzir mais triacilgliceróis com estas características (trissaturados) para que o equilíbrio volte a se estabelecer. O processo continua até que grande parte dos ácidos graxos trissaturados tenham precipitado. Por esse direcionamento da reação em produzir um tipo específico de triacilglicerol, ela passa nessas condições a ser chamada de interesterificação dirigida/direcionada, podendo ser considerada como uma combinação de interesterificação e fracionamento (MARANGONI; ROSSEAU, 1995; O'BRIEN, 2004; GUNSTONE, 2004; KODALI, 2014).

Para que esse processo seja realizado, é necessário que a temperatura da reação seja mantida baixa ($25\pm 35^{\circ}\text{C}$), de tal forma que os triacilgliceróis ricos em ácidos graxos saturados (porção sólida) sejam cristalizados e removidos da reação, enquanto a migração de ácidos

graxos permanece na fração insaturada (porção líquida). Logo, esse processo produz frações de glicerídeos com ponto de fusão muito alto e muito baixos, em proporções equivalentes. O nível de diferença pode ser determinado pela temperatura, tempo da reação, entre outras condições da reação (MARANGONI; ROSSEAU, 1995; O'BRIEN, 2004; GUNSTONE, 2004; KODALI, 2014). O tempo de reação é mais longo, em torno de 6 a 24 horas e o consumo de catalisador é cerca de 0,1 a 0,3% superior (KODALI, 2014).

Na reação direcionada, a utilização da liga de sódio e potássio (NaK) se torna mais apropriada como catalisador do que o metilato de sódio, por conta de sua atividade catalítica em baixas temperaturas. Para esse tipo de reação, é normal que se utilize o processo contínuo, pois o processo em bateladas torna-se difícil de controlar e exige diversos tanques extras (O'BRIEN, 2004).

A qualidade do óleo de entrada impacta diretamente na performance do catalisador. A presença de água, ácidos graxos livres e peróxidos pode destruí-lo ou inativá-lo facilmente. Determinados padrões de qualidade podem e devem ser seguidos para que o processo seja mais eficiente e seguro. A Tabela 4 a seguir apresenta esses parâmetros (O'BRIEN, 2004; GUNSTATON, 2004; KODALI, 2014).

Tabela 4 - Parâmetros de qualidade de óleos antes de passarem pelo processo de interesterificação.

Parâmetros	Limite máximo
Ácidos graxos livres (%)	0,1
Peróxidos (meqO ₂ /kg)	1,0
Umidade (ppm)	100

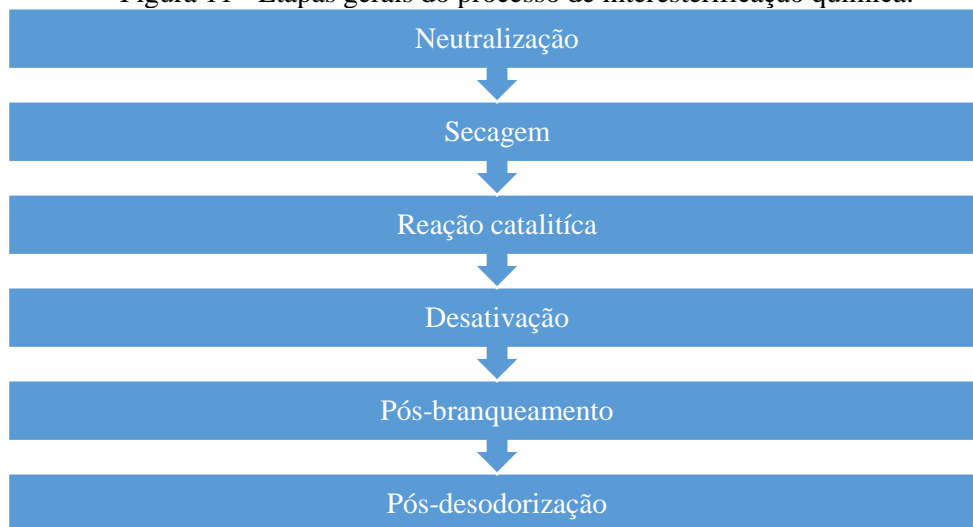
Fonte: Adaptado de Kodali (2014).

Nesse contexto, para garantir o máximo desempenho do catalisador e baixa formação de subprodutos, o óleo deve ser completamente neutralizado e estar seco para que esteja dentro dos parâmetros de qualidade aceitáveis. Além disso, pode ser necessário uma etapa de pré-branqueamento para reduzir o índice de peróxidos. Os óleos RBD podem ser processados desde que esses parâmetros estejam dentro do limite aceitável.

Resumidamente, o processo de interesterificação química pode ser descrito nas etapas seguintes (Figura 11). Quando necessário, com o objetivo de reduzir os ácidos graxos livres até 0,1%, o óleo é primeiramente neutralizado. Após essa etapa, o óleo é seco até 50 ppm de água e o catalisador pode ser adicionado em uma dosagem de 0,05 a 0,1%. Como dito anteriormente, o início da reação pode ser visualizado através da formação de cor marrom,

que se inicia de 10 a 30 minutos após adição do catalisador. A mistura é conservada por um período adicional de 30 a 60 minutos a fim de garantir que a reação finalize. Logo após, o catalisador é desativado e a fase aquosa extraída, o óleo é pós branqueado com 0,2 a 0,5% de terra de branqueamento e pós desodorizado em temperaturas próximas de 230 a 240°C. O branqueamento remove os sabões e coloração, enquanto a desodorização remove os ácidos graxos livres e esteres metálicos (KODALI, 2014; O'BRIEN, 2004).

Figura 11 - Etapas gerais do processo de interesterificação química.



Fonte: Kodali (2014). O'Brien (2004).

As perdas gerais do processo de interesterificação química podem ser estimadas em no mínimo 1,5%. Um monitoramento preciso na qualidade do óleo inicial, bem como o bom funcionamento de todas as etapas descritas anteriormente, permite reduzir as perdas de óleos, e conseqüentemente, melhorar a eficiência e rentabilidade do processo (KODALI, 2014).

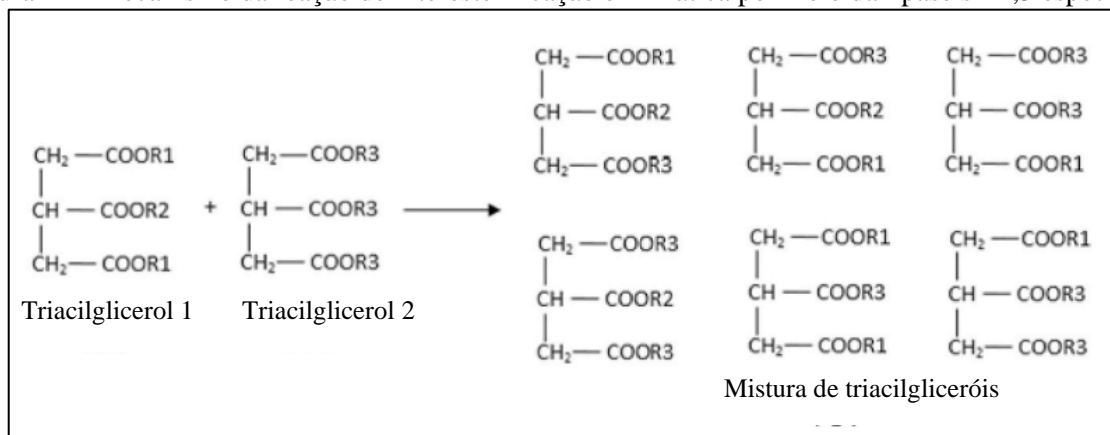
3.3.2 Interesterificação enzimática

Na interesterificação enzimática são utilizadas proteínas que atuam como biocatalisadores, tais como as lipases microbianas (RIBEIRO et al., 2007). As lipases são definidas como uma classe de enzimas responsáveis por catalisar as reações que envolvem lipídios, pois diminui a energia de ativação favorecendo diretamente a reação de hidrólise dos triacilgliceróis para se obter monoacilgliceróis, diacilgliceróis, glicerol e ácidos graxos (SOUMANOU; PERIGNON; LLENEUVE, 2013). Essas enzimas podem ser obtidas por meio de leveduras, fungos e bactérias, ou através de fontes de origem vegetal ou animal, sendo a fonte fúngica a mais utilizada pela indústria de alimentos por conta de sua

versatilidade e maior estabilidade se comparada as outras com as demais (UTAMA et al., 2019).

As enzimas utilizadas podem ter seletividade para diferentes ácidos graxos ou por regiões específicas, principalmente para as posições sn-1 e sn-3, permitindo desta forma, maior controle sobre os produtos formados (SHAHIDI; SENANAYAKE, 2009; O'BRIEN 2004). As lipases sn-1 e sn-3 específicas hidrolisam apenas os ácidos graxos presentes nessas posições, pois o impedimento estérico não permite uma reação com o grupamento ester na posição sn-2 (Figura 12). As lipases estéreo-específicas possuem a capacidade de hidrolisar as ligações ester nas posições sn-1,3, porém em taxas diferentes. Por fim, as lipases específicas por ácidos graxos não hidrolisam ligações em regiões específicas, somente identifica as moléculas alvo, independentemente da posição (KADHUM; SHAMMA, 2017). Essas enzimas possibilitam a produção de uma gama peculiar de triacilgliceróis que podem ser obtidos por processos físicos de separação de fases (O'BRIEN, 2004).

Figura 12 - Mecanismo da reação de interesterificação enzimática por meio da lipase sn-1,3 específica.



Fonte: Adaptado de Sivakanthan & Madhujith (2020).

As lipases são produzidas a partir da fermentação dos microorganismos selecionados e passam por um processo de purificação. Os catalisadores são preparados através da adição de um solvente (acetona, metanol ou etanol) a um composto de materiais particulados inorgânicos em solução de lipase tamponada. A enzima precipitada reveste todo o material inorgânico e as partículas revestidas com lipase são reavidas por filtração e posteriormente secas. Os materiais particulados porosos (sílicas, argilas, polímeros macroporosos) são geralmente os mais utilizados para imobilizar lipases (O'BRIEN, 2004).

