



GUSTAVO SILVA GOMIDE

**ESTUDO BIBLIOGRÁFICO SOBRE EMULSÕES DE ÓLEOS
VEGETAIS**

**LAVRAS – MG
2022**

GUSTAVO SILVA GOMIDE

ESTUDO BIBLIOGRÁFICO SOBRE EMULSÕES DE ÓLEOS VEGETAIS

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

Prof^ª. Dr^ª. Renata de Aquino Brito Lima Corrêa

Orientadora

Prof^ª. Dr^ª. Iara Hernandez Rodriguez Ansoni

Coorientadora

LAVRAS – MG

2022

GUSTAVO SILVA GOMIDE

ESTUDO BIBLIOGRÁFICO SOBRE EMULSÕES DE ÓLEOS VEGETAIS
BIBLIOGRAPHIC STUDY ON VEGETABLE OIL EMULSIONS

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

APROVADA em 20 de Abril de 2022.

Prof^a. Dr^a. Renata de Aquino Brito Lima Corrêa – DEG/EENG/UFLA

Prof^a. Dr^a. Iara Hernandez Rodriguez Ansoni – DEG/EENG/UFLA

Prof. Dr. Gilson Campani Junior – DEG/EENG/UFLA

Prof^a. Dr^a. Isabele Cristina Bicalho – DEG/EENG/UFLA

Prof^a. Dr^a. Renata de Aquino Brito Lima Corrêa

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Iara Hernandez Rodriguez Ansoni

Coorientadora

LAVRAS – MG

2022

À minha mãe Ester, meu porto seguro.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção e sustento. Por todos os corações que Ele cuidadosamente selecionou para cruzarem o meu caminho, surpreendendo-me sempre com Seu amor incomparável.

À minha mãe Ester, minha melhor amiga, exemplo de conduta e de força. Por todos estes anos de cumplicidade, cuidado mútuo e amor incondicional. Sem você, minha rainha, nada disso seria possível.

Ao meu pai Julianno, pela amizade, companheirismo e apoio ao longo da jornada. Tê-lo como amigo é um presente inestimável para mim. Gratidão por tudo, essa conquista é nossa.

Às minhas irmãs Maria Alice, Giulia e Rafaela, as três flores mais belas do meu jardim.

À Juliana, um anjo que cuida de mim como um filho.

À minha avó Maria Antônia e aos meus avós Assunta e Antônio, que ocupam um lugar único em meu coração. Saudades de almoçar com vocês.

À minha tia Roseli, que mesmo tão longe fisicamente, se fez sempre presente em minha vida.

Aos meus tios Andreísa e Jonas, por todo suporte e incentivo.

Aos meus tios Roselene e Gilson, pelo apoio e torcida pelo meu sucesso.

Aos melhores primos de todos: Gabriella, Pedro e Lucas, a vida é mais feliz com vocês.

Aos melhores amigos que algum dia eu sonhei em ter: Tiago, Jacqueline, Edna, Sissa, Diana e Ana, já não consigo imaginar a minha vida sem a nossa amizade.

Aos corações amigos que se tornaram a família NEPE Maria de Nazaré, minha eterna gratidão por todos os momentos valiosos que compartilhamos.

Aos amigos cultivados durante a graduação: Samuel e Thamara, vocês tornaram esta árdua jornada mais leve.

À minha orientadora Renata, pela dedicação, inspiração e suporte.

À minha coorientadora Iara, pelos ensinamentos, sugestões e auxílio.

À Universidade Federal de Lavras e aos docentes do curso de graduação em Engenharia Química, por todo o aprendizado.

Cada um de vocês foi fundamental para que, diante das maiores dificuldades, eu me lembrasse que nunca estive sozinho. A todos, muito obrigado por dividirem este sonho comigo!

RESUMO

Efluentes constituídos de óleos e misturas de óleo e água são descartados de maneira indevida diariamente por atividades domésticas e industriais, ocasionando problemas como contaminação do solo e dos corpos hídricos, inclusive durante o próprio tratamento de tais efluentes. Além disso, quando emulsionados em água, os óleos requerem tratamentos especiais de separação, os quais envolvem, frequentemente, tecnologias específicas e dispendiosas. Neste trabalho, objetivou-se a realização de uma revisão da literatura a respeito da formação, estabilização e desestabilização de emulsões formadas por óleos vegetais em água. O processamento de óleos vegetais, dados econômicos, consumo, descarte e impacto ambiental foram apresentados, bem como a fundamentação teórica relativa aos tipos de emulsões, emulsificação e mecanismos de desestabilização. Em adição, levantou-se informações relevantes de emulsões de óleos vegetais e emulsões formadas por óleos vegetais em água através de uma análise bibliométrica nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. Por fim, apresentou-se as perspectivas futuras de aplicação de emulsões de óleo em água. Os resultados gerais demonstram que o tema atualmente encontra-se em seu ápice de desenvolvimento, sendo proposto em projetos de pesquisa ao redor do mundo, com posições de destaque ocupadas pelo Brasil. As emulsões de óleos vegetais em água encontram possibilidades de aplicação em diversas áreas, como saúde, cosméticos, alimentos, entre outras, possibilitando oportunidades de visibilidade e protagonismo para a ciência brasileira.

Palavras-chave: Emulsões O/A; Efluentes oleosos; Análise bibliométrica; Águas contaminadas; Impacto ambiental.

ABSTRACT

Wastewater consisting of oils and mixtures of oil and water are improperly discarded daily by domestic and industrial activities, causing problems such as contamination of soil and water bodies, including during wastewater treatment itself. Furthermore, when emulsified in water, oils require special separation treatments, which often involve specific and expensive technologies. This work aimed to carry out a literature review regarding the formation, stabilization and destabilization of emulsions formed by vegetable oils in water. Processing of vegetable oils, economic data, consumption, disposal and environmental impact were presented, as well as the theoretical foundation related to the types of emulsions, emulsification and destabilization mechanisms. In addition, relevant information on vegetable oil emulsions and emulsions formed by vegetable oils in water was collected through a bibliometric analysis in Web of Science and Scopus databases. Finally, future prospects for the application of oil-in-water emulsions were presented. General results demonstrate that the theme is currently at its peak of development, being proposed in research projects around the world, with prominent positions occupied by Brazil. Vegetable oil emulsions in water find application possibilities in several areas, such as health, cosmetics, food, among others, providing opportunities for visibility and protagonism for Brazilian science.

Keywords: O/W Emulsions; Oily wastewater; Bibliometric analysis; Contaminated water; Environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de um triglicerídeo.	18
Figura 2 - Fluxograma do preparo da matéria-prima.	22
Figura 3 - Prensa contínua do tipo <i>expeller</i> : (1) motor elétrico; (2) redutor; (3) entrada dos grãos; (4) rosca helicoidal; (5) cesto; (6) cone, e (7) saída do farelo ou torta.	25
Figura 4 - Etapas da refinação de óleos brutos.	26
Figura 5 - Degomagem do óleo bruto.	27
Figura 6 - Produção mundial de oleaginosas por colheita de 2012 a 2017.	28
Figura 7 - Cenário da indústria brasileira de óleos vegetais.	29
Figura 8 - (a) emulsão óleo em água (O/A); (b) emulsão água em óleo em água.	34
Figura 9 - Estrutura e classificação dos surfactantes.	35
Figura 10 - Estrutura química de alguns surfactantes.	36
Figura 11 - Escala de Griffin.	37
Figura 12 - Mecanismos de desestabilização de emulsões.	39
Figura 13 - Evolução do amadurecimento de Ostwald ao longo do tempo.	41
Figura 14 - Número de publicações por ano.	49
Figura 15 - Interconexão dos dez periódicos selecionados baseada nas categorias da WoS. ..	51
Figura 16 - Número de publicações por país.	54
Figura 17 - Mapeamento de palavras-chave.	58
Figura 18 - Número de publicações por ano.	59
Figura 19 - Número de publicações por autor.	61
Figura 20 - Número de publicações por país.	63
Figura 21 - Número de publicações por instituição de pesquisa e ensino.	64
Figura 22 - Número de publicações por ano.	67
Figura 23 - Número de publicações por país.	70
Figura 24 - Número de publicações por ano.	72
Figura 25 - Número de publicações por autor.	75
Figura 26 - Número de publicações por país.	76
Figura 27 - Exemplos de diferentes tipos de sistemas avançados de emulsões.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de ácidos graxos presentes em óleos vegetais.	20
Tabela 2 - Composições de alguns tipos de óleos vegetais.	20
Tabela 3 - Teores de óleo e umidade crítica de oleaginosas.	23
Tabela 4 - Proporção casca/carço de oleaginosas.	23
Tabela 5 - Balanço de oferta/demanda para o óleo de soja em 2021.	30
Tabela 6 - Exportação de óleo de soja (em toneladas).	30
Tabela 7 - Principais variáveis e conclusões gerais sobre a formação, estabilização e desestabilização de emulsões de óleos vegetais em água.	47
Tabela 8 - Periódicos com maior número de publicações.	50
Tabela 9 - Publicações mais citadas.	52
Tabela 10 - Publicações por áreas do conhecimento.	53
Tabela 11 - Publicações por agências financiadoras.	55
Tabela 12 - Instituições com maior número de publicações.	56
Tabela 13 - Publicações por instituições brasileiras.	56
Tabela 14 - Publicações por autores e coautores da UFLA.	57
Tabela 15 - Periódicos com maior número de publicações.	59
Tabela 16 - Publicações mais citadas.	60
Tabela 17 - Publicações por áreas do conhecimento.	62
Tabela 18 - Agências financiadoras com maior número de publicações.	63
Tabela 19 - Publicações por instituições brasileiras.	65
Tabela 20 - Publicações por autores e coautores da UFLA.	65
Tabela 21 - Periódicos com maior número de publicações.	68
Tabela 22 - Publicações mais citadas.	68
Tabela 23 - Publicações por áreas do conhecimento.	70
Tabela 24 - Publicações por agências financiadoras.	71
Tabela 25 - Periódicos com maior número de publicações.	72
Tabela 26 - Publicações mais citadas.	73
Tabela 27 - Publicações por áreas do conhecimento.	75
Tabela 28 - Agências financiadoras com maior número de publicações.	77
Tabela 29 - Número de publicações por instituições.	77
Tabela 30 - Publicações por instituições brasileiras.	78
Tabela 31 - Publicações por autores e coautores da UFLA.	79

LISTA DE ABREVIATURAS

A/O	Água em óleo
A/O/A	Água em óleo em água
cm ²	Centímetro quadrado
EHL	Equilíbrio Hidrófilo-Lipófilo
FI	Fator de Impacto
ha	Hectare
HIPES	High internal phase emulsions
HLB	Hydrophilic-Lipophilic Balance
J	Joule
kg	Quilograma
kgf	Quilograma-força
m	Metro
m ²	Metro quadrado
N	Newton
nm	Nanômetro
O/A	Óleo em água
O/A/O	Óleo em água em óleo
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PGO	Polyethylene glycol octylphenyl ether
PHC	Polyethylene glycol hydrogenated castor oil
PLX	Poloxamer 407
POS	Polyoxyethylene sorbitan monostearate
SLNs	Nanopartículas lipídicas sólidas
SLS	Sodium lauryl sulfate
SMES	Sodium methyl ester sulfonate
SPI	Soy protein isolate
WPI	Whey protein isolate
% m/m	Porcentagem em massa
°C	Grau Celsius
µm	Micrômetro

LISTA DE SIGLAS

ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
AESBE	Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USDA	United States Department of Agriculture
USP	Universidade de São Paulo
WoS	Web of Science

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔG	Energia livre de superfície
σ	Tensão interfacial
ΔA	Área interfacial total
v	Velocidade de cremeação
g	Aceleração da gravidade
r	Raio da gotícula
$\Delta\rho$	Diferença de densidade
η	Viscosidade dinâmica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	ÓLEOS	17
3.1	Lipídios.....	17
3.2	Composição	17
3.3	Descarte	18
3.4	Óleos vegetais.....	19
3.4.1	Aplicações e tipos.....	19
3.4.2	Composição	20
3.4.3	Obtenção.....	21
3.4.4	Consumo e produção.....	28
3.4.5	Descarte e impacto ambiental	31
4	FUNDAMENTOS DE EMULSÕES	33
4.1	Emulsões.....	33
4.2	Agentes emulsificantes	34
4.2.1	Equilíbrio Hidrófilo-Lipófilo (EHL).....	36
4.3	Emulsificação	37
4.3.1	Teorias de emulsificação	38
4.4	Desestabilização	39
4.4.1	Cremação (<i>Creaming</i>).....	40
4.4.2	Amadurecimento de Ostwald (<i>Ostwald Ripening</i>).....	41
4.4.3	Floculação ou coagulação	41
4.4.4	Coalescência	41
4.4.5	Sedimentação e ascensão.....	42
5	EMULSÕES DE ÓLEOS VEGETAIS EM ÁGUA	43
6	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	48
6.1	Emulsões de óleos vegetais.....	49
6.1.1	Web of Science	49
6.1.2	Scopus.....	58
6.2	Emulsões de óleos vegetais em água	66
6.2.1	Web of Science	66

6.2.2	Scopus.....	71
7	EMULSÕES O/A: PERSPECTIVAS FUTURAS.....	81
8	CONCLUSÕES	83
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

Os óleos e as misturas de óleo e água estão presentes em diversas aplicações, tais como alimentação, combustíveis, lubrificação, tintas, cosméticos, metalurgia, siderurgia e petroquímica. No entanto, em se tratando de impactos ambientais negativos, o descarte inadequado dos óleos nos corpos hídricos constitui um grande problema.

Segundo a AESBE (2020), somente no Brasil, o consumo de óleos vegetais é de aproximadamente 3 bilhões de litros ao ano e estima-se que, de cada 4 litros consumidos, 1 seja incorretamente descartado no meio ambiente, totalizando mais de 700 milhões de litros ao ano. Poluição dos corpos hídricos, contaminação e impermeabilização do solo e obstrução das redes coletoras de esgoto são exemplos do impacto ambiental negativo decorrente deste descarte.

Nos corpos d'água, os óleos podem se apresentar sob a forma livre, dispersa, emulsionada ou solubilizada. Quando na forma livre ou dispersa, os óleos podem ser separados da água através de processos convencionais de separação (gravitacionais). Por outro lado, estando emulsionados ou solubilizados, formam gotículas estáveis de diâmetro inferior a 50 μm , tornando esses processos convencionais ineficientes. Essa estabilização acontece, normalmente, através da ação de tensoativos, como os detergentes, devido à sua natureza anfifílica (ALMEIDA, 2020; SILVA, 2019).

Embora sejam encontrados na literatura diversos trabalhos relacionados à formação e estabilização de emulsões óleo em água (O/A), a produção científica sobre emulsões formadas a partir de óleos vegetais de cozinha, as quais possuem enfoque neste trabalho, ainda é escassa. Nesse sentido, o estudo da formação, estabilização e desestabilização de emulsões é fundamental para que novos métodos de separação de óleos vegetais emulsionados em água sejam propostos e aplicados.

Através de uma revisão da literatura, este trabalho tem como objetivo reunir, classificar e analisar os fundamentos teóricos sobre óleos vegetais e óleos emulsionados em água, sua formação, estabilidade, aplicações e perspectivas futuras sobre o tema. Especificamente, as emulsões formadas por óleos vegetais de cozinha em água serão abordadas com maior profundidade, visto que tais óleos são amplamente utilizados e descartados de maneira inadequada diariamente, tanto em ambientes domésticos, quanto em industriais. Em adição, pretende-se realizar uma análise bibliométrica da produção científica acerca do tema proposto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão da literatura acerca da formação, estabilização e desestabilização de emulsões formadas por óleos vegetais em água.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar dados sobre o consumo e impacto ambiental de óleos vegetais;
- Descrever e classificar os tipos de emulsões existentes;
- Reunir trabalhos científicos sobre a formação, estabilização e desestabilização de emulsões de óleos vegetais em água (O/A);
- Realizar uma análise bibliométrica sobre emulsões de óleos vegetais nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus* e através do *software VOSviewer*;
- Apresentar as aplicações atuais de emulsões O/A e perspectivas futuras.