Para que aumente a eficácia de funcionalidade do suporte, os materiais devem cumprir diversos requisitos, tais como: os tamanhos dos poros não podem restringir a reação; a lipase

deve adsorver de forma irreversível com uma estrutura apropriada para a funcionalidade; a lipase não pode contaminar o produto acabado; a lipase deve possuir estabilidade térmica e a lipase deve ser economicamente viável (O'BRIEN 2004). As partículas, quando secas, são praticamente inativas como catalisadoras da reação até que sejam hidratadas com 10% de água anteriormente ao uso (O'BRIEN, 2004).

Na interesterificação enzimática a reação se processa por meio de uma sucessão de reações de hidrólise e re-síntese de triacilgliceróis. A água deve estar presente em quantidade suficiente na estrutura proteica da enzima, visto que, se houver excesso de água, a interesterificação será desfavorecida em benefício da hidrólise e, caso haja ausência de água, a proteína não conseguirá se hidratar podendo, desta forma, mudar sua conformação e comprometer sua atividade (GRAILLE; 1999; WONG et al., 2000).

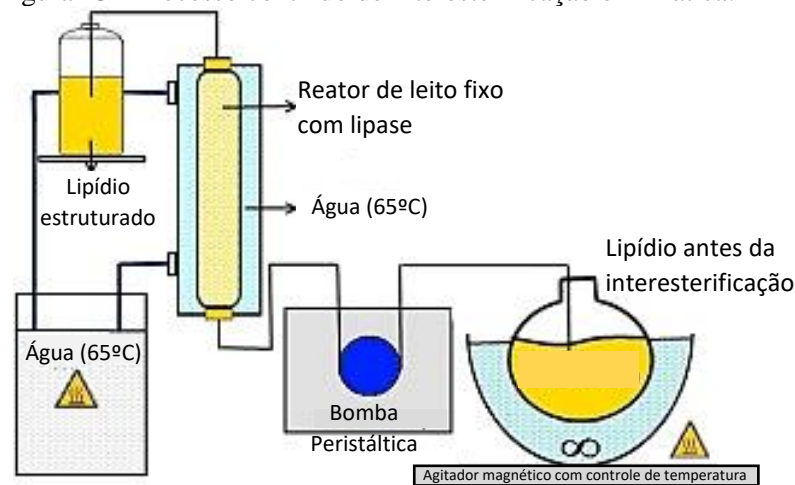
A interesterificação enzimática segue um mecanismo de acilação e desacilação no sítio ativo das lipases, no qual os substratos se ligarão através de agentes químicos fracos (DE PAULA et al., 2010; KODALI, 2014). O sucesso da reação de interesterificação enzimática depende da sensibilidade dos sítios ativos, que pode ter efeito adverso pela presença de impurezas, e de fatores considerados cruciais os quais influenciarão na velocidade de reação, rendimento do processo, bem como na obtenção de produtos desejados. Desta forma, é preciso levar em consideração fatores como a escolha da fonte de lipase, o método de imobilização, o suporte de imobilização da lipase, as condições de reação (temperatura, pH, teor de umidade) e as características do processo (contínuo ou descontínuo) e a configuração do biorreator (ROUSSEAU; MARANGONI, 1998).

As alterações enzimáticas podem ocorrer por acidólise, que é a reação de um grupo ester com um ácido graxo, a alcólise, que é a reação de um grupo ester com um álcool, a glicerólise, no qual um grupo ester reage com o glicerol e a transesterificação, que é a troca ester-ester, que opera inter ou entre óleos e ácidos graxos (SIVAKANTHAN; MADHUIJITH, 2020; KODALI, 2014), A transesterificação é o tipo de reação mais utilizado em lipídios destinados para produção de alimentos (ROUSSEAU; MARAGONI, 2002).

A interesterificação enzimática pode ser realizada através de um processo descontínuo (em bateladas), utilizando um reator com agitação ou em uma linha contínua utilizando um reator de leito fixo (Figura 13). O processo contínuo oferece vantagens, pois além do tempo reduzido por conta da alta proporção de substrato de catalisador, também é mais eficiente nas etapas de recuperação e danos reduzidos ao catalisador e melhor operabilidade. Esse processo se inicia por meio da dissolução da matéria prima em um solvente acompanhado de tratamento para todos os compostos que podem inibir as enzimas, venenos e materiais

particulados. Posteriormente, essa solução é levemente saturada com água e é bombardeada para o leito de partículas de catalisador hidratadas. Os produtos originados pela reação são uma mistura de triacilgliceróis e ácidos graxos livres. Depois da reação, o óleo interesterificado é ligeiramente pós desodorizado para diminuir o teor final de ácidos graxos livres. O óleo interesterificado é fracionado com solvente para obter a composição de triacilgliceróis desejada. (O'BRIEN, 2004; KODALI, 2014).

Figura 13 - Processo contínuo de interesterificação enzimática.



Fonte: Adaptado de Silva et.al (2012).

O custo e a aplicação em larga escala favorecem a interesterificação química em comparação à interesterificação enzimática. Entretanto, sob a perspectiva de produzir lipídeos com composições específicas para aplicações funcionais e medicinais, como por exemplo, na produção de substitutos de manteiga de cacau e lipídeos para formulações infantis, os métodos de interesterificação enzimática se mostram mais atrativos (RIBEIRO et al., 2009; WILLIS et al., 1998). Além disso, a interesterificação enzimática reduz o número de etapas intermediárias. (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; MENAA et al., 2013a)

A interesterificação enzimática apresenta algumas vantagens em relação à interesterificação química. Além da maior especificidade, o processo é mais simples, apresenta elevada eficiência catalítica e ocasiona menos impacto ao meio ambiente. O processo enzimático produz menor quantidade de subprodutos, necessita de menor quantidade de água, menor consumo de energia e não utiliza produtos químicos agressores ao meio ambiente. Além disso, em função das condições de pH e de temperaturas mais brandas, tendem a produzir menos danos ao produto (PULIGUNDLA et al., 2012; SPERANZA;

RIBEIRO; MACEDO, 2016). Esses fatores explicam os motivos do processo enzimático ser mais desejado e estudado que o uso de compostos químicos nos dias atuais (KODALI, 2014).

A interesterificação enzimática pode ser utilizada quando o objetivo é alterar as propriedades físico-químicas dos óleos e gorduras com maior precisão, pois torna possível alterar o tipo e a localização do ácido graxo no triacilglicerol para aqueles com características desejadas e conhecidas. Logo, a interesterificação enzimática é uma boa alternativa para composições de triacilgliceróis e produtos específicos que não podem ser obtidos pelo rearranjo químico (KADHUM; SHAMMA, 2017).

3.3.3 Frações oleosas mais recentes produzidas por interesterificação química e suas aplicações em alimentos

Oliveira et al. (2017), utilizando a interesterificação química, buscou desenvolver bases lipídicas a partir de blends entre óleo de patauá e estearina de palma, utilizando diferentes proporções. Dentre os blends, a proporção 50:50 apresentou os melhores resultados, com uma relação de UFA/SFA (ácidos graxos insaturados/ácidos graxos saturados) de $1,68 \pm 0,00$ (g/100g). Seu ponto de fusão final foi $33,1$ °C, já o inicial era $27,63$ °C. Seu SFC (teor de gordura sólida), apresentou resultado semelhante as margarinas de mesa moles, além disso, apresentou bom índice de consistência plástica sob temperatura de refrigeração ($1098,2 \pm 51,2$ (gf/cm²), 5 °C e $606,9 \pm 15,9$ (gf/cm²), 10 °C). Logo, este estudo comprovou que a interesterificação química desses blends obteve resultados satisfatórios como alternativa ao processo de hidrogenação parcial.

Siswanti et al. (2021), investigou o efeito da interesterificação química na cor, ponto de fusão, índice de gorduras sólidas e perfil de triacilgliceróis da mistura de óleo de gergelin e estearina de palma. Foram utilizadas diferentes proporções dos insumos (óleo de gergelin/estearina de palma (%)) = 30:70; 40:60; 50:50; 60:40, e 70:30). A mistura que apresentou os melhores resultados foi a proporção de 60:40 (óleo de gergelin/estearina de palma), no qual seu ponto de fusão ficou entre $37-39$ °C, o índice de gordura sólida SFI (gordura sólida/gordura líquida), foi de $12,80$ a 10 °C; $12,57$ a $21,1$ °C; $9,68$ a $33,30$ °C, e seu índice de textura foi de aproximadamente 2N. Com isso, seu ponto de fusão, teor de gordura sólida, textura, sua cor, e sua caracterização do perfil de TAGs, se assemelharam aos de uma margarina comercial, potencializando seu uso na indústria para a fabricação de margarina.

Ornlaid, Podchong e Sonwai (2022) objetivaram em seu estudo produzir alternativas de manteiga de cacau a partir de misturas de estearina de palmiste, óleo de coco e estearina de

palma totalmente hidrogenada. As propriedades físico-químicas, cristalização e comportamento de fusão, teor de gordura sólida (SFC), cristal morfologia e polimorfismo dos lipídios estruturados (SL) obtidos e os correspondentes às misturas físicas (PB) foram caracterizadas e comparadas com ácidos graxos comerciais. Foi possível observar uma melhoria nas propriedades e o comportamento de cristalização das misturas. Os pontos de fusão SFC e de deslizamento de todos os lipídeos estruturados diminuíram em relação aos de seus respectivos PBs. A estearina de palma nas proporções de 60:10:30 e 70:10:20 exibiu as características de fusão, curvas SFC, morfologia cristalina e polimórfica semelhantes as gorduras de manteigas de cacau comerciais. Além disso, essas misturas derreteram quase completamente na temperatura corporal, uma melhora em relação aos comerciais. Foi constatado que a estearina de palma têm alto potencial para ser usado comercialmente como alternativas a manteiga de cacau livres de gordura trans para a indústria de doces.

Segundo resultados obtidos em trabalho divulgado por Aktas et al. (2021), a técnica de interesterificação química possibilitou a fabricação de novos produtos a partir de gordura animal em combinação com óleos vegetais com melhor espalhamento e plasticidade. Em geral, a proporção de mistura de óleo de sebo foi o fator mais significativo que afetou o produto final. A concentração de 1% de catalisador utilizada no processo teve um efeito negativo nas propriedades químicas dos lipídios estruturados. Como um primeiro estudo na literatura utilizando blends de gordura animal e vegetal (sebo e óleo de milho) no processo de interesterificação química, pode-se concluir que os lipídios interesterificados produzidos a partir do óleo de milho apresentaram propriedades mais desejáveis (maior estabilidade oxidativa, menor % de ácidos graxos livres, mais propriedades plásticas) em comparação aos produtos contendo óleos de canola e cártamo. Consequentemente, combinações estruturadas de gordura animal e vegetal produzidas usando interesterificação química com um catalisador em níveis de 0,75-0,875% podem ser particularmente sugeridas como fontes lipídicas alternativas para a indústria de panificação devido às suas possíveis propriedades promissoras de aeração e textura suave.

Rudsari et al (2019), estudaram o efeito da interesterificação química nas características físico-químicas da gordura destinada a panificação produzida a partir de blends de estearina de palma e óleo extraído de semente gergelim. Para a preparação dos blends, a estearina de palma foi submetida ao processo de fusão em temperatura entre 60 e 70 °C e homogeneizado por 10 min, em seguida os blends foram preparados nas proporções de óleo da semente de gergelim e estearina de palma seguintes: 50:50; 60:40; 75:25; 90:10. Dentre os blends, foi possível constatar que as misturas 50:50, 60:40 e 90:10 (óleo da semente de

gergelim e estearina de palma, respectivamente) podem ser usadas nos processos de panificação, o efeito da reação de interesterificação foi confirmado pelas alterações nos teores de triacilglicerol, termogramas de fusão e cristalização. Considerando a interesterificação uma alternativa ao processo de hidrogenação. Os principais resultados apontados das amostras 50:50, 60:40 e 90:10 nos seus pontos de fusão após a interesterificação foram de 48 °C, 46 °C e 33,2 °C, respectivamente. A relação de UFA/SFA (ácidos graxos insaturados/ácidos graxos saturados) das amostras foram: 1,28 para a amostra 50:50, 1,63 para a amostra 60:40 e 3,55 para a amostra 90:10. A relação destas propriedades apresentadas com a utilização do modelo matemático de Gompertz, assim como no trabalho, indica que pode ocorrer redução do tempo, custo e redução de matéria-prima com a utilização dos blends interesterificados na panificação.

Alan et al. (2019), investigaram o efeito da interesterificação química na composição de ácidos graxos, teor de sabão, valor de peróxido, ponto de fusão, teor de gordura sólida, o comportamento plástico da gordura, e estabilidade oxidativa, em blends compostos de estearina de palma e óleo de girassol. Foram preparados 3 blends com as seguintes proporções: 10:90, 30:70 e 50:50 onde (estearina de palma/óleo de girassol). O estudo concluiu que o processo de interesterificação melhorou as propriedades de fusão, tendo seus pontos de fusão de $25,9 \pm 0,9$ °C para a amostra 10:90, $31,3 \pm 1,1$ °C para a amostra 30:70, e $36,7 \pm 0,9$ para a amostra 50:50. Sobre as propriedades plásticas, a mistura 10:90 não apresentou resultado significativo, já a mistura 30:70 apresentou boa atividade plástica na faixa de temperatura de 7 a 11 °C, e mistura 50:50, apresentou boa atividade plástica na faixa entre 19 e 28,3 °C. O teor de gordura sólida apresentada pelas misturas, considerando UFA/SFA (ácidos graxos insaturados/ácidos graxos saturados) foram: 5,07 para a mistura 10:90; 2,82 para a mistura 30:70; E 1,78 para a mistura 50:50, com isso, foi revelado que os blends interesterificados apresentaram perfis apropriados para produção de um composto livre de gorduras trans, alternativa as gorduras hidrogenadas comerciais.

3.3.4 Frações oleosas mais recentes produzidas por interesterificação enzimática e suas aplicações em alimentos

Sonprasert, Ornlai-ied e Sonwai (2022) buscaram investigar o potencial da mistura de estearina da manteiga de illipe com a fração média do óleo de palma para se obter um equivalente a manteiga de cacau (CBE) via interesterificação enzimática. A mistura foi realizada em 3 proporções (70:30, 60:40 e 50:50) e as reações de interesterificação enzimática foram realizadas a 50°C por 30 min usando lipase sn-1,3 específica de *Rhizopus oryzae* como

catalisador. As composições de triacilglicerol (TAG), pontos de fusão de deslizamento (SMP), termogramas de cristalização e fusão, curvas de teor de gordura sólida (SFC) e microestrutura cristalina das misturas antes e depois da interesterificação foram estudadas e comparadas com manteiga de cacau (CB). A mistura 60:40 exibiu os teores que se situaram dentro das faixas de ácidos graxos da manteiga de cacau. Ele também mostrou SMP, pico de fusão e temperaturas de conclusão de fusão, entalpia de fusão e microestrutura cristalina mais semelhantes ao CB. Além disso, o fator mais importante, sua curva SFC combinava completamente com a de CB. Conseqüentemente, a gordura interesterificada na proporção 60:40 foi escolhido para investigação adicional e foi considerado totalmente compatível e cristalizado na mesma forma polimórfica (β) que CB. Portanto, o *blend* 60:40 tem alto potencial para uso como CBE comercial.

Lakum e Sonway (2018) avaliaram o potencial de blends de óleos e gorduras interesterificados enzimaticamente para produção de margarinas livre de gorduras trans. Os blends foram preparados a partir da interesterificação enzimática do óleo de soja, estearina de palma e estearina de coco em diferentes proporções (0:70:30, 10:60:30, 20:50:30, 0:40:30 e 40:30:30% em peso) usando Lipozyme RM IM, sn-1,3 específica, a 65°C por 8 h. O SL obtido da mistura EI das 20:50:30 (SBO:PS:CNO) apresentou a maior potencial para ser usado como uma gordura de margarina livre de trans, pois apresentou uma curva SFC semelhante ao comercial gordura de margarina e cristalizada na forma polimórfica. O ácido palmítico (saturado) foi predominante com valores de 33.47% com desvio padrão de 1.6, logo, podemos considerar esse produto rico em ácidos graxos saturados. SL3, que obteve do EI de 20:50:30 (SBO:PS:CNO) apresentou maior potencial para ser usada como gordura de margarina livre de trans porque mostrou uma curva SFC semelhante e morfologia cristalina à gordura da margarina comercial e também cristalizada na forma polimórfica β' .

Em trabalho realizado por Segura et al. (2020), foi concluído que a interesterificação enzimática de blends de BT/RBO (sebo bovino/óleo de farelo de arroz) produziu novos materiais graxos livres de trans. Sua composição de ácidos graxos mudou de acordo com a proporção de cada matéria-prima na mistura original. A interesterificação produziu modificações nas composições de ácidos graxos saturados dos blends que afetaram significativamente as propriedades físico-químicas dos produtos finais melhorando sua adequação como ingredientes alimentícios. Portanto, novos materiais promissores foram desenvolvidos.

Em estudo publicado por Campioni et al. (2021), os resultados mostraram que o teor relativamente alto de ácido palmítico no óleo de farelo de arroz foi suficiente para conferir a

heterogeneidade necessária aos triacilgliceróis para promover a cristalização do óleo totalmente hidrogenado na forma β' . Além disso, essa forma polimórfica também foi predominante nos produtos de interesterificação, propriedade importante em gorduras destinadas a alimentação. O processo de interesterificação enzimática produziu novas espécies de ácidos graxos com grau de insaturação intermediário e melhor compatibilidade. Essas mudanças impactaram no comportamento térmico dos produtos, reduzindo seu ponto de fusão e teor de gordura sólida. Assim, escolhendo convenientemente a proporção de cada componente na mistura inicial, é viável projetar produtos com propriedades diferentes de acordo com o exigido pela finalidade alimentar.

3.4 Histórico dos dispositivos legais

Em meados dos anos 90, diversas pesquisas apontavam uma correlação no consumo de ácidos graxos saturados com a elevação do colesterol “ruim” LDL, responsável pelo aumento do índice de doenças cardiovasculares. Em 1990, Mensink e Katan comprovaram que as gorduras saturadas aumentam o colesterol LDL e diminuem os níveis de colesterol HDL. Logo, de 1990 a 1994, a FDA iniciou uma campanha denominada Lei de Rotulagem e Educação Nutricional (NLEA) para exigir que todas as embalagens de produtos alimentícios fossem devidamente rotuladas contendo alegações nutricionais e de saúde. Diante disso, os consumidores alteraram a percepção de consumo e as empresas foram obrigadas a buscar por óleos e gorduras que fossem boas alternativas para redução de saturados. Como resultado, todos os tipos de gorduras saturadas, inclusive de origem animal, foram substituídos por gorduras parcialmente hidrogenadas.

Entretanto, a gordura parcialmente hidrogenada é a principal fonte de ácidos graxos *trans*, mas careciam estudos que apontassem o risco do consumo destes compostos. Após novas pesquisas indicarem a correlação do consumo de ácidos graxos *trans* e doenças cardiovasculares, a FDA exigiu que as empresas colocassem no rótulo dos produtos a alegação da presença de gorduras *trans*, em gramas por porção, processo que teve início em 2003 e entrou em vigor 2006 (KODALI, 2014). Em 2013 a gordura *trans* deixou de ser reconhecida internacionalmente como um produto seguro para o consumo.

Os questionamentos contraditórios que envolvem as funções dos ácidos graxos *trans* e saturados na alimentação tem proporcionado alterações constantes e intensas nas leis que regem o controle de qualidade nutricional dos alimentos, objetivando a adição de dados e informações mais concretas e seguras para os consumidores. A OMS, desde 1995, vem

posicionando junto a população mundial o consumo limitado deste tipo de gordura, visando sempre uma melhoria na saúde com a redução do risco de doenças cardíacas. É importante destacar também que a FDA no ano de 1999, propôs notificar a proporção de ácidos graxos trans nos rótulos sugerindo a inclusão de um símbolo com informação detalhada da concentração de gorduras saturadas quando estimadas nos alimentos.

A proporção de ácidos graxos *trans*, segundo portaria da Anvisa datada de 17/10/1997, deveria ser determinada como ácidos graxo saturados, ainda sim mantendo-se os níveis específicos de ácidos graxos trans desconsiderados. Porém, segundo o artigo 31 do Código de Defesa do Consumidor Brasileiro, os alimentos disponibilizados à população devem indicar informações exatas acerca de seus atributos que envolvem a qualidade, quantidade e composição, além dos perigos que contribuem à saúde dos consumidores.

A regulamentação da publicidade de alimentos publicada no Brasil, em 2010, pretendia classificar um alimento com teor maior ou igual a 0,6 g de gordura *trans* a cada 100g de produto como “alimento com quantidade elevada de gordura *trans*”, gerando preocupações de que produtos com concentrações inferiores também fossem compreendidos como alimentos saudáveis (PROENÇA et al., 2012).