3 ÓLEOS

3.1 Lipídios

Atualmente, na literatura científica não há uma definição precisa dos lipídios. No entanto, existem propriedades e características físico-químicas comuns a todos eles, como, por exemplo, a sua alta solubilidade em solventes orgânicos e a pouca solubilidade em água, com algumas exceções. Os lipídios são biomoléculas que desempenham funções importantes nos organismos, sendo encontrados majoritariamente nos tecidos, membranas celulares e células de gordura (JORGE, 2009).

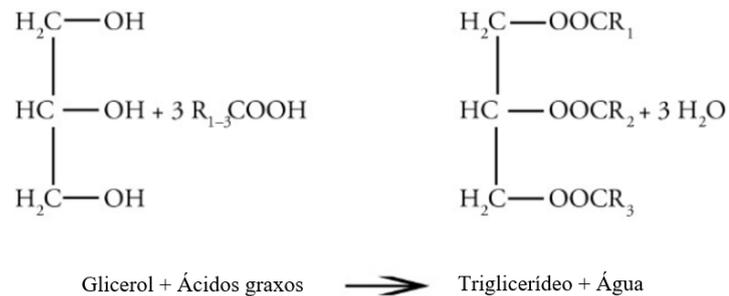
Uma definição ampla, notadamente empregada, proposta por Christie (1987), afirma que os lipídios são ácidos graxos e seus respectivos derivados, além de outras substâncias relacionadas a esses compostos. São incluídos também nesta categoria os triacilgliceróis, monoacilgliceróis, diacilgliceróis, fosfolipídios, cerebrosídeos, esteróis e terpenos. Os lipídios podem ser classificados de diversas formas, uma vez que existem inúmeras substâncias químicas englobadas neste grande grupo (LARRSON *et al.*, 2012).

À temperatura ambiente (20 °C), quando líquidos, os lipídios são denominados de óleos e quando sólidos, de gorduras, devido às diferentes proporções de grupos acila saturados e insaturados presentes nos triacilgliceróis. Tratando-se de polpas de frutos como, por exemplo, oliva e dendê, os lipídios podem ser chamados de azeites. Além disso, algumas gorduras vegetais recebem o nome de manteiga (cacau, *karité* etc.) (JORGE, 2009).

3.2 Composição

A composição dos óleos é uma mistura de 96 a 98% de triacilgliceróis, comumente conhecidos como triglicerídeos, com o restante sendo formado por outros componentes minoritários, como os fosfolipídios, ácidos graxos livres, mono e diglicerídeos, tocoferóis, tocotrienóis, esteróis, cerídeos, compostos voláteis e não voláteis, compostos de cor (caroteno, clorofila) etc. (GUPTA, 2017). Os triglicerídeos são formados a partir de glicerol e por três ácidos graxos, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Reação de formação de um triglicerídeo.



Fonte: Adaptado de Gupta (2017).

Os ácidos graxos, representando unidades básicas dos triglicerídeos, podem ser saturados ou insaturados. Os ácidos graxos saturados, formados por ligações C–C simples, apresentam estabilidade superior e não oxidam na presença de oxigênio ou ar, mas se decompõem sob altas temperaturas. Por outro lado, os ácidos graxos insaturados, ou seja, aqueles que apresentam uma ou mais ligações C–C duplas, estão mais suscetíveis à oxidação quando expostos ao ar ou ao oxigênio e, conseqüentemente, possuem menor estabilidade (GUPTA, 2017).

3.3 Descarte

Devido à urbanização e ao desenvolvimento industrial, o descarte de efluentes oleosos no meio ambiente vem aumentando significativamente. Os óleos encontrados em águas contaminadas podem ser lubrificantes, fluidos de corte, hidrocarbonetos pesados (alcatrão, graxa, petróleo bruto e diesel), hidrocarbonetos leves (querosene, querosene de aviação e gasolina) e óleos vegetais. As principais fontes industriais de águas residuais oleosas incluem refinarias de petróleo, fabricação e usinagem de metais e processamento de alimentos etc.

Ao contrário do óleo livre ou flutuante derramado no mar, por exemplo, as emulsões óleo em água estão entre os contaminantes básicos da maioria dos efluentes industriais. A presença de óleos emulsionados em águas residuais é um problema real, pois podem causar, por exemplo, incrustação excessiva em equipamentos criando problemas durante o tratamento desses efluentes.

Atualmente, as melhores tecnologias disponíveis para remoção de óleo emulsionado em água incluem tratamentos químicos (coagulantes), separação por gravidade, coalescedores de placas paralelas, flotação por gás, separação por hidrociclones, filtração em meio granular e filtros cartucho. Em adição, os óleos emulsionados podem ser removidos eficientemente da água por adsorção (SRINIVASAN *et al.*, 2010).

3.4 Óleos vegetais

3.4.1 Aplicações e tipos

Os óleos vegetais, extraídos de oleaginosas, sementes e frutas, vêm sendo aplicados nas mais diversas atividades humanas. Desde a antiguidade, fontes de energia para os seres humanos eram frequentemente encontradas através do consumo de oleaginosas, bem como de gorduras animais. Outras aplicações destes óleos eram encontradas em iluminação, como medicamentos, na arte e em ritos religiosos. Cultivos de oliveiras, gergelim, girassol e algodão são reportados pela História como atividades socioeconômicas relevantes nas mais diversas civilizações do mundo.

Atualmente, uma aplicação importante é o biodiesel, um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Por meio deste processo, os triglicerídeos presentes nos óleos vegetais reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando dois produtos: o éster e a glicerina (ANP, 2021).

São encontrados diversos tipos de óleos vegetais para uma variedade de aplicações. Para fins culinários, destacam-se os óleos de soja, girassol, amendoim, colza (canola), algodão, palma (azeite de dendê), gergelim, milho, coco, azeite de oliva etc.

Exemplos em outras aplicações incluem os óleos de abacate, uva, amêndoas, arroz, buriti, chia, castanha-do-pará, macadâmia, rosa mosqueta, andiroba; além dos óleos essenciais – concentrados em aromáticos voláteis – como eucalipto, lavanda, canela, tomilho, camomila, alecrim, hortelã etc.

3.4.2 Composição

Apesar da composição variável entre os tipos de óleos vegetais, os ácidos graxos insaturados constituem a maior parte da composição destes óleos. Os ômega 3, 6 e 9, em particular, desempenham funções essenciais para a saúde humana, tais como o equilíbrio dos níveis de colesterol, a preservação da saúde cerebral ocular e do sistema nervoso em geral e a prevenção do câncer. Na Tabela 1, são apresentados alguns exemplos de ácidos graxos comumente encontrados em óleos vegetais.

Tabela 1 - Exemplos de ácidos graxos presentes em óleos vegetais.

Saturados	Insaturados
Ácido láurico (C ₁₂)	Ácido oleico (C _{18:1}) (ômega 9)
Ácido palmítico (C ₁₆)	Ácido linoleico (C _{18:2}) (ômega 6)
Ácido esteárico (C ₁₈)	Ácido linolênico (C _{18:3}) (ômega 3)
Ácido eicosanoico (C ₂₀)	-
Ácido beênico (C ₂₂)	-

Fonte: Gupta (2017).

A Tabela 2 quantifica a composição de ácidos graxos saturados e insaturados de vários tipos de óleos vegetais. Os óleos de canola, amendoim e gergelim apresentam os maiores valores de ácido oleico (ômega 9), contendo até 70, 60 e 60%, respectivamente. Em relação ao teor de ácido linoleico (ômega 6), destacam-se os óleos de girassol, milho, soja, gergelim e algodão, com valores de até 70, 62, 60, 60 e 58%, respectivamente. Os óleos de linhaça, soja e canola contêm ácido linolênico (ômega 3) em maiores quantidades, com percentuais de até 54, 13 e 13%, respectivamente.

Tabela 2 - Composições em massa de alguns tipos de óleos vegetais.

(Continua)

Óleo	Ácidos graxos insaturados (%)			Ácidos graxos saturados (%)			
	Oleico	Linoleico	Linolênico	Láurico	Mirístico	Palmítico	Esteárico
Soja	-	35-60	2-13	-	-	-	-
Palmiste	15	3	-	48	16	8	-
Palma	38-41	9,1-11	0,4	-	0,9-1,5	41,8-46,8	4,2-5,1
Canola	53-70	15-30	5-13	-	-	2,5-6,5	0,8-3,0

Óleo	Ácidos graxos insaturados (%)			Ácidos graxos saturados (%)			
	Oleico	Linoleico	Linolênico	Láurico	Mirístico	Palmítico	Estearico
Girassol	-	70	-	-	-	-	-
Milho	24-42	34-62	<2	-	-	9-14	0,5-4,0
Amendoim	50-60	18-30	-	-	-	6-12	-
Algodão	15-20	49-58	-	-	-	22-26	-
Oliva	55-83	21	1	-	-	20	<1
Gergelim	35-60	35-60	<1	-	-	7-12	3,5-6,0
Linhaça	20	17	54	-	-	5,7-7	3-4

(Continuação)

Fonte: Adaptado de Jorge (2006).

Os maiores teores de ácido palmítico são encontrados nos óleos de palma e algodão, com até 46 e 26%, respectivamente. Os óleos de gergelim e palma apresentam maiores níveis de ácido esteárico, com até 6 e 5,1%, respectivamente. Os ácidos graxos saturados estão associados ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares. Os ácidos palmítico e mirístico elevam os níveis de lipoproteínas de baixa densidade (colesterol LDL) em maiores proporções que o ácido esteárico, por exemplo. O ácido láurico também é reportado como promotor de hipercolesterolemia, isto é, o aumento dos níveis de colesterol no sangue (LIMA *et al.*, 2000).

3.4.3 Obtenção

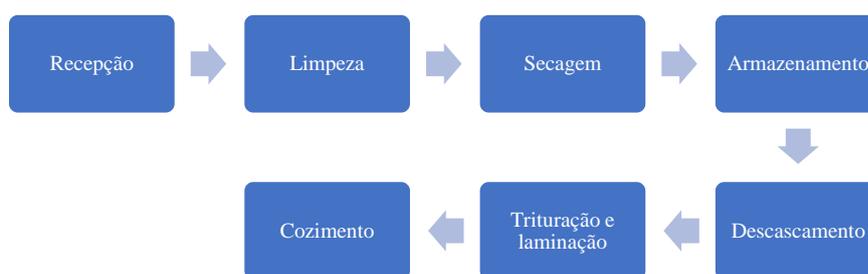
Com o advento da tecnologia, surgiram novas técnicas de extração e refino de óleos, que auxiliaram por exemplo, na obtenção de óleo de soja na década de 1940, trazendo solução para um dos maiores problemas encontrados na época – o da estabilidade de odor e sabor do óleo de soja (DUTTON, 1981). Desde então, a evolução dessas técnicas possibilitou que diversos tipos de óleos passassem a ser empregados na gastronomia e na indústria alimentícia em geral, como em frituras, molhos para salada, realçadores de sabor, na promoção de textura e crocância etc. (GUPTA, 2017).

O processamento de óleos vegetais pode ser resumido em três fases: preparo da matéria-prima, extração do óleo bruto e refinação. Cada uma dessas fases se subdivide em várias etapas, que serão apresentadas e detalhadas a seguir.

3.4.3.1 Preparo da matéria-prima

A fase do preparo da matéria-prima é dividida nas seguintes etapas, apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do preparo da matéria-prima.



Fonte: Adaptado de Jorge (2009).

O sistema de recepção é uma etapa importante e definitiva no processamento de óleos vegetais, uma vez que os grãos apresentam colheitas sazonais. As unidades extratoras enfrentam alguns desafios durante esta etapa, como a disponibilidade de armazenamento, planejamento e organização de operações de logística, bem como a localização geográfica da planta. Após o recebimento, a qualidade dos grãos é inspecionada através da verificação da umidade, acidez, impurezas e outras características físicas, fatores para os quais existem limites de tolerância estabelecidos pelo Ministério da Agricultura.

Em seguida, os grãos partem para a etapa de limpeza, na qual são removidas impurezas como pedras, gravetos, areia, folhas etc. Além da garantia da qualidade do produto final e subprodutos, a limpeza é imprescindível para a manutenção e funcionamento adequado dos equipamentos separadores, como as peneiras vibratórias, por exemplo. Através da limpeza, também se objetiva a extensão do prazo de validade dos grãos que serão armazenados, evitando a deterioração dos mesmos.

A secagem é posteriormente realizada visando reduzir a umidade dos grãos e sementes a níveis adequados para o armazenamento. Esta umidade 'ideal' é denominada umidade crítica e o seu valor varia para cada tipo de grão, para os quais são observados teores de óleo distintos

(JORGE, 2009). Na Tabela 3, são dispostos os valores de umidade crítica para diversos tipos de sementes.

Tabela 3 - Teores de óleo e umidade crítica de oleaginosas.

Grão	Óleo (%)	Umidade crítica (%)
Palma	52	8,0
Amendoim	48	11,0
Girassol	43	8,5
Colza	40	7,0
Soja	20	12,0
Algodão	18	10,0

Fonte: Adaptado de Jorge (2009).

Então, os grãos são armazenados em silos, nos quais se previne a formação e proliferação de microrganismos indesejados, aumento da acidez e troca de umidade com o ar; sendo a umidade o fator determinante para que o armazenamento seja eficiente e os grãos possam ser utilizados durante o maior intervalo de tempo possível após a colheita, fornecendo um produto final de alta qualidade.

As cascas provocam abrasão nos equipamentos extratores, não contêm uma quantidade significativa de óleo e, após a extração, o absorvem. Portanto, a etapa de descascamento é conduzida, a fim de se aumentar o rendimento do processo e o desempenho dos extratores. Este processo pode ser realizado em descascadores ou moinhos, a depender do tipo de oleaginosa. Posteriormente, as cascas são separadas das sementes através de peneiras e ar insuflado. A Tabela 4 apresenta a proporção casca/caroço de alguns grãos. Com exceção da colza, geralmente todas as sementes são descascadas.

Tabela 4 - Proporção casca/caroço de oleaginosas.

(Continua)

Semente	Proporção (%)	
	Casca	Caroço
Palma	75	25
Cacau	12	88
Algodão	38	62
Amendoim	25	75

Semente	Proporção (%)	
	Casca	Caroço
Girassol	47,5	52,5
Soja	7	93
Colza	18	82

(Continuação)

Fonte: Adaptado de Jorge (2009).

Para potencializar o rendimento da extração do óleo dos grãos, a etapa de trituração e laminação é fundamental, pois diminui a distância entre o centro do grão e a sua superfície e, assim, a área de saída do óleo é aumentada. A trituração e laminação são realizadas por meio de rolos de aço inoxidável horizontais ou oblíquos. Os flocos (lâminas ou *flakes*) obtidos possuem espessura na faixa de alguns milímetros e superfície na ordem de centímetros. O tamanho final das partículas não deve ser muito pequeno, pois dificulta a separação após a extração do óleo (EMBRAPA, 2015).

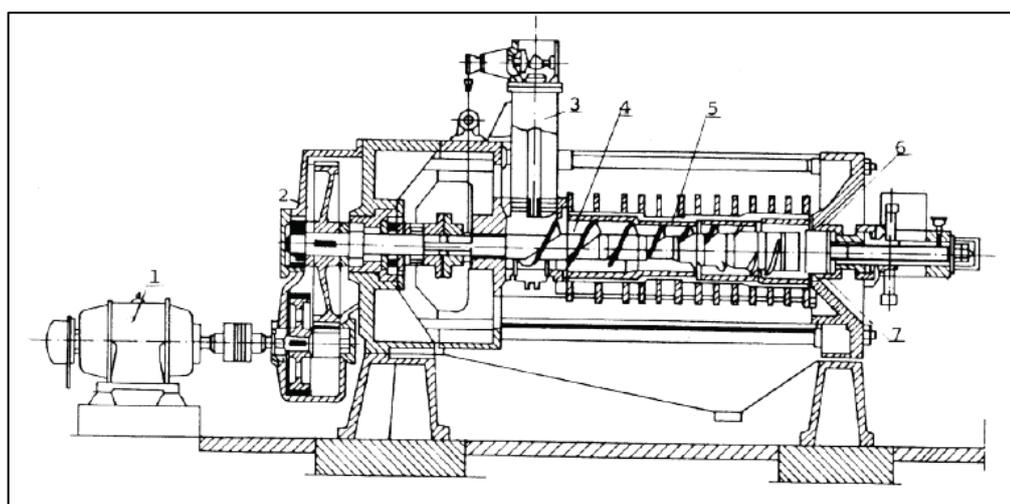
Por fim, nos cozedores se processa a etapa final de preparo da matéria-prima, a ser transferida para a fase de extração. Os cozedores podem ser do tipo vertical ou horizontal e apresentam uma sobreposição de bandejas com um sistema de injeção de vapor, que pode ser direto ou indireto, com temperaturas variando entre 70 e 105 °C. Durante o cozimento, há o rompimento das paredes das células e o aumento da umidade dos flocos (de 11 a 20%), que diminuem a viscosidade e tensão superficial do óleo, facilitando sua subsequente extração (EMBRAPA, 2015; JORGE, 2009).