Remig et al. (2010) e Pinto et al. (2016) apontam fragilidades nas legislações, uma vez que a declaração de ausência de ácidos graxos *trans* pode ser feita mesmo na presença desta gordura em quantidades consideradas insignificantes, não refletindo a ausência completa do componente. A mesma problematização é feita por Proença e Silveira (2012) sobre uma proposta da ANVISA de 2011 que sugeria a notificação “não contém gordura *trans*” para produtos alimentícios com teor de gordura *trans* até 0,1g por porção ou por 100g.

Estes autores acreditam que as informações descritas nas embalagens dos produtos não são seguras ao consumidor e dificultam a compreensão, principalmente entre os indivíduos de condições socioeconômicas mais baixas (Ricardo et al., 2019), e chamam atenção para a possibilidade da declaração frontal “zero *trans*” ser automaticamente associada pelo consumidor à ideia de um “produto saudável”.

A Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 360, de 23/12/2003, que determina a rotulagem nutricional dos alimentos, adaptada junto ao Mercosul, visa comunicar a declaração dos ácidos graxos *trans* na identificação nos rótulos dos produtos. As empresas do setor alimentício tinham até o dia 31/7/2006 para conformação as novas normas, sendo necessárias as concentrações de gorduras trans sendo mencionadas no que se refere à porção harmonizada para um alimento estabelecido juntamente com as informações para gorduras totais e

saturadas. Sendo assim, o alimento que demonstrar teores de gorduras *trans* inferiores ou iguais a 0,2 g/porção é apontado como zero *trans*.

Além disso, vale ressaltar a necessidade de disponibilizar frações oleosas diversificadas e com isenção de ácidos graxos *trans* para adição ao chocolate, uma vez que a Resolução RDC n° 227 (28/08/2003) define como chocolate o produto contendo no mínimo 25% de sólidos totais de cacau, permitindo assim a adição de gorduras especiais a este produto, sem sua descaracterização.

Em 2007, no Estado de Nova York foi adotada uma legislação restringindo a distribuição e o uso na produção de alimentos, o que influenciou outros países a adotarem a mesma medida (RESTREPO et al., 2017). Em 2012, os Estados Unidos foram reconhecidos pela OMS por boas políticas de eliminação desta gordura (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012). A FDA iniciou a introdução de uma regulação mais restrita em 2013, ao dar início ao processo de retirada dos óleos parcialmente hidrogenados da lista de componentes seguros para consumo, processo que foi concluído em 2015 (PARZIALE et al., 2019; DIAS et al., 2018). Três anos depois, a FDA banuiu em extensão nacional seu uso na maior parte dos produtos alimentícios produzidos (RICARDO et al., 2019).

O Brasil se destaca pela RDC n°332, aprovada em 2019 pela ANVISA que determina que a partir de julho de 2021, o teor de gorduras *trans* nos óleos refinados não deve exceder 2% do total de gorduras presentes, e entre julho de 2021 e janeiro de 2023, este limite foi estabelecido também para os produtos alimentícios destinados ao consumidor final e aos serviços de alimentação. A partir de 1 janeiro de 2023, o uso e oferta de produtos com óleos e gorduras hidrogenadas em sua composição serão proibidos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019).

Em 2020 foi aprovada pela Diretoria Colegiada da ANVISA uma norma referente à rotulagem nutricional frontal, que determina a utilização de símbolos (tarja preta) na parte da frente das embalagens de produtos alimentícios, alertando sobre altos teores de açúcar adicionado, sódio e gordura saturada (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020). No entanto, a ANVISA definiu que a gordura *trans* não fará parte da rotulagem frontal uma vez que já existe um processo legislativo que visa sua eliminação da composição dos alimentos (IBDC, 2019).

Considerando o prazo extenso fornecido aos produtores para substituições e adaptações necessárias à retirada das gorduras *trans* e saturadas, deve-se considerar a importância de sua presença na rotulagem frontal e/ou de campanhas educativas sobre o

assunto, visto que a não declaração pode ser interpretada como baixa necessidade da atenção do consumidor.

3.5 Tendências de consumo

No passado, a qualidade dos óleos era avaliada dando ênfase nas propriedades organolépticas e estabilidade oxidativa. Eram avaliados parâmetros como o sabor suave, inodoro, cor clara e brilhante, bons parâmetros de oxidação e boa vida útil. Entretanto, atualmente as demandas e preocupações da população mudaram, e aspectos nutricionais e sustentáveis passaram a ser considerados como foco. Diante disso, os óleos e gorduras produzidos necessitam de ser zero trans, ter uma composição de ácidos graxos balanceada, ser rico em vitaminas, não possuir contaminantes e ter longa estabilidade oxidativa. Além disso, os produtos precisam ser fabricados sem gerar efluentes e perdas no processo (KODALI,2014)

Desde que se iniciaram as mudanças nas leis de vários países sobre os níveis de ácidos graxos trans nos alimentos, a demanda por óleos e gorduras sem esses compostos e por novos produtos cresceu. A troca do processo tradicional de hidrogenação parcial para o fracionamento e/ou interesterificação tem causado uma mudança nos processos industriais e no mercado de óleos vegetais, mas até agora a maioria dessas mudanças tem sido bem absorvida pelo mercado sem alterações significativas no custo das matérias-primas.

A indústria de alimentos tem sido bem-sucedida na aceitação dos produtos zero trans pelos consumidores. Poucos relatos de reclamações foram reportados até hoje que, na maioria dos casos, estão relacionados à diminuição da estabilidade de aroma devido à baixa estabilidade oxidativa dos óleos e gorduras não hidrogenados, se comparado aos óleos parcialmente hidrogenados (NIELSEN, 2006).

De acordo com Grimaldi (2009), livrar-se dos ácidos graxos trans não é tão fácil e tampouco possível de ser feito da noite para o dia, pois a substituição das gorduras parcialmente hidrogenadas por outras gorduras requer, em alguns casos, a alteração de boa parte das formulações, a fim de garantir a mesma performance final do produto. Tecnicamente, a gordura parcialmente hidrogenada se comporta como um produto saturado de ponto de fusão intermediário, o que precisa ser compensado quando é eliminado da composição.

Uma das alternativas mais adotadas nessa fase de transição é o uso do óleo de palma, que possui um ponto de fusão ao redor de 38°C, sem a necessidade de alterações através de

processos de transformação. No Brasil, o óleo de palma também é conhecido como óleo ou azeite de dendê. Uma outra alternativa é a engenharia genética que permite modificar o perfil de ácidos graxos para obter composições diferentes dos óleos originais. Já existem várias oleaginosas (girassol, soja) que foram modificadas geneticamente para produzir óleos ou gorduras para aplicação industrial sem a necessidade de modificações químicas. Hoje já é possível produzir óleo de algodão com alto teor de ácido oléico ou ácido esteárico (Argentina), bem como óleo de soja com alto teor de ácido oléico ou ácido esteárico (EUA e Brasil).

Segundo a OMS, no Brasil e nos Estados Unidos, a legislação foi uma medida capaz de facilitar escolhas saudáveis pelos consumidores, visando a redução de consumo (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012). O Brasil também adotou autorregulação voluntária, que resultou em certa diminuição no uso de matérias primas ricas em gorduras trans, mas não com efetividade significativa, uma vez que os únicos dados disponíveis dos resultados foram apresentados pela própria Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação, em 2010, sem explicitar exatamente qual a metodologia utilizada para a avaliação (ABIA, 2010; RICARDO et al., 2019).

A regulação da rotulagem de alimentos, enquanto estratégia para reduzir o consumo de gorduras trans, depende da compreensão do consumidor e da capacidade de usar as informações discriminadas nas embalagens (RICARDO et al., 2019). Segundo Ricardo et al. (2019), o melhor e mais efetivo método de controle é a política de intervenção que visa a eliminação do uso industrial, pois o sucesso é independente de ações individuais e tem um potencial de impacto positivo sobre toda a população.

A OMS publicou o pacote REPLACE, com ações estratégicas a serem implementadas entre 2020 e 2023 para atingir a eliminação dos ácidos graxos trans industriais, traçando linhas estratégicas de apoio, como a revisão das fontes de gorduras trans industriais e decreto de medidas regulatórias para eliminar a produção, entre outras (WHO, 2018).

Também recebe destaque da OMS pelo Programa Saúde na Escola, que pretende articular saúde e educação para o enfrentamento das vulnerabilidades em crianças, jovens e adolescentes (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012). Suas inúmeras diretrizes incluem o incentivo à restrição do comércio de alimentos com altos teores de gorduras saturadas, gorduras trans e outros nutrientes, e propõe atividades de educação alimentar para pais e responsáveis (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).

4 ANÁLISE DA PESQUISA E SUGESTÕES

As modificações químicas de óleos e gorduras têm como objetivo produzir gorduras que proporcionem um menor risco de desenvolvimento de doença cardiovascular, o qual é relacionado ao consumo de ácidos graxos saturados na dieta. Para isso, a indústria de alimentos se aproveitou das propriedades químicas dos triacilgliceróis mais saudáveis presentes em óleos vegetais, quebrando suas ligações duplas e tornando-as simples por meio de reações de hidrogenação, processo químico de redução em que se aplica hidrogênio gasoso diretamente a uma substância. Sendo conduzida de forma incompleta, a hidrogenação parcial gera as gorduras parcialmente hidrogenadas (ALFIERI et al., 2017; MARTIN et al., 2007).

A hidrogenação parcial é justamente o processo utilizado pela indústria de alimentos na manufatura de gorduras semissólidas, interrompendo a reação antes de todas as ligações serem saturadas (ALFIERI et al., 2017; MARTIN et al., 2007). As gorduras parcialmente hidrogenadas reúnem um conjunto de características desejáveis do ponto de vista industrial: são baratas, e além de se manterem sólidas em temperatura ambiente, melhoram a textura e estabilidade, aumentando a validade e realçando a palatabilidade dos produtos em que são usadas (MILLS; HALL; BERRY, 2017; MOZAFFARIAN et al., 2006; SATCHITHANANDAM et al., 2004).