3.4.3.2 Extração do óleo bruto

Prensagem mecânica e extração por solvente são as técnicas comumente utilizadas para a extração de óleos. Frequentemente, esses dois métodos são associados, iniciando-se pelo processo de prensagem seguido pela extração por solvente. Nos processos atuais, existem exceções, como é o caso da extração do óleo de soja, em que o óleo presente nos flocos é diretamente extraído por um solvente (EMBRAPA, 2015). Usualmente, oleaginosas com teor de óleo superior a 25% passam por uma pré-prensagem, na qual obtém-se tortas contendo de 10 a 15% de óleo, sendo este extraído em sequência por um solvente (JORGE, 2009).

A prensagem mecânica é conduzida em uma prensa contínua (*expeller*). Este equipamento (Figura 3) é formado basicamente por barras retangulares verticais que atuam como filtro da torta obtida, uma rosca helicoidal que movimenta os flocos e os comprime e por um cone na saída com pressão ajustável. A queda de pressão varia de 700 a 1000 kgf/cm² e a capacidade varia de 100 a 460 toneladas/dia (JORGE, 2009).

Figura 3 - Prensa contínua do tipo *expeller*: (1) motor elétrico; (2) redutor; (3) entrada dos grãos; (4) rosca helicoidal; (5) cesto; (6) cone, e (7) saída do farelo ou torta.



Fonte: Embrapa (2015).

A extração por solvente é uma técnica que utiliza um solvente químico para extrair o óleo dos flocos. Um solvente orgânico comumente utilizado é o hexano, pois dissolve facilmente o óleo sem afetar outros componentes dos grãos, apresenta baixo calor latente de ebulição e, por ser imiscível em água, não forma azeótropos. Em contrapartida, possui alta inflamabilidade e alto custo (EMBRAPA, 2015).

Durante este processo, o óleo já extraído pode formar uma camada ao redor dos flocos ou, ainda, manter-se contido na parede das células não desintegradas, sendo removido destas por mecanismos difusivos. Obviamente, a camada de óleo externa pode ser facilmente recuperada por extração por dissolução, ao passo que, na extração por difusão, o processo torna-se mais difícil e lento, uma vez que é dependente da mistura de óleo e solvente no interior da parede celular semipermeável.

A solução óleo + solvente é denominada “miscela” e a velocidade de extração depende do equilíbrio atingido pelo sistema óleo-miscela-solvente. Como fatores promotores do processo de difusão, destacam-se a espessura dos flocos obtidos durante a etapa de laminação, a umidade e temperatura de operação próxima ao ponto de ebulição do solvente (EMBRAPA, 2015).

Após a extração, a miscela passa por destilação, em que as frações óleo e solvente são separadas. Em seguida, o óleo bruto é destinado à fase de refino, o farelo é dessolventizado e o solvente é recuperado através da operação de absorção com óleo mineral (JORGE, 2009).

3.4.3.3 Refinação do óleo bruto

Com exceção dos azeites de oliva e dendê, todos os óleos comestíveis devem passar pela fase de refino, isto é, torná-los aptos para o consumo humano, melhorando aspectos como sabor, odor e aparência. A fase de refino é geralmente dividida nas seguintes etapas, apresentadas na Figura 4.

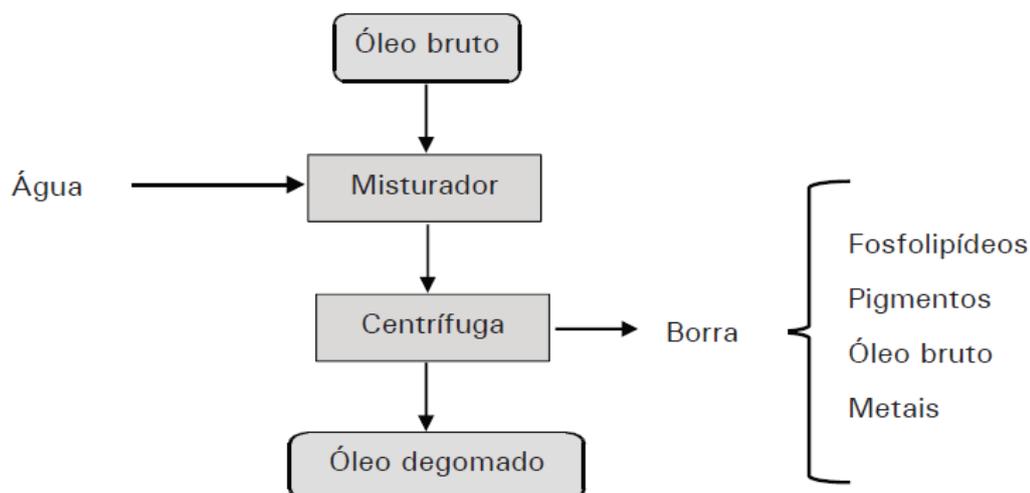
Figura 4 - Etapas da refinação de óleos brutos.



Fonte: Adaptado de Embrapa (2015).

No processo de degomagem são retirados fosfolipídios, açúcares, resinas, substâncias coloidais, traços de metais e proteínas. Além de purificar o óleo de substâncias indesejáveis, fosfolipídios de interesse comercial podem ser obtidos, como a lecitina, por exemplo, no caso do óleo de soja. O método consiste na adição de água ou ácido com o óleo sob agitação e temperatura de 60 a 70 °C (degomagem com água) ou de 80 a 90 °C (degomagem ácida), formando um precipitado que subsequentemente pode ser separado por centrifugação. A Figura 5 ilustra as etapas do processo de degomagem.

Figura 5 - Degomagem do óleo bruto.



Fonte: Embrapa (2015).

A neutralização remove ácidos graxos livres, pigmentos, esteróis e outros compostos através da adição de substâncias alcalinas, como hidróxido de sódio ou carbonato de sódio. Acontece na interface entre o óleo e a solução alcalina, uma vez que estas são insolúveis entre si (EMBRAPA, 2015).

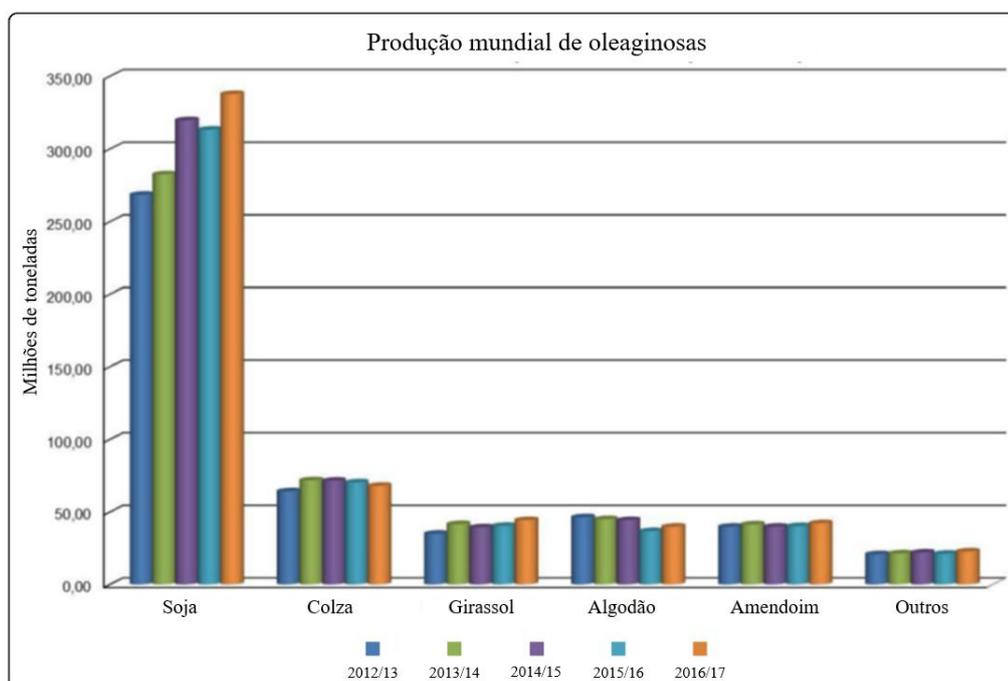
A clarificação (descoloração, descoramento ou branqueamento) tem como objetivo reduzir os corantes naturais encontrados no óleo, como os carotenoides e a clorofila, por exemplo. Neste processo, a estabilidade à oxidação, o odor e o sabor do óleo são melhorados. Consiste, basicamente, na adsorção desses pigmentos utilizando argilas ou carvão ativado. As terras clarificantes podem ser naturais ou ativadas, ou seja, quimicamente preparadas a partir de silicato de alumínio (EMBRAPA, 2015).

A última etapa é a desodorização, na qual são eliminados odores e sabores indesejados através da remoção de aldeídos, cetonas, peróxidos, ácidos graxos oxidados, produtos de decomposição de proteínas, hidrocarbonetos insaturados etc. Os componentes responsáveis pelo sabor e odor são mais voláteis e, portanto, são capazes de serem destilados por arraste a vapor sob pressão reduzida, sendo eliminados do óleo por difusão para o vapor de arraste (JORGE, 2009).

3.4.4 Consumo e produção

Nos últimos 30 anos, a produção de oleaginosas no mundo aumentou 240%, enquanto o aumento na área cultivada e na produtividade foi de 82 e 48%, respectivamente (EL-HAMIDI *et al.*, 2018). Atualmente, os óleos de soja, palma, milho, girassol, canola (colza), amendoim, algodão, coco e o azeite de oliva são os mais utilizados na alimentação humana mundial. A Figura 6 apresenta dados da produção mundial de oleaginosas, levantados pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) em 2017.

Figura 6 - Produção mundial de oleaginosas por colheita de 2012 a 2017.



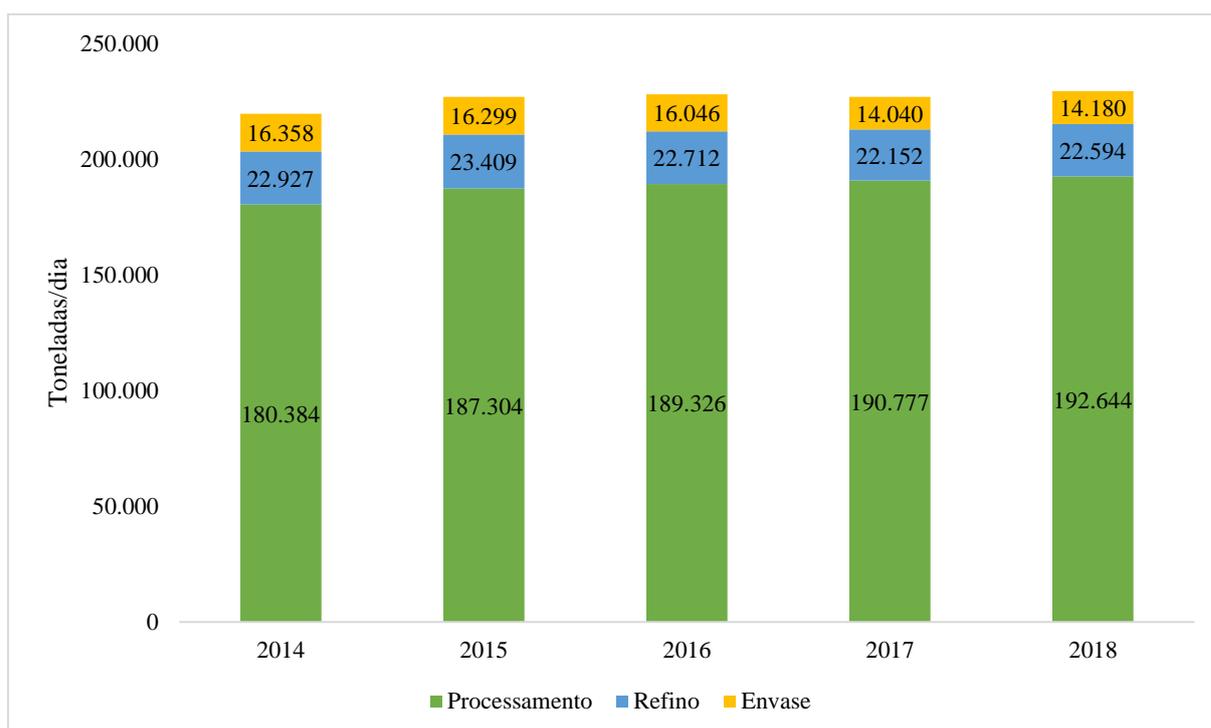
Fonte: Adaptado de El-Hamidi *et al.* (2018).

Em concordância com o gráfico apresentado (Figura 6), a principal oleaginosa produzida no mundo é a soja, representando mais de 50% da produção total. Segundo o mesmo estudo realizado pela USDA em 2017, os Estados Unidos lideravam a produção mundial de soja, representando um total de 32% da produção mundial. O Brasil ocupava o segundo lugar, com 31%.

Entretanto, dados mais recentes apontam que, a partir de 2020, o Brasil se tornou o maior produtor e exportador de soja do mundo (EMBRAPA, 2021). Em 2021, o Brasil obteve uma produção de 135,409 milhões de toneladas, com uma área plantada de 38,502 milhões de hectares e produtividade de 3517 kg/ha (CONAB, 2021). Neste novo cenário, os EUA ocupam o segundo lugar, com 112,549 milhões de toneladas produzidas, área plantada de 33,313 milhões de hectares e produtividade de 3379 kg/ha (USDA, 2021).

Segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), em 2018 foram processadas 192.644, refinadas 22.594 e envasadas 14.180 toneladas de óleos vegetais por dia, respectivamente. A Figura 7 mostra a evolução deste cenário ao longo dos anos de 2014 a 2018.

Figura 7 - Cenário da indústria brasileira de óleos vegetais.



Fonte: Adaptado de ABIOVE (2018).

A Tabela 5 a seguir apresenta o balanço de oferta/demanda para o óleo mais produzido no Brasil, o óleo de soja, em 2021.

Tabela 5 - Balanço de oferta/demanda para o óleo de soja em 2021.

Óleo de soja (toneladas)	
Estoque inicial	415.000
Produção	9.398.000
Consumo interno	8.150.000
Exportação	1.651.000
Importação	107.000
Estoque final	119.000

Fonte: ABIOVE (2022).

Nota-se que a maior parte do óleo de soja produzido no Brasil é destinado ao consumo interno (83%), sendo os 17% restantes para exportação. Em 2021, foi necessária a importação de 107.000 toneladas, fechando o estoque final com 119.000 toneladas extra. A Ásia é o continente que mais importa óleo de soja do Brasil, seguido pela África e Américas, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Exportação de óleo de soja (em toneladas).

Destino	2018	2019	2020	2021	2022
Ásia (exceto China)	994.309	541.778	601.542	818.253	206.761
África	72.595	166.923	73.914	90.351	29.093
Américas	66.922	96.368	183.568	200.277	25.746
Outros Destinos	280.731	236.221	250.690	542.026	9
União Europeia	761	1.043	618	17.097	3
Oceania	7.043	5.587	81	340	3
China	231.026	229.555	217.251	427.280	2
Outros	0	0	0	1	1
Oriente Médio	41.579	30	32.071	93.011	0
Demais da Europa	320	2	2	4.002	0
Nafta	1	4	668	294	0
CEI	0	0	0	0	0
Total Geral	1.422.359	1.047.919	1.110.413	1.650.907	261.615

Fonte: ABIOVE (2022).

3.4.5 Descarte e impacto ambiental

Em 2020, o consumo anual brasileiro de óleos vegetais foi de, aproximadamente, 3 bilhões de litros. Estima-se que, de cada 4 litros consumidos, 1 seja descartado de maneira incorreta, totalizando cerca de 750 milhões de litros lançados no meio ambiente (ABIOVE, 2020). Além disso, segundo a Resolução n° 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, apenas 50 miligramas de óleo de cozinha são suficientes para poluir 1 litro de água (CONAMA, 2011).