Apesar de seus aspectos interessantes para a indústria, as gorduras trans produzidas pela hidrogenação parcial vêm sendo associadas a diversos danos à saúde e maior mortalidade, causando efeitos adversos sobre concentrações de lipídios no sangue, inflamação, estresse oxidativo, função endotelial, peso corporal, sensibilidade à insulina e câncer (GEBAUER; PSOTA; KRIS-ETHERTON, 2007).

Devido a isso, muitos países além do Brasil já vêm implementando restrições ao seu consumo e distribuição, e a própria indústria de alimentos já reduziu voluntariamente seu uso (ALFIERI et al., 2017; ASCHERIO, 2006; GINTER; SIMKO, 2016; WILCZEK; OLSZEWSKI; KRUPIENICZ, 2017).

Em reação às restrições ao uso das gorduras trans, graças a seus efeitos deletérios, a indústria de alimentos passou a utilizar as chamadas “gorduras interesterificadas”. Esses substitutos para as gorduras trans têm sido utilizados em muitos produtos comumente consumidos, como margarinas, alimentos assados, confeitados, biscoitos e outros produtos de panificação (ALFIERI et al., 2017; MILLS; HALL; BERRY, 2017; SANTOS et al., 2013). Essas gorduras conferem aos produtos alimentícios características desejadas pela indústria,

incluindo sabor, textura e uma maior validade (MILLS; HALL; BERRY, 2017; SANTOS et al., 2013).

Diferentemente da hidrogenação parcial, que gera gorduras trans, a interesterificação não altera o grau de saturação/insaturação ou o estado isomérico dos ácidos graxos, modificando apenas a posição de grupos acila nas moléculas de triacilglicerol (ALFIERI et al., 2017). Tal processo, apesar de manter o perfil de ácidos graxos praticamente inalterado, altera as propriedades físicas dos triacilgliceróis, como o seu ponto de fusão, e, conseqüentemente, a digestão, absorção e metabolização da molécula como um todo em nosso organismo (ALFIERI et al., 2017; SANTOS et al., 2013).

Alguns estudos concluíram que o consumo de gordura interesterificada teve influência positiva nos perfis de lipoproteínas plasmáticas, na redução de concentração de triacilglicerol no plasma e na diminuição de lipemia pós-prandial, o que pode ser explicado por diferenças na digestão e absorção das gorduras (ALFIERI et al., 2017). Por isso, foi indicado, inicialmente, que, em condições pós-prandiais, refeições ricas em gorduras interesterificadas poderiam reduzir o risco de doenças cardiovasculares (ALFIERI et al., 2017). Um estudo clínico concluiu que a inclusão de gorduras interesterificadas ricas em ácidos palmítico e esteárico não teve efeitos adversos sobre a resistência à insulina, importante fator na fisiopatogênese da doença hepática gordurosa não alcoólica (BUZZETTI; PINZANI; TSOCHATZIS, 2016; NG et al., 2018).

Outros trabalhos, no entanto, vêm demonstrando efeitos deletérios do consumo de gorduras interesterificadas. Em um estudo realizado com camundongos, foi demonstrado que a ingestão de dietas normolipídicas contendo gordura interesterificada durante a gravidez e a lactação predispôs a prole à disfunção mitocondrial hepática, relacionada a alterações no estado de redução-oxidação. Assim, é sugerida uma associação entre o consumo de gordura interesterificada no início da vida e um aumento do risco para o desenvolvimento de doenças crônicas metabólicas na vida adulta (VELASCO et al., 2017). No mesmo estudo, a disfunção mitocondrial hepática foi acompanhada por homeostase prejudicada de glicose e alterações nos perfis plasmático e hepático de lipídios, favorecendo o desenvolvimento de doença hepática gordurosa não alcoólica e doença cardiovascular (VELASCO et al., 2017).

4.1 Interesterificação versus hidrogenação parcial de óleos e gorduras

A interesterificação de óleos e gorduras vegetais tem-se apontado como um método importante para a produção de gorduras plásticas com baixos teores ou ausência de ácidos

graxos trans. Essa tecnologia pode ser utilizada com o objetivo de expandir o intervalo plástico, isto é, influenciar o comportamento/curva de fusão, o que favorece a formação de uma consistência desejada em temperatura ambiente e de refrigeração; aprimorar o comportamento térmico e aperfeiçoar ou alterar o comportamento cristalino, incitando os cristais β' como polimorfos mais estáveis, de forma a tornar os processos de produção mais fáceis e reduzir a tendência à recristalização ao longo da vida de prateleira do produto (RIBEIRO et al., 2007; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; KODALI, 2014). Esses fatores fazem da tecnologia de interesterificação uma alternativa promissora.

Diferentemente da hidrogenação, a interesterificação não afeta o grau de saturação, nem causa isomerização das duplas ligações dos ácidos graxos, ou seja, uma gordura interesterificada apresenta o mesmo perfil de ácidos graxos da matéria prima utilizada na sua fabricação (COSTALES; FERNÁNDEZ, 2009; MENAA et al., 2013b). No entanto, ocorre uma alteração quanto a ocupação de ácidos graxos da posição sn-2 do triacilglicerol, que passa a ser ocupada prioritariamente por um ácido graxo saturado, o que altera suas propriedades física, funcionais e nutricionais (BERRY, 2009a; MENAA et al., 2013a). De acordo com Gouk et al. (2013) o óleo de palma que apresentava 7,4% de ácidos graxos saturados na posição sn-2, após a interesterificação passou a apresentar 49%.

A interesterificação, tal como a hidrogenação parcial, pode inserir algumas propriedades desejáveis para margarinas e pastas, como teor de gordura sólida, comportamento de derretimento, viscosidade e morfologia do cristal (DANTINA; LEFEBURE; TRINH; BLECKER, 2014). O teor de gordura sólida é responsável pela sua aparência, viscosidade e sensação na boca. Além disso, as gorduras plásticas devem ser plásticas e viscosas entre 4–10°C e manter sua aparência sem efusão de óleo à temperatura ambiente (20-25 °C) por um determinado tempo. Para obter uma boa sensação na boca, eles devem têm menor teor de gordura sólida a 35-37°C. A morfologia de cristais também é responsável pela qualidade sensorial das gorduras plásticas (LI; ZHAO et al., 2018). Existem três tipos de polimorfos cristalinos, como forma α (instável com ponto de fusão relativamente baixo), forma β' (metaestável com ponto de fusão intermediário) e forma β (estável com o mais alto ponto de fusão). Em margarinas e gorduras, a forma cristalina β' confere uma textura lisa, superfície brilhante e boas características de fusão (DEMAN et al., 2018).

Em grande parte das vezes, a interesterificação é combinada com a hidrogenação total e/ou com o fracionamento, pois combinar essas técnicas permite uma manipulação maior dos ácidos graxos e da estrutura dos triacilgliceróis, o que possibilita produzir óleos e gorduras com propriedades físicas e funcionais almeçadas. Esses produtos também podem ser utilizados

como material base para se misturar com outros óleos e gorduras e obter outras características (O'BRIEN, 2004).

Em termos numéricos, a interesterificação enzimática vem se provando como um processo muito mais sustentável do que a hidrogenação parcial. Em um estudo feito pela Archer Daniels Midland Company (ADM), esse processo possui potencial para eliminar 9 milhões de quilos de metóxido de sódio, 25 milhões de kg de argila branqueadora, 52 milhões de kg de sabonetes, 227 milhões de litros de água por ano e economizar 181 milhões de quilos de óleo de soja (AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS, 2005). Além do mais, o processo de interesterificação auxilia em questões de saúde pública, pois reduz o consumo de ácidos graxos trans, grande responsável por doenças cardiovasculares.

Por outro lado, a interesterificação frequentemente conduz a uma redução de triacilgliceróis trissaturados e triinsaturados (COSTALES; FERNÁNDEZ, 2009). As alterações físicas que ocorrem nas gorduras após a interesterificação podem ser justificadas também pela mudança na estrutura cristalina das gorduras, cujas formas polimórficas α , β' e β apresentam diferentes pontos de fusão (22,4 °C; 36,5 °C e 41,6 °C, respectivamente) (BERRY; MILLER; SANDERS, 2007).

Diferentemente da hidrogenação parcial, que centraliza seu processo em um único óleo (geralmente soja), a gordura interesterificada pode ser obtida a partir de uma mistura de óleos e gorduras. Podem ser usados óleos como o de soja, girassol, canola e milho; gorduras completamente hidrogenadas e frações sólidas obtidas da gordura de palma e de coco (BERRY, 2009). Em função da necessidade de utilização de gorduras com alto ponto de fusão, uma gordura interesterificada tende a ser rica em ácidos graxos saturados (SANTOS et al., 2013). No entanto, a interesterificação também pode ser utilizada para formular produtos com baixos teores de ácidos graxos saturados, pois isso depende da concentração de óleos ricos nesses compostos na formulação da mistura que será processada.

Para Hayes; Pronczuk (2010), o óleo de palma e o óleo de soja totalmente hidrogenados interesterificados com outros óleos são os mais utilizados na fabricação de gorduras interesterificadas. No Brasil, Rekson (2007) sugeriu, a partir de análises dos perfis de ácidos graxos, que os óleos mais comumente utilizados na produção de margarinas e cremes vegetais zero trans foram o óleo de soja, óleo de soja totalmente hidrogenado, algodão ou palma e óleo de palmiste.

Nesse contexto, ao avaliar a composição de ácidos graxos dos óleos comumente utilizados para os processos de interesterificação, fica evidente que, dependendo das

concentrações de óleos com alto ponto de fusão (rico em saturados) na formulação, a gordura interesterificada é uma excelente alternativa zero trans, mas não terá baixo teor em saturados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A redução do consumo de ácidos graxos trans no Brasil deve envolver a ampla divulgação dos seus malefícios à população e a realização de mais estudos que visem determinar o seu conteúdo nos alimentos e estimar os níveis de ingestão diária. Além disso, ações governamentais devem incentivar o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a produção de gorduras com níveis reduzidos de isômeros trans sem elevar o conteúdo de ácidos graxos saturados.

O obstáculo da indústria de alimentos na substituição da gordura trans em diversos produtos reside no desenvolvimento de formulações que apresentem funcionalidade equivalente e viabilidade econômica, não acarretando, entretanto, aumento substancial do teor de ácidos graxos saturados nos alimentos.

A metodologia da interesterificação corresponde a uma alternativa importante para a síntese de óleos e gorduras com teores reduzidos de isômeros trans, visando uma melhor nutrição alimentar, devido a praticidade do procedimento químico e seu custeio reduzido agregado. Entretanto, devido à necessidade de misturar gorduras com alto teor de sólidos para obter produtos com características semissólidas, como a estearina (fração sólida rica em saturados) de palma, a interesterificação não possibilita obter gorduras com teores muito baixos de ácidos graxos saturados e o que determinará isso será a composição de ácidos graxos dos materiais de partida.

No Brasil, a substituição da gordura trans se deu predominantemente por compostos ricos em gorduras saturadas, refletindo maiores dificuldades em relação aos Estados Unidos, que obtiveram algumas tentativas bem-sucedidas com o uso de misturas de gorduras e plantas geneticamente modificadas. Além disso, as legislações possibilitavam variações e flexibilizações, criando barreiras que comprometem o acesso à informação e a capacidade do consumidor para usá-la de forma consciente.

Diante da análise das informações, é possível perceber que as gorduras interesterificadas possuem características desejáveis para substituir as gorduras parcialmente hidrogenadas, desde que o objetivo seja somente a eliminação dos ácidos graxos trans. Além disso, até o momento não foram encontradas tecnologias alternativas que possibilitem a produção de gorduras com as mesmas funcionalidades, baixo teor de saturados e zero trans.

REFERÊNCIAS

- ABIA. Acordo de Cooperação Técnica: Ministério da Saúde e ABIA. Fórum de Alimentação Saudável. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO. BRASIL. **Anais** [...]. Brasília: 2010. Disponível em: http://189.28.128.100/dab/docs/portaldab/documentos/acordodecooperacaoabia_ms.pdf. Acesso em: 13 ago. 2022.
- AKTAS, A. B.; OZEN, B. Chemical and physical properties of fats produced by chemical interesterification of tallow with vegetable oils. **Grasas y aceites**, Sevilla, v. 72, n. 3, p. e418, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3989/gya.0552201>. Acesso em: 16 ago. 2022.
- ALAN, F.D. et al. Production of Trans-free fats by chemical interesterified blends of palm stearin and sunflower oil. **Food Science and Nutrition**, v. 7, p. 3722– 3730, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1231>. Acesso em: 25 ago. 2022.
- ALFIERI, A. et al. Effects of Plant Oil Interesterified Triacylglycerols on Lipemia and Human. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, Switzerland, v. 19, n. 1, p. 104, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms19010104>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Ácidos graxos trans: documento de base para discussão regulatória**. Brasil: Ministério da Saúde, 2018. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/33880/5313808/Documento+de+discuss%C3%A3o+so+bre+gordura+trans+vers%C3%A3o+final.pdf/e2604d4a-9434-4bc4-b511-1c76ce7396ab>. Acesso em: 16 ago. 2022.
- ASCHERIO, A. Trans fatty acids and blood lipids. **Atherosclerosis Supplements: First International Symposium on Trans Fatty Acids and Health**, Denmark, v. 7, n. 2, p. 25–27, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosisup.2006.04.018>. Acesso em: 19 ago. 2022.
- BARROS, Beatriz Ingrid Vasconcellos de. **Comparação da notificação de gordura trans nos rótulos de alimentos industrializados comercializados no Brasil nos anos de 2010 e 2013**. 2020. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Florianópolis, 2020.
- BAYLIN, A. et al. High 18:2 trans-fatty acids in adipose tissue are associated with increased risk of nonfatal acute myocardial infarction in Costa Rican adults. **The Journal of Nutrition**, USA, v. 133, n. 4, p. 1186–1191, 2003. Disponível em: <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1093/jn/133.4.1186>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- BERRY, S. E. E. Triacylglycerol structure and interesterification of palmitic and stearic acid-rich fats: An overview and implications for cardiovascular disease. **Nutrition Research Reviews**, London, v. 22, n. 1, p. 3–17, 2009a. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0954422409369267>. Acesso em: 28 jun. 2022.

BERRY, S. E. E.; MILLER, G. J.; SANDERS, T. A. B. The solid fat content of stearic acid-rich fats determines their postprandial effects. **The American Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 85, n. 6, p. 1486–1494, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.6.1486>. Acesso em: 20 jun. 2022.

BRASIL. Resolução de Diretoria Colegiada - RDC no 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 dez 2003. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-360-de-23-de-dezembro-de-2003.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2022.

BRASIL. Resolução de Diretoria Colegiada – RDC n.º 514, de 28 de maio de 2021. Altera a Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 332, de 23 de dezembro de 2019, que define os requisitos para uso de gorduras trans industriais em alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 jun. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-514-de-28-de-maio-de-2021-324764739>. Acesso em: 29 jun. 2022

BUZZETTI, E.; PINZANI, M.; TSOCHATZIS, E. A. The multiple-hit pathogenesis of nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD). **Metabolism: Clinical and Experimental**, v. 65, n. 8, p.1038–1048, ago. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2015.12.012>. Acesso em: 13 ago. 2022.

CAMPIONI, N. C. et al. Zero-trans fats designed by enzyme-catalyzed interesterification of rice bran oil and fully hydrogenated rice bran oil. **Oléagineux corps gras lipides (OCL)**, v. 28, p. 46, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/ocl/2021036>. Acesso em: 16 ago. 2022.

COSTALES, R.; FERNÁNDEZ, A. Hidrogenación e Interesterificación. In: BLOCK, J.; BARRERA-ARELLANO, D. (Eds.). **Temas Selectos en Aceites y Grasas**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2009.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Tradução de Adriano Brandelli...[et al]. 4. ed, Porto Alegre, Artmed, 2010.

DEMAN, J. M., et al. **Principles of Food Chemistry**. 4. ed. 2018.

DE PAULA, A. V. et al. Screening of food grade lipases to be used in esterification and interesterification reactions of industrial interest. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 160, p. 1146–1156, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8578-z>. Acesso em: 01 ago. 2022.

DIAS, F. S. L.; LIMA, M. F.; VELASCO, P. C.; SALLES-COSTA, R.; SARDINHA, F. L. C.; CARMO, M. G. T. Were policies in Brazil effective to reducing trans fat from industrial origin foods? **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 52, p. 34, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/S1518-8787.2018052000292>. Acesso em: 23 ago. 2022.

DIJKSTRA, A. J. Kinetics and mechanism of the hydrogenation process – the state of the art. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 114, n. 9, p. 985–998, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201100405>. Acesso em: 23 ago. 2022.

DIJKSTRA, A. J. Selectivities in Partial Hydrogenation. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 87, n. 1, p. 115–117, 2010. Disponível em: <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11746-009-1507-z>. Acesso em: 23 ago. 2022.

ENIG, M. G. **Interesterification**. 2008. Disponível em: <https://www.westonaprice.org/health-topics/know-your-fats/interesterification/#gsc.tab=0> . Acesso em: 22 ago. 2022

FARIAS, E.S. et al. Perfil dos ácidos graxos do óleo da semente da andiroba (Carapa Guianenses Aublet) de Roraima por cromatografia gasosa. **52º Congresso Brasileiro de Química**. Química Analítica, out. 2012. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2012/trabalhos/4/741-12796.html>. Acesso em: 23 ago. 2022.

FDA. Food and Drug Administration. **Food Labeling: Trans Fatty Acids in Nutrition Labeling, Nutrient Content Claims, and Health Claims**, v.64, n.221, 1999. Disponível em: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1999-11-17/pdf/99-29537.pdf>. Acesso em: 02 set. 2022.

FDA. Food and Drug Administration. **Final Determination Regarding Partially Hydrogenated Oils (Removing Trans Fat)**, 2018. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/food-additives-petitions/final-determination-regarding-partially-hydrogenated-oils-removing-trans-fat>. Acesso em: 05 set. 2022.

FOURNIER, N. et al. Deleterious impact of elaidic fatty acid on ABCA1-mediated cholesterol efflux from mouse and human macrophages. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Molecular and Cell Biology of Lipids**, v. 1821, n. 2, p. 303–312, fev. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2011.10.005>. Acesso em: 23 ago. 2022.

GEBAUER, S. K.; PSOTA, T. L.; KRIS-ETHERTON, P. M. The diversity of health effects of individual trans fatty acid isomers. **Lipids**, v. 42, n. 9, p. 787–799, set. 2007. Disponível em: <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11745-007-3095-8>. Acesso em: 01 ago. 2022.

GHOTRA, B. S.; DYAL, S. D.; NARINE, S. S. Lipids shortenings: a review. **Food Research International**. Ontario, v. 35, n. 10, p.1015-1048, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00163-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00163-1). Acesso em: 02 ago. 2022.

GIOIELLI, L. A.; SIMÕES, I. S.; RODRIGUES, J. N. Crystal morphology and interactions of binary and ternary mixtures of hydrogenated fats. **Journal of Food Engineering**. Essex, v.57, p.347-355, 2003.

GOUK, S. W. et al. Long-chain SFA at the sn-1, 3 positions of TAG reduce body fat deposition in C57BL/6 mice. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, England, v. 110, n. 11, p. 1987–1995, 12 dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0007114513001475>. Acesso em: 20 ago. 2022.

GRAILLE, J. Providing biocatalysts through customizing lipases by different processes. **Oleagineux Corps Gras Lipides**, v.6, n.5, p.365-372, 1999. Disponível em: <https://agritrop.cirad.fr/392211/>. Acesso em: 28 jun. 2022.

GUNSTONE D. F. **The chemistry of oils and fats**. Sources, composition, properties and uses, Blackwell Publishing Ltd. 2004. p.47-49. Cap 2.3.4, 2.3.5.

HAYES, K. C.; PRONCZUK, A. Replacing trans fat: The argument for palm oil with a cautionary note on interesterification. **Journal of the American College of Nutrition**, London, v. 29, n. 3, p. 253S-284S, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07315724.2010.10719842>. Acesso em: 23 ago. 2022.

HISSANAGA, V. M.; PROENÇA, R. P. C.; BLOCK, J. M. Ácidos graxos trans em produtos alimentícios brasileiros: uma revisão sobre aspectos relacionados à saúde e à rotulagem nutricional. **Revista de Nutrição [online]**. Campinas, v.25, n.4, 517-530, jul/ago. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732012000400009>. Acesso em: 15 ago. 2022..

HUSTEDT, H. H. Interesterification of edible oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 53, n. 6, Part. 2, p. 390-392, 1976. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02605728>. Acesso em: 02 ago. 2022.