Diariamente, óleos vegetais residuais, especialmente os óleos de cozinha, são descartados em ralos de pias, sacolas plásticas, bueiros e vasos sanitários. Em decorrência disto, surgem impactos ambientais negativos como a contaminação e impermeabilização do solo, a poluição de mananciais e lençóis freáticos e o entupimento e obstrução de redes de esgoto.

O descarte de óleo em ralos de pias geralmente envolve, também, água e detergentes. Nestes casos, como será apresentado no próximo capítulo sobre emulsões, há a possibilidade de as gotículas de óleo se emulsionarem na água através da ação estabilizante dos detergentes e, assim, formarem sistemas estáveis que posteriormente deverão ser submetidos a métodos de desestabilização específicos, a fim de que aconteça a separação eficiente de cada um destes componentes.

A impermeabilização do solo piora o problema das enchentes nas cidades, e a contaminação na superfície dos rios impede a entrada de luz e oxigênio, ocasionando o desequilíbrio da fauna e flora nos ecossistemas aquáticos. Por fim, o entupimento das tubulações das redes de esgoto provoca um aumento de até 45% dos custos nas estações de tratamento (FILHO *et al.*, 2014).

Quando descartados incorretamente, os óleos vegetais são considerados efluentes, ou seja, despejos líquidos provenientes de quaisquer atividades humanas ou industriais. Como tal, não devem ser descartados diretamente nos corpos hídricos sem prévio tratamento, conforme o Art. 3° da Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA:

“Art. 3° Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.”

Uma alternativa que possibilita o descarte adequado de óleos residuais consiste em seu armazenamento em garrafas do tipo PET, as quais são direcionadas para pontos estratégicos de coleta. Posteriormente, os óleos residuais são destinados para a geração de diversos produtos de valor agregado, como tintas, vernizes, sabões, detergentes, glicerina, ração animal ou biodiesel, que representa o destino mais nobre destes resíduos. Além de ser um combustível renovável, o biodiesel apresenta menor potencial poluidor e contribui para a redução do aquecimento global.

Ao serem acondicionados em garrafas do tipo PET, os óleos vegetais podem ser classificados como um resíduo sólido, desde que seja considerada a destinação correta para os pontos de coleta. A instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) através da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, descentralizou a responsabilidade da gestão dos resíduos, tornando-a compartilhada entre o poder público, fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores, sendo todos corresponsáveis pelo ciclo de vida de um produto.

Nesse sentido, em 13 de janeiro de 2022, o Governo Federal sancionou o Decreto Presidencial nº 10.936, que regulamenta a Lei nº 12.305 de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e cria, ainda, o Programa Nacional de Logística Reversa. O Decreto objetiva tornar a política mais efetiva, tendo em vista a quantidade de resíduos que ainda são descartados inadequadamente no meio ambiente.

Através do Programa Nacional de Logística Reversa, incentiva-se o reuso, a reciclagem e o tratamento dos resíduos, amplia-se a oferta de produtos ambientalmente amigáveis, gerando emprego e renda e intensifica-se a comunicação aos cidadãos sobre os pontos de entrega voluntária para o descarte adequado de resíduos, assegurando a rastreabilidade por meio de integração ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR). Nesse contexto, no qual os óleos vegetais estão inseridos, surgem oportunidades para que toda a cadeia produtiva fomente a economia circular e as boas práticas ambientais.

4 FUNDAMENTOS DE EMULSÕES

4.1 Emulsões

Uma emulsão é definida como uma dispersão de uma fase líquida interna (descontínua ou dispersa) imiscível em uma fase líquida externa (contínua ou dispersante), sendo caracterizada pela presença de gotículas de tamanhos entre 0,1 e 10 μm (YAMASHITA *et al.*, 2017). As emulsões são formadas temporariamente quando as duas fases são agitadas, porém, através de diversos mecanismos, essas fases se separam novamente e, assim, a emulsão é desfeita.

No entanto, a presença de agentes emulsivos pode estabilizar esses sistemas por longos períodos de tempo, como observado, por exemplo, no leite e na maionese (AOKI, 2011). Emulsões são encontradas nas mais diversas aplicações, como em cosméticos, alimentos, petróleo, lubrificantes, entre outras (JUNIOR *et al.*, 1999).

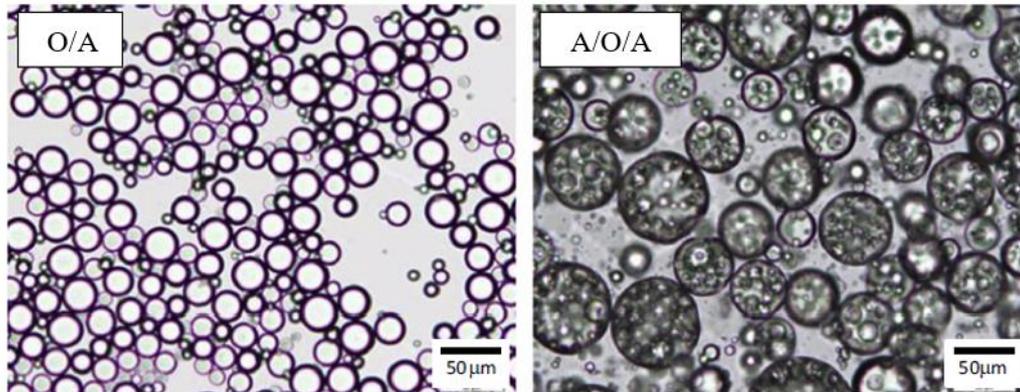
Existem diferentes tipos de emulsões, que podem ser classificadas como (PIACENTINI, 2016):

- óleo em água (O/A), consistindo em gotículas de óleo dispersas na fase aquosa (Figura 8.a);
- água em óleo (A/O), nas quais gotículas de água estão dispersas na fase oleosa;
- óleo em água em óleo (O/A/O), emulsões múltiplas constituídas de gotículas de óleo dispersas em gotículas maiores de água que, por sua vez, encontram-se dispersas em óleo, e;
- água em óleo em água (A/O/A), emulsões múltiplas nas quais gotículas de água estão dispersas em gotículas maiores de óleo dispersas em água (Figura 8.b).

Figura 8 - (a) emulsão óleo em água (O/A); (b) emulsão água em óleo em água.

(a)

(b)



Fonte: Yamashita *et al.* (2017).

A estabilização física de uma emulsão, relacionada ao tempo de separação entre as fases, ocorre através da ação de um agente emulsificante (ou emulsivo). Os agentes emulsificantes, localizados na interface entre as duas fases, estabilizam as emulsões diminuindo a tensão interfacial entre o óleo e a água, mas não suficientemente a ponto de contrariar totalmente a energia livre superficial resultante do aumento da área interfacial (FRANGE *et al.*, 2010). Desta maneira, as emulsões são sistemas termodinamicamente instáveis e, portanto, tendem a se separar mediante perturbações e/ou ação de forças externas (RAVERA *et al.*, 2020).

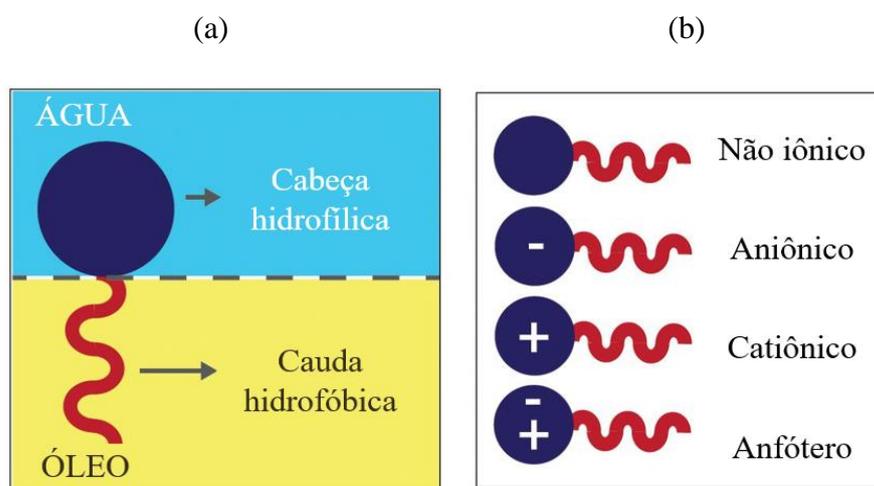
4.2 Agentes emulsificantes

Para diminuir a alta tensão superficial presente na interface água-óleo, as gotículas da fase interna coalescem gradualmente e, conseqüentemente, a separação das fases acontece. Em contrapartida, os agentes emulsificantes criam um filme contínuo que age como uma barreira entre as duas fases, reduzindo a tensão interfacial e, portanto, estabilizando a emulsão (DIKICI *et al.*, 2020).

Um exemplo de agente emulsificante são os surfactantes, também chamados de tensoativos. Esses compostos são denominados anfifílicos, ou seja, apresentam regiões hidrofílicas e hidrofóbicas. A Figura 9(a) apresenta a estrutura básica de um surfactante,

composta por uma parte solúvel em água (hidrofílica), denominada “cabeça”, e por outra parte solúvel em óleo, a “cauda” (hidrofóbica). A depender da carga elétrica da cabeça, os surfactantes podem ser classificados como não iônicos (carga neutra), aniônicos (carga negativa), catiônicos (carga positiva) e anfóteros (cargas negativa e positiva), conforme a Figura 9(b).

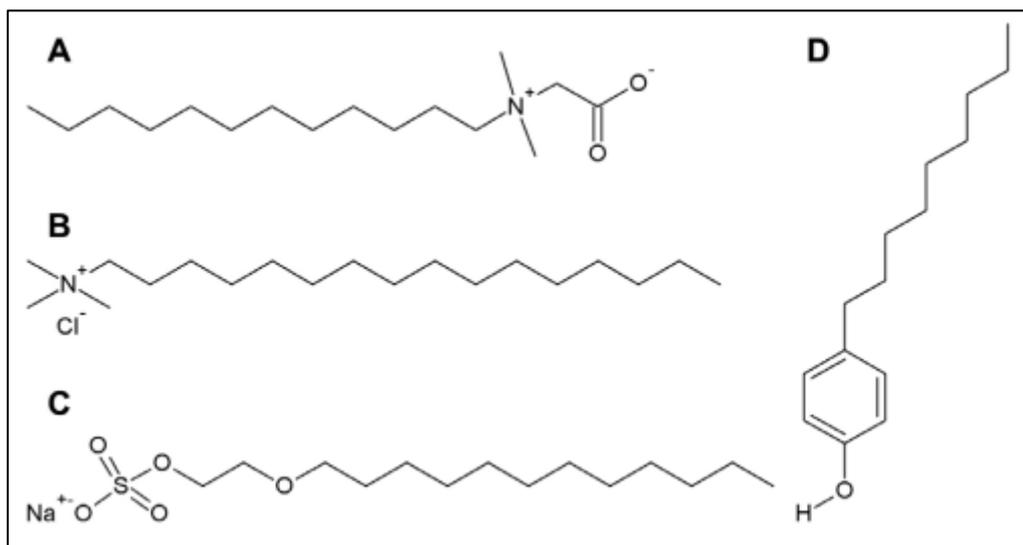
Figura 9 - Estrutura e classificação dos surfactantes.



Fonte: Adaptado de Dikici *et al.* (2020).

A Figura 10 apresenta as fórmulas estruturais dos principais representantes das classes de surfactantes. As betaínas (Figura 10-A) são surfactantes anfóteros, amplamente utilizadas em formulações de shampoos infantis e detergentes para louças. O cloreto de cetil trimetil amônio (Figura 10-B) é um surfactante do tipo catiônico e faz parte dos sais quaternários de amônio, cujos principais produtos são destinados a limpezas industriais, amaciantes e detergentes no geral. O nonilfenol (Figura 10-C) é um surfactante não iônico aplicado em produtos de limpeza industrial e em emolientes e umectantes para cosméticos. Por fim, o lauril éter sulfato de sódio (Figura 10-D) é um surfactante do tipo aniônico, sendo encontrado em sabões em pó, detergentes e shampoos (FELIPE *et al.*, 2016).

Figura 10 - Estrutura química de alguns surfactantes.



Fonte: Felipe *et al.* (2016).

Na presença de surfactantes, a Regra de Bancroft afirma que a fase contínua é aquela na qual o surfactante está predominantemente dissolvido (BANCROFT, 1913). Ou seja, enquanto surfactantes solúveis em óleo tendem a formar emulsões A/O, os surfactantes solúveis em água são adequados para emulsões O/A. Outros exemplos de emulsificantes muito usados são as proteínas (albumina, caseína), gomas (gelatina), argilas e óxidos hidratados (JUNIOR *et al.*, 1999).

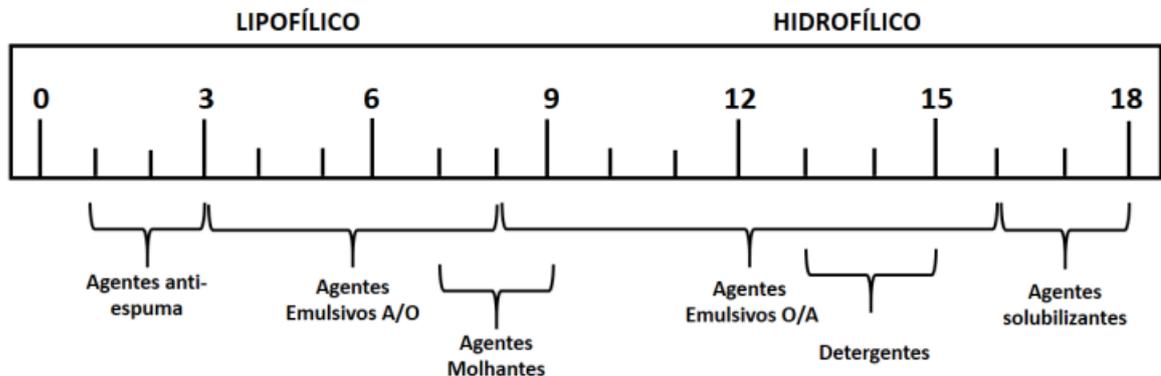
Outros exemplos de emulsificantes comumente utilizados em emulsões formadas por óleos vegetais são os polissorbatos (Tween 20, 60 e 80), o monooleato de sorbitano (Span 80), lecitina, goma xantana e os isolados proteicos de soja (SPI) e de leite (WPI).

4.2.1 Equilíbrio Hidrófilo-Lipófilo (EHL)

Um método para classificação e seleção de agentes emulsificantes durante a formação de emulsões é o Equilíbrio Hidrófilo-Lipófilo (EHL). O EHL de um surfactante pode auxiliar na predição do tipo de emulsão que será formada, “óleo em água” ou “água em óleo”. Surfactantes de alto EHL geralmente proporcionam a formação de emulsões O/A, enquanto os de baixo EHL favorecem a formação de emulsões A/O.

Em 1949, William Griffin propôs que o equilíbrio das forças repulsivas entre os grupos polar (hidrófilo) e apolar (lipófilo) de um surfactante é denominado EHL (em inglês, HLB – *Hydrophilic-Lipophilic Balance*). Então, a escala de Griffin (Figura 11) passou a ser adotada para verificação do EHL de um surfactante, compreendendo um intervalo adimensional de 1 a 18, em que a hidrofiliidade de um surfactante é diretamente proporcional ao valor do EHL, que depende do número e da massa das porções hidrofílicas e lipofílicas da molécula.

Figura 11 - Escala de Griffin.



Fonte: Oliveira (2017).

4.3 Emulsificação

O processo de emulsificação, isto é, dispersar um líquido em outro, requer fornecimento de energia que, em muitos casos, é feito através de um agitador. Esta energia pode ser expressa pela Equação 1.

$$\Delta G = \sigma \Delta A \quad (1)$$

em que ΔG representa a energia livre de superfície (J), σ denota a tensão interfacial (N/m) e ΔA é a área interfacial total (m²). Analisando-se a Equação 1, conclui-se que (SCHROËN *et al.*, 2020):

- O tamanho das gotículas formadas é inversamente proporcional à área interfacial. Ou seja, gotículas com menor tamanho apresentam maior área interfacial, o que resultará

em uma maior energia livre de superfície, visto que ΔG e ΔA são diretamente proporcionais;

- Os emulsificantes atuam na redução da tensão interfacial entre as duas fases e, conseqüentemente, a energia livre de superfície também diminui (ΔG e σ são diretamente proporcionais), favorecendo a estabilidade da emulsão e o processo de emulsificação;
- Geralmente $\Delta G > 0$, caracterizando a formação de emulsões como não espontânea, ou seja, que tendem a se desestabilizar com o decorrer do tempo, através de vários mecanismos, e retornar ao estado inicial, originalmente com as duas fases imiscíveis entre si.

4.3.1 Teorias de emulsificação

Em um artigo de revisão publicado por Kale e colaboradores (2017), os autores reuniram algumas teorias sobre como o processo de emulsificação acontece, são elas: teoria da tensão superficial, teoria da cunha orientada e teoria do filme interfacial, apresentadas a seguir.

De acordo com a teoria da tensão superficial, a ação estabilizante dos emulsificantes se dá por meio da diminuição de alguns fatores, como a tensão interfacial entre os dois líquidos imiscíveis, a atração entre as moléculas do mesmo líquido e a repulsão entre os dois líquidos.

A teoria da cunha orientada pressupõe a formação de camadas monomoleculares do agente emulsificante em torno das gotículas da fase interna de uma emulsão, cuja orientação depende da solubilidade do emulsificante naquele líquido em particular.

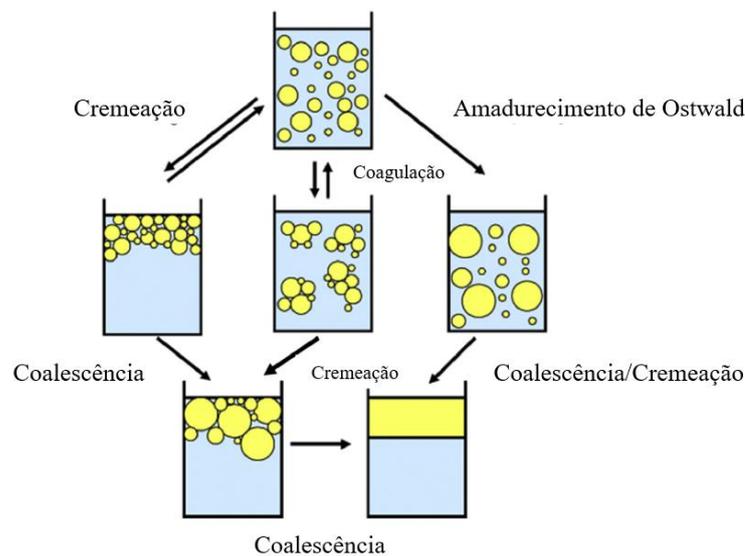
A formação de um filme fino na fronteira entre a água e o óleo é apresentada pela teoria do filme interfacial, que acontece quando o agente emulsificante adsorve na superfície das gotículas da fase interna. Esse filme evita o contato e a subsequente coalescência da fase dispersa e, quanto maior sua resistência e maleabilidade, mais estável fisicamente será a emulsão formada.

4.4 Desestabilização

Conforme mencionado nos tópicos anteriores, as emulsões são sistemas termodinamicamente instáveis e, com o tempo, tendem a retornar ao seu estado inicial. Os mecanismos de desestabilização são influenciados por diversos fatores, como o tamanho das gotículas formadas, regime de escoamento, quantidade e tipo de emulsificante, solubilidade mútua entre as fases, agitação etc. (SCHROËN *et al.*, 2020).

As emulsões podem ser desestabilizadas através dos seguintes mecanismos: cremação (*creaming*), amadurecimento de Ostwald (*Ostwald ripening*), floculação ou coagulação, coalescência e sedimentação ou ascensão. A ruptura de uma emulsão geralmente envolve mais de um ou todos esses fenômenos acontecendo à medida que o tempo passa, sendo alguns mecanismos reversíveis, outros não. Na Figura 12, o processo de desestabilização e consequente ruptura da emulsão é representado.

Figura 12 - Mecanismos de desestabilização de emulsões.



Fonte: Adaptado de Yamashita *et al.* (2017).

A velocidade de desestabilização de uma emulsão depende de diversos fatores, como viscosidade e densidade das fases, tipo e concentração do surfactante. Para prolongar o tempo em que uma emulsão permanece estável, é importante escolher fases cujas densidades sejam

mais próximas o possível. Aspectos como o tipo e a concentração do surfactante também devem ser criteriosamente analisados.

Quando emulsionadas, as gotículas de óleo encontram-se envolvidas por moléculas de surfactante, que as estabilizam. Entretanto, no caso de surfactantes iônicos, por exemplo, quando duas dessas moléculas se aproximam à alta energia, as moléculas de tensoativo podem se deslocar devido à repulsão decorrente das cargas opostas, criando espaços vazios ao redor das gotículas de óleo que, por sua vez, aumentam sua área de contato e podem formar uma gotícula maior. À medida que essas gotículas maiores vão se formando novamente, o sistema pode se separar, irreversivelmente, em duas fases e, assim, a emulsão é desfeita (ALMEIDA, 2020).

4.4.1 Cremeação (*Creaming*)

Neste fenômeno, a fase dispersa flutua na fase contínua sob influência do empuxo. Deste modo, a diferença de densidade entre as duas fases é um fator determinante para que este mecanismo aconteça. A Equação de Stokes (Equação 2) associa variáveis importantes relacionadas à cremeação.

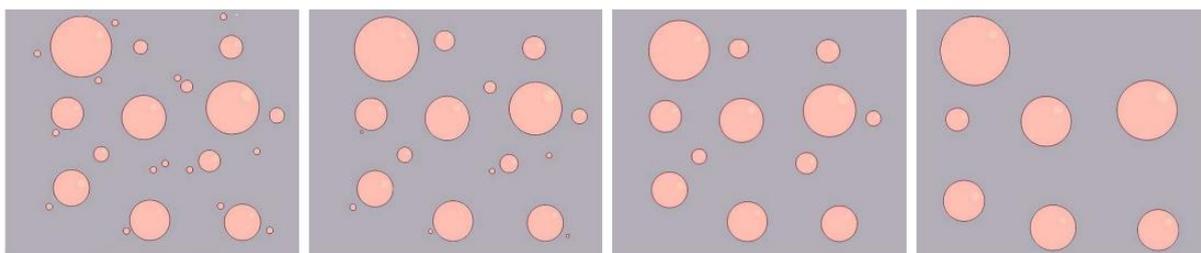
$$v = \frac{2gr^2\Delta\rho}{9\eta} \quad (2)$$

em que v é a velocidade de cremeação, g é a aceleração gravitacional, r é o raio da gotícula, $\Delta\rho$ é a diferença de densidade entre as duas fases e η é a viscosidade dinâmica da fase contínua. Com o aumento da viscosidade, diminuição da diferença de densidade e diminuição do raio da gotícula, o fenômeno de cremeação é desfavorecido (YAMASHITA *et al.*, 2017).

4.4.2 Amadurecimento de Ostwald (*Ostwald Ripening*)

Uma emulsão sob o amadurecimento de Ostwald é caracterizada pelo aumento do tamanho das gotículas e conseqüente diminuição do número total de gotículas, além da redução da área interfacial total de cada gotícula. A difusão dos átomos ou moléculas de gotículas menores para gotículas maiores se deve ao fato de que a solubilidade, que é uma função do raio, em gotículas maiores é maior (YAMASHITA *et al.*, 2017). Esse fenômeno ao longo do tempo é exibido na Figura 13.

Figura 13 - Evolução do amadurecimento de Ostwald ao longo do tempo.



Fonte: ROCHA (2018).

4.4.3 Floculação ou coagulação

Neste mecanismo reversível, as gotas emulsificadas associam-se em flocos sem que haja ruptura das gotas individuais através de interações do tipo Van der Waals. As gotas individuais podem se unir ou deixar o grupo de gotículas em qualquer momento e o número de unidades no grupo pode variar com o tempo (COUTO, 2014).

4.4.4 Coalescência

Trata-se de um processo irreversível, levando ulteriormente à separação de fases. A coalescência consiste na fusão de duas gotículas menores para formar uma gotícula maior. A

força motriz para a coalescência é o afinamento e ruptura do filme líquido entre as gotículas. Os emulsificantes desempenham um papel importante na estabilização da emulsão para evitar a coalescência, fornecendo repulsão eletrostática, repulsão estérica e resistência à camada interfacial das gotículas (PIACENTINI, 2016).

4.4.5 Sedimentação e ascensão

A sedimentação e a ascensão são fenômenos reversíveis e decorrem da diferença de densidade entre as fases. Quando uma das fases migra para a parte superior da emulsão, tem-se o fenômeno de ascensão; a migração para a parte inferior da emulsão é denominada de sedimentação (ALMEIDA, 2020).

5 EMULSÕES DE ÓLEOS VEGETAIS EM ÁGUA

Neste capítulo, foram reunidas as produções científicas relacionadas ao estudo dos mecanismos de formação, estabilização e desestabilização de óleos vegetais em água. Mais especificamente, foram selecionados trabalhos sobre óleos vegetais normalmente encontrados em aplicações culinárias domésticas e/ou industriais, não excluindo os trabalhos cuja aplicação destes óleos (e suas respectivas emulsões) tenha sido para outros segmentos, como a indústria farmacêutica ou de cosméticos, por exemplo.

Maskan e colaboradores (2000) estudaram o efeito da adição de açúcar (sacarose) nas propriedades reológicas de emulsões de óleo de girassol em água produzidas sob diferentes velocidades de rotação. Os autores observaram que a viscosidade das emulsões diminuiu com o aumento da temperatura e, também, à medida que a velocidade de rotação aumentou. Em altas velocidades, há uma quebra contínua da estrutura ou de agregados da emulsão, resultando em uma resistência menor ao escoamento. Para uma concentração fixa de óleo e variando as concentrações de açúcar, os autores concluíram ainda que o açúcar aumentou a estabilidade da emulsão contra o mecanismo de coalescência, indicando o potencial do açúcar como estabilizante. Por fim, uma equação empírica foi desenvolvida para a predição da viscosidade aparente da emulsão, como função da concentração de açúcar, da temperatura e da velocidade do eixo rotacional.

O resultado deste estudo é conhecido como emulsões *Pickering*. Ao invés da utilização de surfactantes, essas emulsões são estabilizadas por meio de micro ou nano partículas sólidas. O princípio desse mecanismo é explicado, em resumo, pela molhabilidade das partículas nas fases água e óleo, as quais se posicionam na interface entre os dois líquidos e são adsorvidas na fase em que conseguem ser mais molhadas (DIKICI *et al.*, 2020).

Pichot e colaboradores (2010) observaram o efeito do tipo e da concentração do agente emulsificante na estabilidade de emulsões O/A (óleo não especificado). Inicialmente, como emulsificantes, foram utilizados, em conjunto, os surfactantes *Tween 60*, lecitina e caseinato de sódio, em proporções diversas. Em seguida, foi verificado o efeito da adição de partículas coloidais de sílica na estabilidade das emulsões obtidas. Os autores observaram que nas emulsões mistas (surfactantes + partículas), as partículas de sílica – inicialmente adsorvidas na interface O/A – foram sendo transferidas para a fase aquosa (contínua) à medida que a concentração dos surfactantes aumentou. Assim, em altas concentrações, a estabilidade das

emulsões com partículas foi praticamente igual às aquelas compostas somente pelos surfactantes, indicando que a concentração de surfactante afeta diretamente no efeito estabilizante das partículas sólidas.

Nikovska (2011) avaliou a estabilidade e propriedades reológicas de emulsões azeite de oliva em água com emulsificantes à base de proteínas de soja (SPI) e de leite (WPI). A viscosidade da emulsão, diretamente relacionada ao mecanismo de cremeação, aumentou com o aumento da fração em volume da fase dispersa e com o aumento da concentração de emulsificante, sendo a influência da fração volumétrica da fase dispersa mais importante. À medida que mais gotículas da fase dispersa estão presentes, a dissipação de energia associada ao escoamento do fluido também aumenta, justificando o aumento de viscosidade observada (NIKOVSKA, 2011). Em decorrência da maior viscosidade, o mecanismo de cremeação foi retardado nas emulsões com maior concentração de azeite. Para menores concentrações da fase dispersa, o fenômeno foi notadamente observado, indicando uma menor estabilidade da emulsão. Em relação ao tipo de emulsificante, as emulsões formadas por SPI apresentaram melhor estabilidade quanto à oxidação que as emulsões com WPI.

Rosani (2011) estudou a formação e estabilidade de emulsões do tipo O/A formadas por óleo de amêndoas (*Prunus dulcis*) e de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*), estabilizadas pelos surfactantes *Tween 80* (não iônico) e *Span 80* (não iônico). Foram obtidas emulsões estáveis com tamanho médio de gotículas de 160 nm para os sistemas preparados com óleo de amêndoas e 270 nm para os sistemas preparados com óleo de castanha. Em relação à desestabilização, o principal mecanismo observado foi o de amadurecimento de *Ostwald*, que evoluiu para coalescência em emulsões com teor de óleo maior que 10% m/m e EHL maior que 10. O resultado obtido indicou a existência de um diâmetro crítico a partir do qual o mecanismo de coalescência começaria a ocorrer.

Sanjeevani e colaboradores (2013) avaliaram a formação e estabilidade de emulsões formadas por diferentes proporções de óleo de coco, água e surfactante *Tween 20* (não iônico), bem como duas condições de agitação do sistema, a baixas e altas tensões de cisalhamento (Métodos 1 e 2, respectivamente). Este estudo teve como foco a formulação de um produto cosmético e seleção da melhor emulsão, com base em critérios específicos definidos para a aplicação em questão. Para esse fim, geralmente se objetiva a obtenção de nanoemulsões, uma vez que gotículas na ordem de nanômetros aumentam a solubilidade e a biodisponibilidade de ativos lipofílicos de interesse, além de aumentarem a área interfacial. Os resultados obtidos foram microemulsões para o Método 1 e nanoemulsões para o Método 2. Devido ao tamanho

menor das gotículas nesses sistemas, elas se tornam estáveis contra os mecanismos de cremeação e sedimentação. No entanto, a desestabilização irreversível pode acontecer através dos mecanismos de coalescência e amadurecimento de *Ostwald*, sendo o último o principal mecanismo desestabilizador de nanoemulsões (SADURN *et al.*, 2005).

Zhang e colaboradores (2016) realizaram um estudo do efeito do pH e do surfactante não iônico *Tween 20* na desestabilização de emulsões óleo de amendoim em água, formadas durante a extração do óleo de amendoim através da técnica de extração aquosa. A extração aquosa ainda é pouco utilizada, sendo frequentemente assistida por enzimas e especialmente aplicada para oleaginosas ou frutos com maiores teores de polpa úmida. Consiste na diluição com água da semente triturada e, no caso do uso de enzimas, estas são adicionadas para romper a parede das células e promover a extração do óleo. Em seguida, uma centrifugação é conduzida para separação dos sólidos. No entanto, devido ao processo de emulsificação que ocorre naturalmente entre a água e o óleo extraído, a aplicação da técnica ainda encontra resistência pela dificuldade da separação do óleo. Os resultados mostraram que o surfactante utilizado apresentou um desempenho satisfatório na desemulsificação, apresentando-se como alternativa às enzimas protease, comumente utilizadas. Uma condição de agitação suave e pH elevado também contribuíram para a desestabilização das emulsões.

Pengon e colaboradores (2018) avaliaram o desempenho de cinco surfactantes (PGO, POS, PHC, PLX e SLS) quanto à estabilidade e tamanho das gotículas formadas de emulsões óleo de coco em água. As emulsões utilizando os surfactantes não iônicos PGO, POS e PHC exibiram baixo índice de cremeação, indicando excelente estabilidade. Por outro lado, as emulsões com os surfactantes PLX (não iônico) e SLS (aniônico) apresentaram uma maior ocorrência do mecanismo de cremeação, sugerindo estabilidade física inferior. Em relação ao tamanho das gotículas, fixando a mesma concentração para os surfactantes PGO, POS e PHC, foram obtidas gotículas de tamanho muito variável. A aplicação do surfactante PHC nesse sistema resultou no menor tamanho de gotículas formadas e, aumentando a concentração de PHC de 1 para 10% (m/m), o tamanho de gotícula diminuiu de 33 μm para 200 nm (99,4%).