IIDA, H. et al. Reduction of trans fatty acids in hydrogenated soybean oil using Ni/TiO₂ catalysts. Department of Applied Chemistry, School of Advanced Engineering, **Food Chemistry**, Tokyo, Japan, v.340, 15 mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127927>. Acesso em: 01 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. **Anvisa anuncia proposta de nova rotulagem nutricional frontal de alimentos**. IDEC, Brasil, 2019. Disponível em: <https://idec.org.br/noticia/anvisa-anuncia-proposta-de-nova-rotulagem-nutricionalfrontaldealimentos#:~:text=Sobre%20a%20gordura%20trans%2C%20a,a%20sua%20restri%C3%A7%C3%A3o%20e%20banimento>. Acesso em: 13 ago. 2022.

IZAR, M. C. de O et al. Posicionamento sobre o Consumo de Gorduras e Saúde Cardiovascular–2021. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 116, n. 1, p. 160-212, fev 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36660/abc.20201340>. Acesso em: 03 ago. 2022.

JORGE, N. **Química e tecnologia de óleos vegetais**. São Paulo, Ed. Cultura Acadêmica, v. 1, p. 165, 2009.

KADHUM, A. A.; SHAMMA, M. N. Edible lipids modification processes: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.57, p. 48-58, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.848834>. Acesso em: 06 ago. 2022.

KARBOWSKA, J.; KOCHAN, Z. Trans-fatty acids-effects on coronary heart disease. **Polski Merkuriusz Lekarski**, v. 31, n. 181, p. 56–59, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21870712/>. Acesso em: 05 ago. 2022

KODALI R. D. **Trans fat replacement solutions**. Urbana, Ilinoís, AOCS press, 2014. p. 1-40. Cap 1. p 153-214. Cap 8,9.

KOK, L. L et al. Trans-free margarine from highly saturated soybean oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 76, n. 10, p. 1175-1181, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0092-5>. Acesso em: 12 ago. 2022.

LAKUM, R.; SONWAI, S. Production of trans-free margarine fat by enzymatic interesterification of soy bean oil, palm stearin and coconut stearin blend. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, n. 12, p. 2761-2769, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13888>. Acesso em: 14 ago. 2022.

LARQUÉ, E.; ZAMORA, S.; GIL, A. Dietary trans fatty acids in early life: a review. **Early Human Development**, Murcia, Spain, v. 65, n. SUPPL. 2, p. S31–S41, nov. 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-3782\(01\)00201-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3782(01)00201-8). Acesso em: 19 ago. 2022.

LIDA, H. M. D. N.; ALI, A. Physico-chemical characteristics of palm-based oil blends for the production of reduced fat spreads. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 75, n. 11, p. 1625-1631, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0103-y>. Acesso em: 22 ago. 2022.

LIU, L.; LAMPERT, D. Monitoring chemical interesterification. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 76, n. 7, p. 783-787, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0066-7>. Acesso em: 19 ago. 2022.

LI, Y., ZHAO, J., XIE, X., ZHANG, Z., ZHANG, N., & WANG, Y. A low trans margarine fat analog to beef tallow for healthier formulations: Optimization of enzymatic interesterification using soybean oil and fully hydrogenated palm oil. **Food Chemistry**, v. 255, p. 405–413, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.086>. Acesso em: 04 ago. 2022.

MARANGONI, A. G.; ROUSSEAU, D. Engineering triacylglycerols: the role of interesterification, **Trends Food Science Technol.**, v.6, n. 10, p.329-335, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89167-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89167-0). Acesso em: 29 jun. 2022.

MARTIN, C. A. et al. Fatty acid contents of Brazilian soybean oils with emphasis on trans fatty acids. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 19, n. 1, p. 117–122, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532008000100017>. Acesso em: 28 jun. 2022.

MARTIN, C. A. et al. Trans fatty acid-forming processes in foods: a review. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 2, p. 343–350, jun. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652007000200015>. Acesso em: 16 ago. 2022.

MENAA, F. et al. Technological approaches to minimize industrial trans fatty acids in foods. **Journal of Food Science**, v. 78, n. 3, p. R377–R386, mar. 2013a. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12055>. Acesso em: 13 ago. 2022.

MENAA, F. et al. Trans-fatty acids, dangerous bonds for health? A background review paper of their use, consumption, health implications and regulation in France. **European Journal of Nutrition**, v. 52, n. 4, p. 1289–1302, 27 jun. 2013b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00394-012-0484-4>. Acesso em: 11 ago. 2022.

MENSINK, R. P. et al. Effects of saturated fatty acids on serum lipids and lipoproteins: a systematic review and regression analysis. **World Health Organization**, 2016, 72 p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/246104>. Acesso em: 05 ago. 2022.

MENSINK, R. P.; KATAN, M. B. Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. **New England Journal of Medicine**, v. 323, n. 7, p. 439–445, 16 ago. 1990. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejm199008163230703>. Acesso em: 07 ago. 2022.

MENSINK, R. P., SANDERS, T. A., BAER, D. J., HAYES, K. C., HOWLES, P. N., & MARANGONI, A. The increasing use of interesterified lipids in the food supply and their effects on health parameters. **American Society of Nutrition. Advances in Nutrition**, v.7, cap. 4, p.719-729, jul. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3945/an.115.009662>. Acesso em: 11 ago. 2022.

MERÇON, F. O que é uma gordura trans. **Química nova na escola**, v. 32, n. 2, p. 78-83, 2010. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc32_2/04-CCD-9509.pdf. Acesso em: 23 jun. 2022.

MILLS, C. E.; HALL, W. L.; BERRY, S. E. E. What are interesterified fats and should we be worried about them in our diet? **Nutrition Bulletin**, v. 42, n. 2, p. 153–158, 1 jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nbu.12264>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (BR). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.332, de 23 de dezembro de 2019. Define os requisitos para uso de gorduras trans industriais em alimentos. **Diário Oficial da União**. Seção 1, p. 97, 23 dez. 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-332-de-23-de-dezembro-de-2019-235332281>. Acesso em: 15 jun. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (BR). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, v. 185, Seção 1, p. 113, 09 out. 2020. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3882585/IN+75_2020_.pdf/7d74fe2d-e187-4136-9fa2-36a8dcfc0f8f. Acesso em: 16 jun. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Passo a passo PSE: **Programa Saúde na Escola: tecendo caminhos da intersetorialidade**. 1. ed. Brasília, DF, Ministério da Saúde; 2011. Disponível em: https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/passa_a_passo_programa_saude_escola.pdf. Acesso em: 19 jun. 2022.

MOZAFFARIAN, D. et al. Trans fatty acids and cardiovascular disease. **The New England Journal of Medicine**, v. 354, n. 15, p. 1601–1613, 13 abr. 2006. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmra054035>. Acesso em: 26 jun. 2022.

MOZAFFARIAN, D.; ARO, A.; WILLETT, W. C. Health effects of trans-fatty acids: experimental and observational evidence. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 63, n. S2, p. S5–S21, 6 maio 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602973>. Acesso em: 19 ago. 2022.

MOZAFFARIAN, D.; CLARKE, R. Quantitative effects on cardiovascular risk factors and coronary heart disease risk of replacing partially hydrogenated vegetable oils with other fats and oils. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 63, n. S2, p. S22–S33, 6 maio 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602976>. Acesso em: 23 ago. 2022.

NORIZZAH, A. R. et al. Effects of chemical interesterification on physicochemical properties of palm stearin and palm kernel olein blends. **Food chemistry**, Malasia, v. 86, n. 2, p. 229-235, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.030>. Acesso em: 15 jun. 2022.

O'BRIEN D. R. **Fats and Oils**. Formulating and Processing for Applications. Boca Raton, Flórida. CRC press LLC, 2004, p. 120-128, cap 2.9.

OLIVEIRA D. P. et al. Chemical interesterification of blends with palm stearin and patawa oil. **Food Chemistry**, Belém, Pará, Brasil, v. 215, p. 369-376, jan 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.165>. Acesso em: 31 ago. 2022.

OTENG, A.; KERSTEN, S. Mechanisms of action of trans fatty acids. **Advances in Nutrition**, v. 11, n. 3, p. 697-708, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz125>. Acesso em: 13 ago. 2022.

ORNLA-IED, P.; PODCHONG, P.; SONWAI, S. Synthesis of cocoa butter alternatives from palm kernel stearin, coconut oil and fully hydrogenated palm stearin blends by chemical interesterification. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 4, p. 1619-1627, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11498>. Acesso em: 13 ago. 2022.

PARZIALE, A.; OOMS, G. The global fight against trans-fat: the potential role of international trade and law. **Globalization and Health**, v. 15, n. 46, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12992-019-0488-4>. Acesso em: 29 ago. 2022.

PETRAUSKAITE, V. et al. Physical and chemical properties of trans-free fats produced by chemical interesterification of vegetable oil blends. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 75, n. 4, p. 489-493, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0252-z>. Acesso em: 17 ago. 2022.

PHILIPPAERTS, A.; JACOBS, P. A.; SELS, B. F. Is there still a Future for Hydrogenated Vegetable Oils? **Angewandte Chemie International Edition**, v. 52, n. 20, p. 5220–5226, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/anie.201209731>. Acesso em: 16 ago. 2022.

PROENÇA, R. P. C.; SILVEIRA, B. M. Recomendações de ingestão e rotulagem de gordura trans em alimentos industrializados brasileiros: análise de documentos oficiais. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 46 (5), 923-28, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89102012000500020>. Acesso em: 27 ago. 2022.

PULIGUNDLA, P. et al. Emerging trends in modification of dietary oils and fats, and health implications-A review. **Sains Malaysiana**, v. 41, n. 7, p. 871-877, 2012. Disponível em: http://www.ukm.edu.my/jsm/pdf_files/SM-PDF-41-7-2012/09%20Pradeep.pdf. Acesso em: 19 ago. 2022.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 2-15, 2013. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v5n1a02.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.

RAMAMURTHI, S.; MCCURDY, A.R. Interesterification: Current status and future prospects. In: PRZYBYLSKI, B.; McDONALD, E. Development and processing of vegetable oils for human nutrition. Washington: **AOCS PRESS**, 1995. p. 62-86. Cap.6

RAY, J. D. Behavior of Hydrogenation Catalysts. I. Hydrogenation of Soybean Oil with Palladium. **Best Foods Research and Engineering Center**, v. 62, p. 1213- 1217, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02541830>. Acesso em: 20 ago. 2022.