Ferreira (2020) desenvolveu géis veiculadores de vitamina D₃ carregados com emulsões de óleo de castanha-do-pará em água, estabilizadas por um isolado proteico de soja (SPI). Para melhorar a estabilidade das emulsões, foi utilizado o estabilizante goma xantana. A emulsão com 1,0% (m/v) de SPI e 0,2% (m/v) de goma xantana se manteve estável fisicamente por 30 dias.

Paswan e colaboradores (2020) desenvolveram um fluido de perfuração à base de uma emulsão formada por óleo de girassol em água. Um dos surfactantes utilizados para estabilização desta emulsão também foi preparado utilizando óleo de girassol (SMES), além de goma xantana e bentonita. A motivação do trabalho surgiu pelo impacto ambiental ocasionado pelos fluidos de perfuração à base de óleo mineral, comumente utilizados. Os autores observaram que, com o aumento da concentração dos surfactantes, houve uma melhoria das propriedades reológicas do fluido desenvolvido. Ademais, a estabilidade da emulsão aumentou em emulsões com maior concentração do surfactante à base de óleo de girassol, bem como foram observadas melhorias na estabilidade térmica do fluido de perfuração.

Lima e colaboradores (2021) desenvolveram um corante a partir de cascas de abóbora empregando uma emulsão óleo de girassol em água seguida de secagem do tipo *spray drying*. A emulsificação seguida de *spray drying* foi um processo que se mostrou adequado para preservar os carotenoides recuperados das cascas de abóbora. As micropartículas produzidas apresentaram superfície homogênea e contínua, sem trincas, além de alta solubilidade em água, possibilitando sua aplicação em produtos aquosos.

A Tabela 7 mostra conclusões gerais obtidas com base na revisão apresentada. É importante esclarecer, no entanto, que as emulsões são sistemas complexos, com muitas variáveis e frequentemente regras gerais não se aplicarão, dada a particularidade de cada sistema. Desta maneira, ao se estudar emulsões em geral ou para uma aplicação em específico, a etapa de análise bibliométrica é imprescindível para que, em momento posterior, os experimentos sejam assertivos e apresentem os resultados esperados.

Tabela 7 - Principais variáveis e conclusões gerais sobre a formação, estabilização e desestabilização de emulsões de óleos vegetais em água.

Viscosidade	Emulsificante	Partículas sólidas	Tamanho da gotícula
Diminui com o aumento da temperatura	O tipo de surfactante afeta o tamanho das gotículas formadas	Podem aumentar a estabilização de emulsões contra o mecanismo de coalescência	O mecanismo de coalescência inicia a partir de um diâmetro crítico
Diminui com o aumento da velocidade de rotação	A concentração de surfactante é inversamente proporcional ao tamanho das gotículas formadas	Efetivas para o aumento de estabilidade somente em baixas concentrações de surfactante	Nanoemulsões apresentam maior área interfacial
Aumenta com o aumento da fração volumétrica da fase dispersa	A combinação de emulsificantes adequados pode aumentar a estabilidade de uma emulsão		Nanoemulsões não sofrem cremeação e sedimentação, mas estão sujeitas à coalescência e ao amadurecimento de Ostwald
Aumenta com o aumento da concentração de emulsificante			
Quanto maior, mais lento o mecanismo de cremeação			

Fonte: Do autor (2022).

6 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A bibliometria é um método quantitativo de análise para pesquisa científica, a qual possibilita a obtenção de informações relevantes sobre um determinado tema de interesse. Atualmente, toda a produção científica fica disponível e registrada em bancos de dados *online*. Estatísticas como volume e tipos de publicações, número de citações, patentes, áreas do conhecimento, instituições de pesquisa e países são exemplos de dados fornecidos por uma análise bibliométrica (SOARES *et al.*, 2016).

Uma revisão bibliométrica trata-se de uma revisão sistemática da literatura com abordagem bibliométrica, sendo desenvolvida a partir do levantamento da produção científica existente nas diversas bases de dados disponíveis. Segundo Pritchard (1969), a bibliometria pode ser definida como uma ferramenta que elucida os processos de comunicação escrita, a natureza e o estado de desenvolvimento de um determinado tema, através da contagem e análise de diversos aspectos, bem como a aplicação de métodos estatísticos e matemáticos.

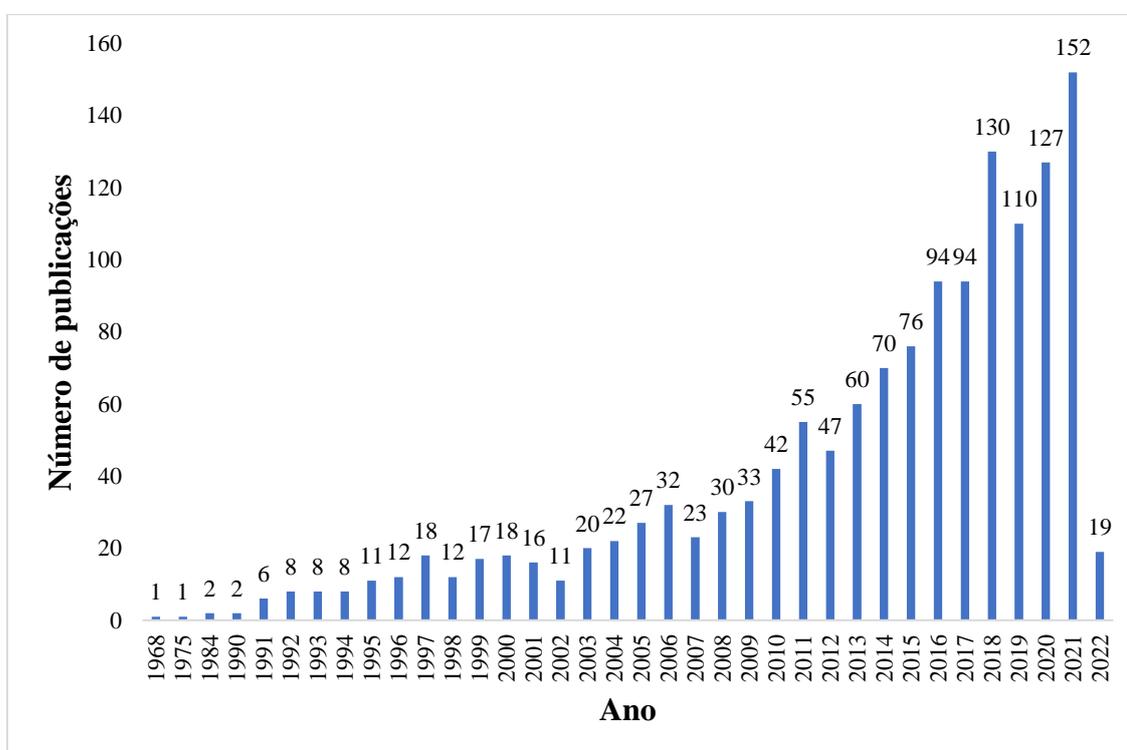
A evolução da produção científica relacionada ao tema foi realizada através de pesquisas nas bases *Web of Science* (WoS) e *Scopus*, representando as bases de dados multidisciplinares por assinatura mais utilizadas e influentes na produção científica mundial. Inicialmente, a análise consistiu na busca por trabalhos sobre emulsões formadas por óleos vegetais em geral. Através do modo de pesquisa avançada, utilizando-se os operadores “AND” e “*”, a busca se restringiu às publicações contendo os termos “*emulsion*”, “*vegetable*”, “*oil*” e suas variações, como “*emulsifying*”, “*vegetables*”, “*oilseed*” etc. Em sequência, especificamente as emulsões de óleos vegetais em água (O/A) foram abordadas. Para obtenção dos dados, a busca tornou-se ainda mais restrita, incluindo as palavras “*oil in water*” e o termo restritivo “*water in oil*”, a fim de excluir da busca os trabalhos acerca de emulsões água em óleo (A/O).

6.1 Emulsões de óleos vegetais

6.1.1 Web of Science

De 1968 a 2022, foram encontradas na base de dados WoS 1.414 publicações e 34.589 citações, conforme exibido na Figura 14, que mostra o número de publicações por ano no período considerado. Em relação aos tipos de documento, 1.367 (97%) são artigos e o restante está dividido em notas e materiais editoriais. A partir da década de 1990, as publicações e citações cresceram progressivamente, atingindo os maiores valores registrados no ano passado, com 152 publicações e 5.492 citações. Estes resultados demonstram a relevância e atualidade do tema.

Figura 14 - Número de publicações por ano.



Fonte: Elaboração própria com base em *Web of Science* (2022).

Em relação à relevância das revistas e periódicos, foram selecionados os dez periódicos com maior número de publicações sobre o tema, bem como seus respectivos Fatores de Impacto (FI) em 2020, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Periódicos com maior número de publicações.

Periódico	FI	Contagem	% de 1.414 publicações
Food Chemistry	7,5	43	3,0
Journal of the American Oil Chemists' Society	1,8	40	2,8
Food Hydrocolloids	9,1	35	2,5
Food Research International	6,5	30	2,1
LWT – Food Science and Technology	5	28	2,0
European Journal of Lipid Science and Technology	2,7	27	1,9
Journal of Dispersion Science and Technology	2,3	27	1,9
Journal of Agricultural and Food Chemistry	5,3	24	1,7
Colloids and Surfaces “A”	4,5	19	1,3
Foods	4,4	18	1,3

Fonte: *Web of Science* (2022).

O Fator de Impacto (FI) (Equação 3) é um índice bibliométrico que fornece o número anual médio de citações de artigos publicados nos últimos dois anos de um determinado periódico ou revista acadêmica.

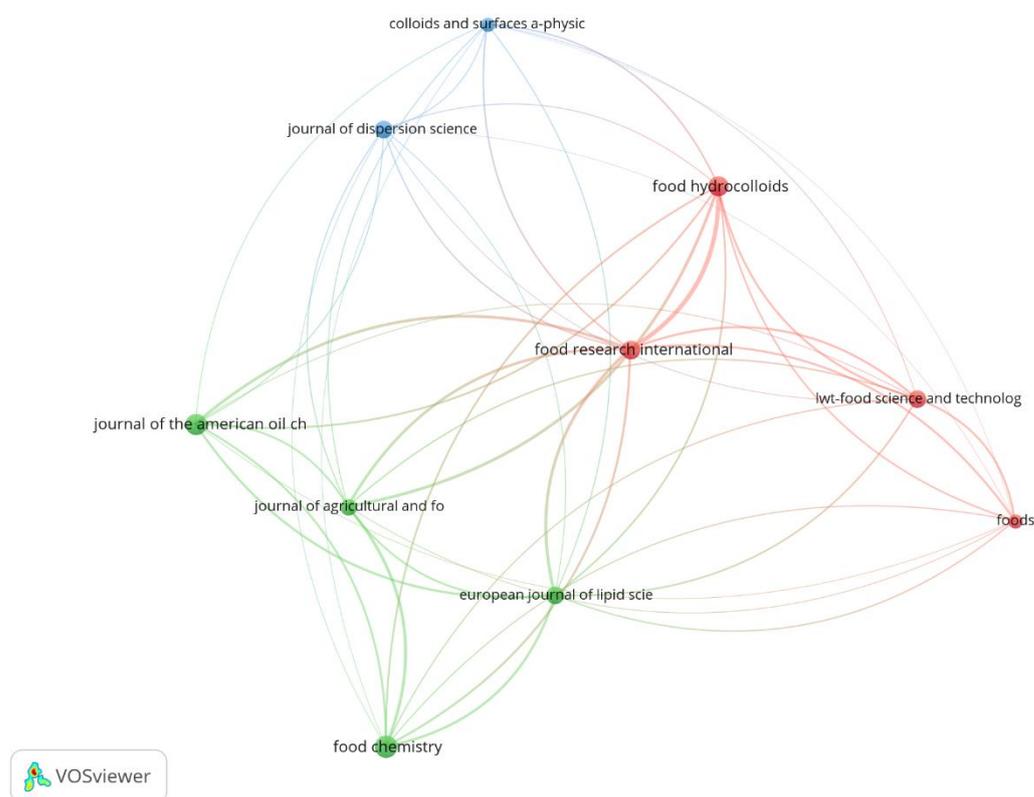
$$FI_{ano} = \frac{Citações_{ano}}{Publicações_{ano-1} + Publicações_{ano-2}} \quad (3)$$

Por exemplo, o periódico *Food Chemistry* possui FI = 7,5; isto é, os artigos publicados por este periódico em 2018 e 2019 receberam, em média, 7,5 citações cada em 2020. Ao Fator de Impacto geralmente se associam a importância e o prestígio de um periódico, ou seja, aqueles com maiores valores recebem o *status* de mais importantes em suas respectivas áreas de pesquisa.

O uso do *software VOSviewer* possibilita a criação de mapas de conexão entre informações bibliométricas através de diferentes tipos de relações, como citações e cocitações, coautorias e acoplamento bibliográfico. A partir de planilhas geradas pelas bases de dados *online*, essas informações são carregadas no programa, que fornece o mapeamento separado por cores. Com a relação estabelecida entre os dez periódicos com maior número de publicações, a comparação entre os Fatores de Impacto destes periódicos se torna possível.

A Figura 15 apresenta o mapeamento obtido pelo *software*, dividido em três seções (*clusters*): azul, verde e vermelho. Cada nó representa um dos dez periódicos e, quanto mais espessa a linha de conexão entre um nó e outro, mais similaridades existem entre eles.

Figura 15 - Interconexão dos dez periódicos selecionados baseada nas categorias da WoS.



Fonte: Elaboração própria com base em *Web of Science* e *VOSviewer* (2022).

No *cluster* azul estão os periódicos que abordam tópicos relacionados à dispersão, fenômenos interfaciais e formação de coloides. Em verde, publicações relacionadas à química

de alimentos e agricultura, óleos e oleaginosas em geral, gorduras e lipídios. Por fim, o *cluster* vermelho inclui os periódicos dedicados à pesquisa e ciência de alimentos. Desta maneira, considerando o mapeamento fornecido pelo *VOSviewer* e os dados apresentados na Tabela 8, destacam-se os periódicos *Colloids and Surfaces "A"* (FI = 4,5), *Food Chemistry* (FI = 7,5) e *Food Hydrocolloids* (FI = 9,1) como os mais importantes dentre os dez selecionados.

Semelhantemente, a fim de verificar o impacto das publicações e a influência dos autores, foram selecionadas as dez publicações com maior número de citações. Os resultados são apresentados na Tabela 9, com o título da publicação, autor(es), periódico, ano de publicação e número de citações, em ordem decrescente.

Tabela 9 - Publicações mais citadas.

(Continua)

Publicação	Autor(es)	Periódico	Ano	Citações
Solubilizing excipients in oral and injectable formulations	STRICKLEY, R. G.	Pharmaceutical Research	2004	988
Advancements in development and characterization of biodiesel: A review	SHARMA <i>et al.</i>	Fuel	2008	742
Prevention of sudden cardiac death by dietary pure omega-3 polyunsaturated fatty acids in dogs	BILLMAN <i>et al.</i>	Circulation	1999	337
Current biodiesel production technologies: A comparative review	ABBASZAADEH <i>et al.</i>	Energy Conversion and Management	2012	312
Functionality of oilseed protein products: A review	MOURE <i>et al.</i>	Food Research International	2006	303
Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality	FRANKEL, E. N.	Food Chemistry	1996	290
Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil: a review of the technology	EOW <i>et al.</i>	Chemical Engineering Journal	2002	267

Publicação	Autor(es)	Periódico	Ano	Citações
Chemical structure, surface properties and biological activities of the biosurfactant produced by <i>Pseudomonas aeruginosa</i> LBI from soapstock	BENINCASA <i>et al.</i>	Antonie van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology	2004	263
Vegetable oils as a potential cutting fluid-An evolution	SHASHIDHARA <i>et al.</i>	Tribology International	2010	259
Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel	XAVIOR <i>et al.</i>	Journal of Materials Processing Technology	2009	259

(Continuação)

Fonte: *Web of Science* (2022).

Observa-se uma variedade de periódicos e de áreas do conhecimento envolvendo as emulsões formadas por óleos vegetais: aplicações farmacêuticas, veterinárias, em combustíveis, materiais e alimentos, atestando a presença e importância das emulsões em diversos fenômenos estudados.

A Tabela 10 apresenta as dez áreas do conhecimento (categorias da *Web of Science*) com maior número de publicações relacionadas ao tema. Os resultados ratificam a multidisciplinaridade e vasta gama de aplicações para as emulsões formadas por óleos vegetais. Destacam-se as aplicações em Tecnologia e Ciência dos Alimentos, Química Aplicada e Engenharia Química, as quais, em conjunto, totalizam aproximadamente 65% das publicações.

Tabela 10 - Publicações por áreas do conhecimento.

(Continua)

Categoria da WoS	Contagem	% de 1.414 publicações
Tecnologia e Ciência de Alimentos	524	37,06
Química Aplicada	224	15,84
Engenharia Química	182	12,87
Nutrição e Dietética	124	8,77
Físico-Química	113	7,99

Categoria da WoS	Contagem	% de 1.414 publicações
Química Multidisciplinar	99	7,00
Combustíveis e Energia	97	6,86
Ciências Ambientais	69	4,88
Microbiologia Aplicada à Biotecnologia	64	4,53
Ciência dos Materiais	60	4,24

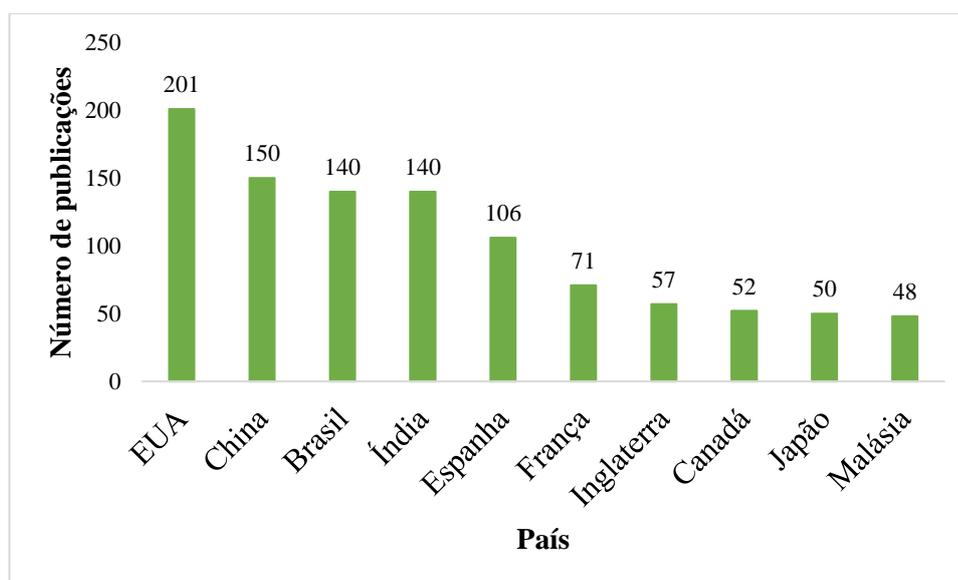
(Continuação)

Fonte: *Web of Science* (2022).

Neste trabalho, o enfoque dado ao impacto ambiental negativo advindo do descarte inadequado de óleos vegetais é corroborado pelos resultados observados em aplicações nas categorias específicas de Ciências Ambientais, Engenharia Ambiental, Sustentabilidade e Recursos Hídricos, representando aproximadamente 4,9; 3,8; 3,7 e 2,0% do total de publicações, respectivamente.

Os dez países que mais publicaram sobre o tema são apresentados na Figura 16. O Brasil ocupa posição de destaque, empatado com a Índia no terceiro lugar, com 140 publicações, abaixo da China e EUA, com 150 e 201 publicações, respectivamente. Entretanto, a diferença entre os países é pequena, o que configura uma possibilidade de o Brasil ocupar o primeiro lugar e, conseqüentemente, trazer maior relevância para o país no cenário mundial.

Figura 16 - Número de publicações por país.



Fonte: Elaboração própria com base em *Web of Science* (2022).

Novamente, entre as dez agências financiadoras com mais publicações sobre o tema (Tabela 11), o Brasil se destaca, sendo o único país com mais de uma agência financiadora da lista, com um total de 70 publicações pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (4,95%), 55 pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (3,89%) e 28 pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (1,98%).

Tabela 11 - Publicações por agências financiadoras.

Agência financiadora	País	Contagem	% de 1.414 publicações
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	Brasil	70	4,95
National Natural Science Foundation of China	China	65	4,60
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Brasil	55	3,89
European Commission	N.A.	34	2,41
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo	Brasil	28	1,98
Spanish Government	Espanha	21	1,49
United States Department of Agriculture	EUA	20	1,41
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia	México	19	1,34
Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas	Argentina	11	0,78
Portuguese Foundation for Science and Technology	Portugal	11	0,78

Fonte: *Web of Science* (2022).

As instituições de ensino e pesquisa com maior número de publicações relativas às emulsões de óleos vegetais são apresentadas na Tabela 12. A Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) ocupam o 1º e 5º lugar, respectivamente. Em relação aos países em destaque, duas instituições são americanas, duas brasileiras e duas indianas.

Tabela 12 - Instituições com maior número de publicações.

Instituição	País	Contagem	% de 1.414 publicações
Centre National de la Recherche Scientifique	França	32	2,26
Universidade de São Paulo	Brasil	32	2,26
Indian Institutes of Technology	Índia	26	1,84
University of Massachusetts	EUA	26	1,84
Consejo Superior de Investigaciones Cientificas	Espanha	22	1,56
United States Department of Agriculture	EUA	20	1,41
Universidade Estadual de Campinas	Brasil	20	1,41
Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas	Argentina	18	1,27
Council of Scientific and Industrial Research	Índia	17	1,20
Institut National de la Recherche Agronomique	França	17	1,2

Fonte: *Web of Science* (2022).

Na Tabela 13, são exibidas as cinco instituições brasileiras de ensino e pesquisa com maior número de publicações.

Tabela 13 - Publicações por instituições brasileiras.

Instituição	Publicações	% Total	% Brasil
Universidade de São Paulo	32	2,3	22,9
Universidade Estadual de Campinas	20	1,4	14,3
Universidade Estadual Paulista	10	0,7	7,1
Universidade Federal da Bahia	9	0,6	6,4
Universidade Federal do Rio de Janeiro	8	0,6	5,7

Fonte: *Web of Science* (2022).

Nesta base de dados, foram encontrados quatro trabalhos publicados por autores e coautores da Universidade Federal de Lavras (UFLA), dos Departamentos de Ciência dos

Alimentos, Medicina Veterinária, Zootecnia e Química. Os resultados são apresentados na Tabela 14.

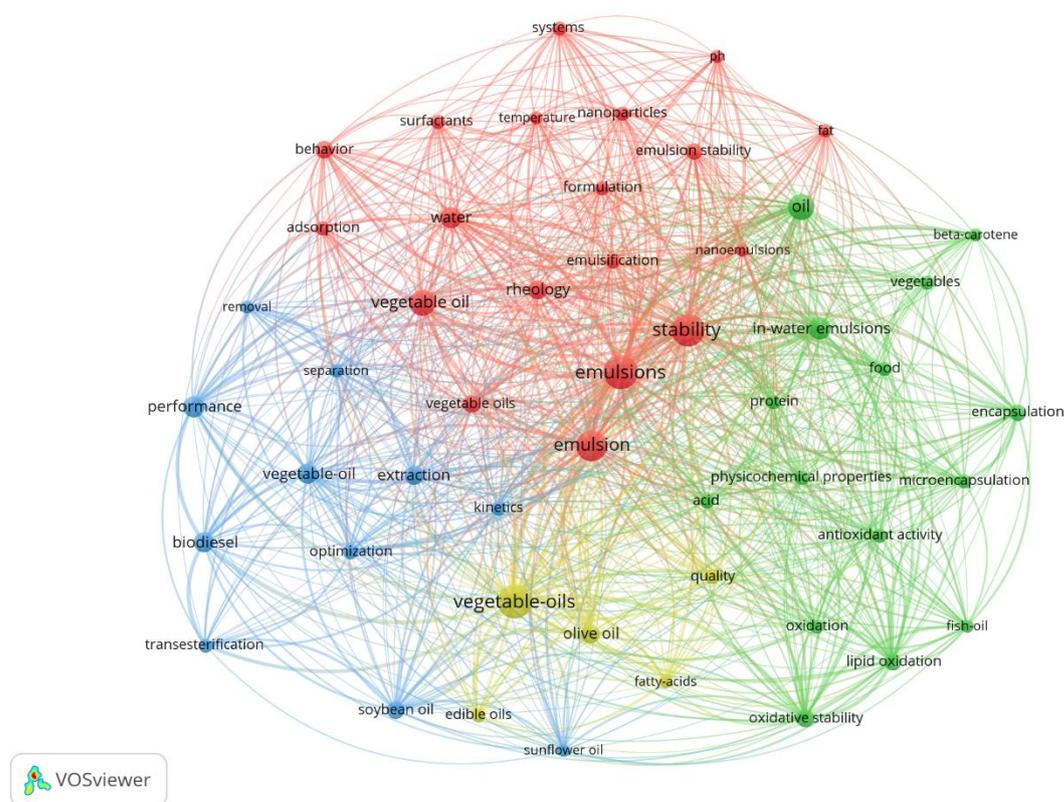
Tabela 14 - Publicações por autores e coautores da UFLA.

Publicação	Autor(es)	Revista	Ano	Citações
Production and characterisation of alginate microparticles incorporating <i>Aeromonas hydrophila</i> designed for fish oral vaccination	HIRSCH, D.; FIGUEIREDO, H. C. P.; LOGATO, P. V. R.	Process Biochemistry	2006	44
Partial substitution of pork fat with canola oil in Toscana sausage	FARIA, P. B.	Innovative Food Science & Emerging Technologies	2017	14
Microparticles obtained by spray-drying technique containing ginger essential oil with the addition of cellulose nanofibrils extracted from the ginger vegetable fiber	SOUZA, H. J. B.; BOTREL, D. A.; BORGES, S. V.; LAGO, A. M. T.	Drying Technology	2021	2
Canola and olive oil gelled emulsions as pork fat replacers in beef burgers	GUIMARÃES, A. S.; RAMOS, A. L. S.; RAMOS, E. M.	British Food Journal	2022	0

Fonte: *Web of Science* (2022).

Por fim, um mapa da coocorrência de palavras-chave foi gerado através do *VOSviewer*. Na Figura 17 são apresentados os quatro *clusters* obtidos, nos quais pode-se verificar quais temas exibem uma maior relação entre si. No *cluster* vermelho, encontram-se os fatores que influenciam aspectos relacionados à formação e estabilidade de emulsões, como tipo de surfactante, propriedades reológicas, temperatura, pH etc. Os *clusters* azul e amarelo associam os aspectos relacionados aos tipos de óleos, processos de extração e separação. O *cluster* verde contém propriedades físico-químicas de óleos, estabilidade à oxidação etc.

Figura 17 - Mapeamento de palavras-chave.

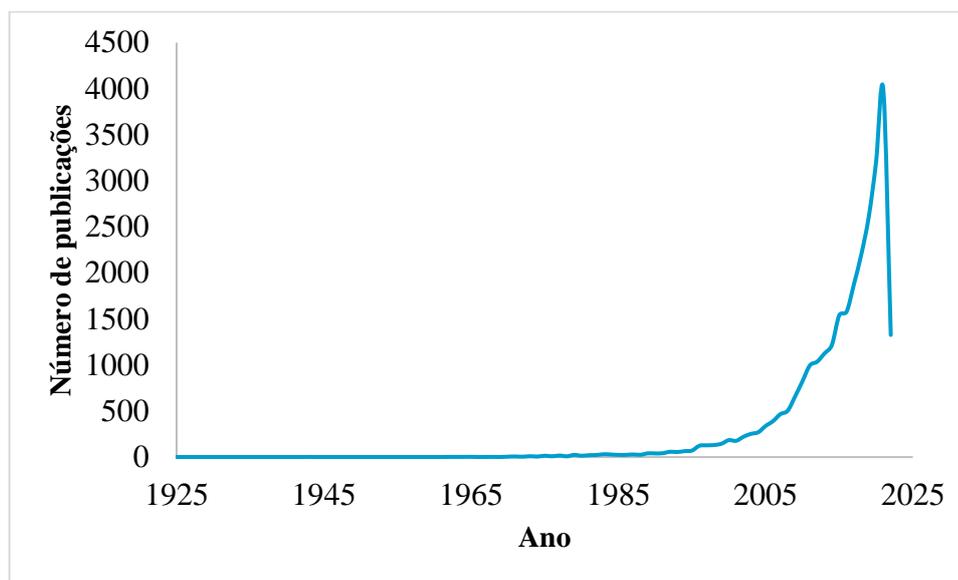


Fonte: Elaboração própria com base em *Web of Science* e *VOSviewer* (2022).

6.1.2 Scopus

Conforme a Figura 18, de 1925 a 2022 foram encontradas na base de dados *Scopus* 28.391 publicações, um valor 1907,85% superior em relação à base *Web of Science* (1.414). Em relação ao tipo de documento, estes são majoritariamente artigos (21.169), revisões (4.074), capítulos de livro (1.761) e anais de congressos (1.005). A partir da década de 1980, as publicações começam a crescer, mais acentuadamente no fim da década de 1990; atingindo os maiores valores registrados no ano passado, com 4.013 publicações. Analogamente aos resultados obtidos pela *Web of Science*, a atualidade do tema nas pesquisas mundiais é atestada também pela base *Scopus*, com tendência esperada de crescimento durante os próximos anos.

Figura 18 - Número de publicações por ano.



Fonte: Adaptado de *Scopus* (2022).

Em relação à relevância das revistas e periódicos, foram selecionados os dez periódicos com maior número de publicações sobre o tema, bem como seus respectivos Fatores de Impacto em 2020, conforme apresentados na Tabela 15. Foram encontrados os mesmos periódicos na pesquisa pela *Web of Science* (Tabela 8), com exceção do *Journal of Food Science*, *Fuel* e *Molecules*.

Tabela 15 - Periódicos com maior número de publicações.

(Continua)

Periódico	FI	Publicações	% de 28.391 publicações
Food Chemistry	7,5	867	3,1
Journal of Agricultural and Food Chemistry	1,8	602	2,1
Food Hydrocolloids	9,1	471	1,7
Food Research International	6,5	442	1,6
Journal of Food Science	3,2	390	1,4
Journal of the American Oil Chemists' Society	2,7	356	1,3
LWT – Food Science and Technology	2,3	318	1,1
Foods	5,3	295	1,0

Periódico	FI	Publicações	% de 28.391 publicações
Fuel	6,6	292	1,0
Molecules	4,4	269	0,9

(Continuação)

Fonte: *Scopus* (2022).

A fim de verificar o impacto das publicações e a influência dos autores, foram selecionadas as dez publicações com maior número de citações. Os resultados são apresentados na Tabela 16, com o título da publicação, autor(es), periódico, ano de publicação e número de citações, em ordem decrescente.

Tabela 16 - Publicações mais citadas.