REKSON, A. O. **Avaliação da composição de ácidos graxos de margarinas e cremes vegetais zero trans comercializados no estado do Rio de Janeiro**. [s.l.] 2007. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/tede/386>. Acesso em: 11 ago. 2022.

REMIG, V.; FRANKLIN, B.; MARGOLIS, S.; KOSTAS, G.; NECE, T.; STREET, J. C. Trans Fats in America: A Review of Their Use, Consumption, Health Implications, and Regulation. **Journal of The American Dietetic Association**, v. 110 (4), 585-592, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.12.024>. Acesso em: 30 jun. 2022.

RESTREPO, B. J. Further Decline of Trans Fatty Acids Levels Among US Adults Between 1999-2000 and 2009-2010. **AJPH Research**, Washington, v. 107, n.1, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2016.303524>. Acesso em: 29 jun. 2022.

RIBEIRO, A. P. B. et al. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras zero trans. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1295–1300, out. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000500043>. Acesso em: 25 ago. 2022.

RIBEIRO, A. P. B. et al. Effect of chemical interesterification on physicochemical properties and industrial applications of canola oil and fully hydrogenated cottonseed oil blends. **Journal of Food Lipids**, v.16, p. 362–381, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2009.01152.x>. Acesso em: 28 ago. 2022.

RICARDO, C. Z.; PEROSINI, I. M.; MAIS, L. A.; MARTINS, A. P. B.; DURAN, A. C. Trans Fat Labeling Information on Brazilian Packaged Foods. **Nutrients**, v. 11 (9), 21-30, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu11092130>. Acesso em: 12 ago. 2022.

ROUSSEAU, D.; MARANGONI, A. G. The effects of interesterification on physical and sensory attributes of butterfat and butterfat-canola oil. **Food Research International**, v. 31, n. 5, p. 381-388, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(98\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00100-8). Acesso em: 18 ago. 2022.

RUDSARI, T. M.; NAJAFIAN, L.; SHAHIDI, A. S. Effect of chemical interesterification on the physicochemical characteristics of bakery shortening produced from palm stearin and Ardeh oil (*Sesamum indicum*) blends. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14101>. Acesso em: 28 ago. 2022.

SABARENSE, C. M.; FILHO, J. M. Efeito da gordura vegetal parcialmente hidrogenada sobre a incorporação de ácidos graxos trans em tecidos de ratos. Departamento de Nutrição e Saúde, **Revista de Nutrição**, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732003000400003>. Acesso em: 03 ago. 2022.

SANTOS, R. D. et al. Sociedade Brasileira de Cardiologia. I diretriz sobre o consumo de gorduras e saúde cardiovascular. **Arq Bras Cardiol.**, v. 100, n. 1 Supl.3, p. 1–40, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2013000900001>. Acesso em: 09 ago. 2022.

SATCHITHANANDAM, S. et al. Trans, saturated, and unsaturated fat in foods in the united states prior to mandatory trans-fat labeling. **Lipids**, v. 39, n. 1, p. 11–18, 1 jan. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11745-004-1195-5>. Acesso em: 05 ago. 2022.

SCHEEDER, M. R. L. About the trans history: How did trans fatty acids enter the human food chain? **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 18, n. 2, p. 133–135, 2007. set, 1990. Seção I (supl.). p.1-12. Dispõe sobre a proteção do consumidor.

SEGURA, N.; JACHMANIÁN, I. Zero-trans fats by enzymatic interesterification of blends beef tallow/rice bran oil. **OCL**, v. 27, p. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/ocl/2019052>. Acesso em: 30 jun. 2022.

SILVA da C. R., SOARES M. de S.A.F., HAZZAN M., CAPACLA R.I., GONÇALVES A.I.M., GIOIELLI A.L. Continuous enzymatic interesterification of lard and soybean oil blend: Effects of different flow rates on physical properties and acyl migration. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v.76, p.23-28, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2011.11.021>. Acesso em: 29 ago. 2022.

SISWANTI et al. Synthesis of margarine fat from sesame oil and palm stearin by chemical Interesterification. **Food Research**, v. 5, n. 2, p. 70-77, 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(S2\).015](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(S2).015). Acesso em: 29 ago. 2022.

SIVAKANTHAN S.; MADHUJITH T. Current trends in applications of enzymatic interesterification of fats and oils: A review. **LWT**, Athens, USA, v. 132, out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109880>. Acesso em: 23 ago. 2022.

SONPRASERT, T.; ORNLA-IED, P.; SONWAI, S. Synthesis of confectionery fat from illipé butter stearin and palm mid-fraction blend via enzymatic interesterification. **Int J Food Sci Technol**, v. 57, p. 3150-3161, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15648>. Acesso em: 23 ago. 2022.

SOUMANOU, M.M., PÉRIGNON, M., VILLENEUVE, P. Lipase-catalyzed interesterification reactions for human milk fat substitutes production: A review. **Eur. J. Lipid Sci. Technol.**, v.115, p. 270-285, jan 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201200084>. Acesso em: 19 ago. 2022.

SPERANZA, P.; RIBEIRO, A. P. B.; MACEDO, G. A. Application of lipases to regiospecific interesterification of exotic oils from an Amazonian area. **Journal of Biotechnology**, v. 218,

p. 13-20, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2015.11.025>. Acesso em: 23 ago. 2022.

SREENIVASAN, B. Interesterification of fats. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 55, n. 11, p. 796-805, 1978. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02682651>. Acesso em: 11 ago. 2022.

SUNDRAM, K.; KARUPAIAH, T.; HAYES, K. C. Stearic acid-rich interesterified fat and trans-rich fat raise the LDL/HDL ratio and plasma glucose relative to palm olein in humans. **Nutrition & metabolism**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2007. Disponível em: <https://nutritionandmetabolism.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-7075-4-3>. Acesso em: 30 jun. 2022.

STATISTA. Consumption of vegetable oils worldwide from 2013/14 to 2021/2022, by oil type. **US Department of Agriculture; USDA Foreign Agricultural Service**. Ago 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/263937/vegetable-oils-global-consumption>. Acesso em: 03 set. 2022.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Presidential green chemistry challenge: 2005 greener synthetic pathways award. **Archer Daniels Midland Company/Novozymes**. Disponível em: <https://www.epa.gov/greenchemistry/presidential-green-chemistrychallenge-2005-greener-synthetic-pathways-award-archer>. Acesso em: 01 set. 2022.

UTAMA, Q. D., SITANGGANG, A. B., ADAWIYAH, D. R., HARIVADI, P. Lipase-catalyzed interesterification for the synthesis of medium-long-medium (MLM) structured lipids - a review. **Food Technology and Biotechnology**, v.53, cap 3, p.305-318. Disponível em: <https://doi.org/10.17113/ftb.57.03.19.6025>. Acesso em: 23 ago. 2022.

VALENZUELA, A.; MORGADO, N. Trans fatty acid isomers in human health and in the food industry. **Biological Research**, v. 32, n. 4, p. 273-287, 1999. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-97601999000400007>. Acesso em: 01 ago. 2022.

VAN CAMP, D.; HOOKER, N. H.; LIN, C. T. J. Changes in fat contents of US snack foods in response to mandatory transfat labelling. **Public Health Nutrition**, v. 15, n. 6, 1130-1137, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1368980012000079>. Acesso em: 14 ago. 2022.

VANNICE, G.; RASMUSSEN, H. Position of the academy of nutrition and dietetics: dietary fatty acids for healthy adults. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, v. 114, n. 1, p. 136-153, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.11.001>. Acesso em: 15 ago. 2022.

VELASCO, P. C. DE et al. Maternal intake of trans-unsaturated or interesterified fatty acids during pregnancy and lactation modifies mitochondrial bioenergetics in the liver of adult offspring in mice. **British Journal of Nutrition**, v. 118, n. 1, p. 41-52, jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0007114517001817>. Acesso em: 02 ago. 2022.

VIRIATO, R.L.S., QUEIRÓS, M.D.S., RIBEIRO, A.P.B.; M.L. (2019), Potential of Milk Fat to Structure Semisolid Lipidic Systems: A Review. **Journal of Food Science**. v.84, n.8, jul 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14728>. Acesso em: 05 ago. 2022.

WANG, C.F. et al. Novel trans fat replacement strategies. **Current Opinion in Food Science**, v.7, p.27-34, fev. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.006>. Acesso em: 17 ago. 2022.

WASSELL, P.; YOUNG, N. W. G. Food applications of trans fatty acid substitutes. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 42, n. 5, p. 503–517, maio 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01571.x>. Acesso em: 24 ago. 2022.

WHO. 2013-2019. **Plan of action for the prevention and control of noncommunicable diseases**. World Health Organization, ed. 66, World Health Assembly. Anais...Geneva: 2013.

WHO. **Global strategy on diet, physical activity and health**. World Health Organization, ed. 57, World Health Assembly. Anais...Geneva: 2004. Disponível em: https://www.who.int/dietphysicalactivity/strategy/eb11344/strategy_english_web.pdf

WHO. **Replace trans fat: an action package to eliminate industrially-produced trans-fatty acids**. World Health Organization, 2018b. Disponível em: <https://www.who.int/docs/default-source/documents/replace-transfats/replace-action-package.pdf>

WILCZEK, M. M.; OLSZEWSKI, R.; KRUPIENICZ, A. Trans-Fatty Acids and Cardiovascular Disease: Urgent Need for Legislation. **Cardiology**, v. 138, n. 4, p. 254–258, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1159/000479956>. Acesso em: 03 ago. 2022.

WILLETT, W. C. Dietary fats and coronary heart disease. **Journal of Internal Medicine**, v. 272, n. 1, p. 13–24, jul. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2012.02553.x>. Acesso em: 25 ago. 2022.

WILLIS, W. M., MARANGONI, A. G. Lipid modification strategies in the production of nutritionally functional fats and oils. **Critical Review on Food Science and Nutrition**, v.38, n.8, p.639-674, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408699891274336>. Acesso em 13 ago. 2022.

WONG, W. C., BASRI, M., RAZAK, C. N. A., SALLEH, A. B. Synthesis of mediumchain glycerides using lipase from *Candida rugosa*. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, v.77, n.5, p.463-475, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0013-9>. Acesso em: 29 ago. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. TFA Country Score Card. **Global database on the Implementation of Nutrition Action (GINA)**. Geneva, 2012. Disponível em: <https://extranet.who.int/nutrition/gina/en/scorecard/TFA>. Acesso em 06 ago. 2022.