(Continua)

Publicação	Autor(es)	Revista	Ano	Citações
Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review	BURT, S.	International Journal of Food Microbiology	2004	6736
Synthesis of transportation fuels from biomass: Chemistry, catalysts, and engineering	HUBER <i>et al.</i>	Chemical Reviews	2006	6077
Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals	CANOS <i>et al.</i>	Chemical Reviews	2007	4570
The chemistry behind antioxidant capacity assays	HUANG <i>et al.</i>	Journal of Agricultural and Food Chemistry	2005	4189
Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review	MOHAN <i>et al.</i>	Energy and Fuels	2006	4040
Membrane Technology and Applications	BAKER, R. W.	Membrane Technology and Applications	1996	3299
A standardised static in vitro digestion method suitable for food-an international consensus	MINEKUS <i>et al.</i>	Food and Function	2014	2329
Phenolic Antioxidants	SHAHIDI <i>et al.</i>	Critical Reviews in Food Science and Nutrition	1992	2090

Publicação	Autor(es)	Revista	Ano	Citações
Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: A review	SIRÓ <i>et al.</i>	Cellulose	2010	2077
Surfactants and Interfacial Phenomena: Fourth Edition	ROSEN <i>et al.</i>	Surfactants and Interfacial Phenomena: Fourth Edition	2012	2053

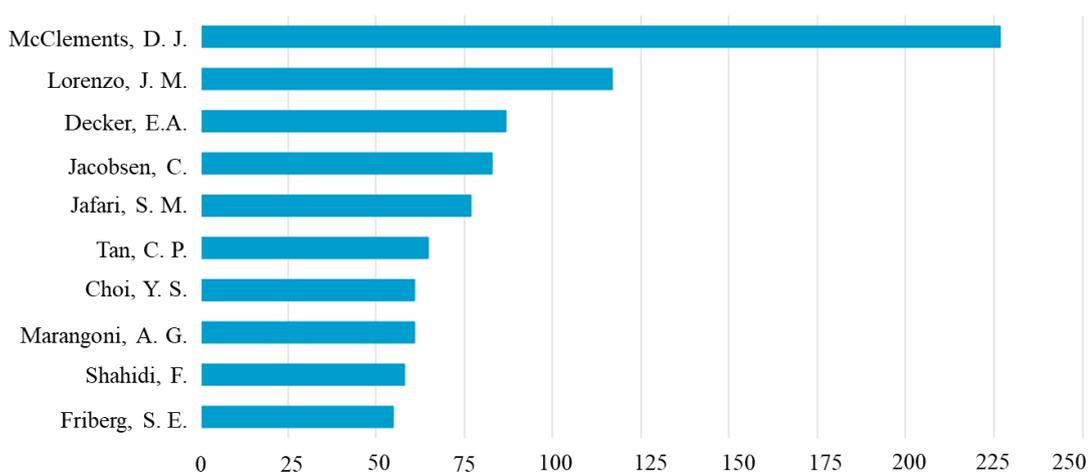
(Continuação)

Fonte: *Scopus* (2022).

Todos os resultados diferem daqueles obtidos pela *Web of Science*, uma vez que foram encontradas muito mais publicações utilizando-se a *Scopus*. Em relação às citações nas duas bases, a décima publicação mais citada na *Scopus*, com 2.053 citações, ainda está muito à frente da primeira publicação mais citada na *Web of Science*, com 988 citações. Portanto, é notório que a base *Scopus* contempla um maior número de informações relativas ao tema proposto, possibilitando uma extração de dados e análise bibliométrica mais assertivas.

A Figura 19 apresenta os autores que mais publicaram sobre emulsões constituídas por óleos vegetais. Destacam-se os autores McClements, Lorenzo e Decker, com 227, 117 e 87 publicações, respectivamente.

Figura 19 - Número de publicações por autor.



Fonte: *Scopus* (2022).

As dez áreas do conhecimento (categorias da *Scopus*) com maior número de publicações relacionadas ao tema estão dispostas na Tabela 17. Categorias não observadas em relação à primeira pesquisa incluem Bioquímica, Genética, Medicina, Física e Astronomia. Destacam-se as aplicações em Agricultura e Ciências Biológicas, Química e Engenharia Química, as quais, em conjunto, totalizam aproximadamente 48% do total das publicações.

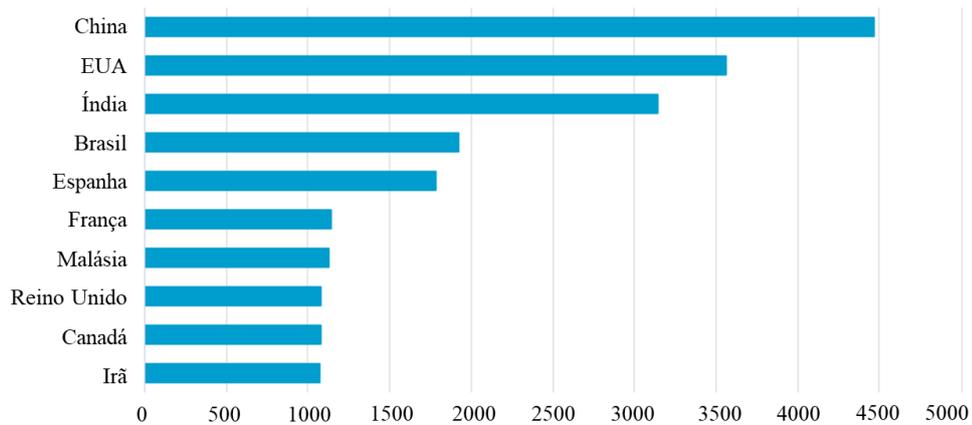
Tabela 17 - Publicações por áreas do conhecimento.

Categoria da Scopus	Contagem	% de 28.391 publicações
Agricultura e Ciências Biológicas	12.131	20,7%
Química	9.538	16,2%
Engenharia Química	6.424	10,9%
Engenharia	5.309	9,0%
Bioquímica, Genética e Biologia Molecular	4.878	8,3%
Ciência dos Materiais	3.749	6,4%
Ciência Ambiental	2.759	4,7%
Energia	2.345	4,0%
Medicina	2.137	3,6%
Física e Astronomia	2.046	3,5%

Fonte: *Scopus* (2022).

Os dez países que mais publicaram sobre o tema são apresentados na Figura 20. Os países em destaque obtidos pela *Web of Science* se mantêm, porém em posições distintas. A China ocupa o 1º lugar (4.501), seguida pelos EUA (3.580), Índia (3.165) e Brasil (1.944). O Irã ocupa o lugar do Japão, anteriormente observado na *Web of Science*.

Figura 20 - Número de publicações por país.



Fonte: Adaptado de *Scopus* (2022).

Entre as dez agências financiadoras com mais publicações sobre o tema (Tabela 18), o Brasil se destaca, com um total de quatro agências, sendo elas: CNPq, CAPES, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e FAPESP, com 832, 757, 335 e 315 publicações, respectivamente.

Tabela 18 - Agências financiadoras com maior número de publicações.

(Continua)

Agência financiadora	País	Contagem	% de 28.391 publicações
National Natural Science Foundation of China	China	1.809	6,4
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	Brasil	832	2,9
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Brasil	757	2,7
National Key Research and Development Program of China	China	397	1,4
European Commission	N.A.	360	1,3
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações	Brasil	335	1,2
Fundamental Research Funds for the Central Universities	China	321	1,1
European Regional Development Fund	N.A.	317	1,1

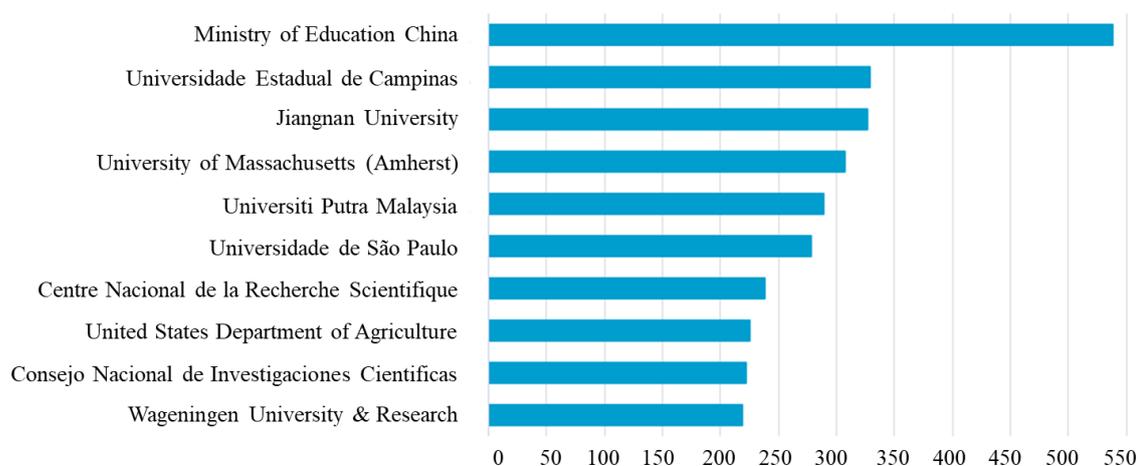
Agência financiadora	País	Contagem	% de 28.391 publicações
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo	Brasil	315	1,1
United States Department of Agriculture	EUA	241	0,8

(Continuação)

Fonte: *Scopus* (2022).

Na Figura 21 são apresentadas as dez instituições de ensino e pesquisa com maior número de publicações acerca de emulsões de óleos vegetais. Os resultados são suficientemente concordantes com aqueles obtidos pela *Web of Science*, com exceção das instituições chinesas. Aqui, as publicações da UNICAMP e USP representam 1,2 e 1,0% do total, respectivamente.

Figura 21 - Número de publicações por instituição de pesquisa e ensino.



Fonte: *Scopus* (2022).

Na Tabela 19, são exibidas as dez instituições brasileiras de pesquisa e ensino com maior número de publicações sobre o tema.

Tabela 19 - Publicações por instituições brasileiras.

Instituição	Contagem	% Total	% Brasil
Universidade Estadual de Campinas	329	1,2	16,9
Universidade de São Paulo	278	1,0	14,3
Universidade Federal do Rio de Janeiro	153	0,5	7,9
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	126	0,4	6,5
Universidade Federal de Santa Catarina	103	0,4	5,3
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	98	0,3	5,0
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	78	0,3	4,0
Universidade Federal de Santa Maria	78	0,3	4,0
Universidade Federal da Bahia	68	0,2	3,5
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	68	0,2	3,5

Fonte: *Scopus* (2022).

Por fim, foram levantados os dez trabalhos mais citados, publicados por autores e coautores da Universidade Federal de Lavras (UFLA), com destaque para o Departamento de Ciência dos Alimentos. Os resultados são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Publicações por autores e coautores da UFLA.

(Continua)

Publicação	Autor(es)	Revista	Ano	Citações
Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying	FERNANDES <i>et al.</i>	Industrial Crops and Products	2016	67
Goat meats: Description, rational use, certification, processing and technological developments	MADRUGA <i>et al.</i>	Small Ruminant Research	2011	48
Production and characterisation of alginate microparticles incorporating <i>Aeromonas hydrophila</i> designed for fish oral vaccination	RODRIGUES <i>et al.</i>	Process Biochemistry	2006	47

Publicação	Autor(es)	Revista	Ano	Citações
Stability of lime essential oil emulsion prepared using biopolymers and ultrasound treatment	CAMPELO <i>et al.</i>	International Journal of Food Properties	2017	38
Stability of lime essential oil microparticles produced with protein-carbohydrate blends	CAMPELO <i>et al.</i>	Food Research International	2018	34
Cellulose microfibrillated suspension of carrots obtained by mechanical defibrillation and their application in edible starch films	GUIMARÃES <i>et al.</i>	Industrial Crops and Products	2016	33
Effect of whey protein isolate films incorporated with montmorillonite and citric acid on the preservation of fresh-cut apples	AZEVEDO <i>et al.</i>	Food Research International	2018	31
Ultrasound-assisted oil-in-water nanoemulsion produced from <i>Pereskia aculeata</i> Miller mucilage	LAGO <i>et al.</i>	Ultrasonics Sonochemistry	2019	27
Phenolic carvacrol as a natural additive to improve the preservative effects of high pressure processing of low-sodium sliced vacuum-packed turkey breast ham	OLIVEIRA <i>et al.</i>	LWT - Food Science and Technology	2015	22
Study of Different Wall Matrix Biopolymers on the Properties of Spray-Dried Pequi Oil and on the Stability of Bioactive Compounds	OLIVEIRA <i>et al.</i>	Food and Bioprocess Technology	2018	21

(Continuação)

Fonte: *Scopus* (2022).

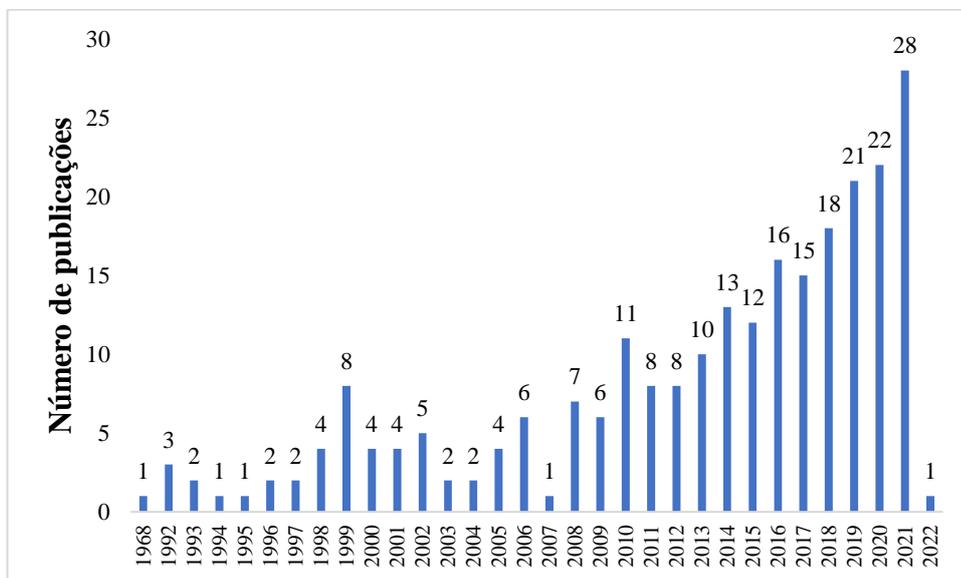
6.2 Emulsões de óleos vegetais em água

6.2.1 Web of Science

De 1968 a 2022, foram encontradas na base de dados WoS 248 publicações e 6.368 citações sobre o tema emulsões de óleos vegetais em água. O número de publicações por ano, dentro do referido período, é exibido na Figura 22. Em relação aos tipos de documento, todos

são artigos científicos. Comparando-se com a pesquisa obtida anteriormente (1.414 publicações), na qual não foram incluídos os termos específicos de emulsões “óleo em água”, houve uma redução de 82,5% nas publicações encontradas sobre o tema na *Web of Science*. Entretanto, apesar dos poucos dados obtidos, observou-se que a tendência para os próximos anos se mantém semelhante à observada para estudos sobre emulsões de óleos vegetais em geral, vide o maior valor obtido no ano de 2021.

Figura 22 - Número de publicações por ano.



Fonte: Elaboração própria com base em *Web of Science* (2022).

Em relação à relevância das revistas e periódicos, foram selecionados os dez periódicos com maior número de publicações sobre o tema, conforme apresentado na Tabela 21. Em relação à pesquisa anterior, nota-se a presença do periódico *Journal of Food Engineering*, ausente na lista dos dez periódicos com mais publicações anterior, bem como a inclusão da revista *Colloids and Surfaces “B”*.

Tabela 21 - Periódicos com maior número de publicações.

Periódico	FI	Contagem	% de 248 publicações
Food Hydrocolloids	9,1	13	5,2
Food Research International	6,5	10	4,0
Food Chemistry	7,5	9	3,6
Journal of Agricultural and Food Chemistry	5,3	8	3,2
Journal of the American Oil Chemists' Society	1,8	8	3,2
European Journal of Lipid Science and Technology	2,7	7	2,8
Journal of Food Engineering	5,4	7	2,8
Colloids and Surfaces "B"	5,2	6	2,4
LWT Food Science and Technology	5	6	2,4
Colloids and Surfaces "A"	4,5	5	2,0

Fonte: *Web of Science* (2022).

De maneira análoga, a fim de verificar o impacto das publicações e a influência dos autores, foram selecionadas as dez publicações com maior número de citações. Os resultados são apresentados na Tabela 22, com o título da publicação, autor(es), periódico, ano de publicação e número de citações, em ordem decrescente.

Tabela 22 - Publicações mais citadas.

(Continua)

Publicação	Autor(es)	Periódico	Ano	Citações
Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality	FRANKEL, E. N.	Food Chemistry	1996	290
Measuring antioxidant effectiveness in food	DECKER <i>et al.</i>	Journal of Agricultural and Food Chemistry	2005	226
Update on vegetable lecithin and phospholipid Technologies	TOMAS <i>et al.</i>	European Journal of Lipid Science and Technology	2008	172

Publicação	Autor(es)	Periódico	Ano	Citações
Evaluation of antioxidant activity of rosemary extracts, carnosol and carnosic acid in bulk vegetable oils and fish oil and their emulsions	FRANKEL <i>et al.</i>	Journal of the Science Food and Agriculture	1996	164
Ultrafiltration of oil-in-water emulsions with ceramic membranes: Influence of pH and crossflow velocity	LOBO <i>et al.</i>	Journal of Membrane Science	2006	148
Oil removal from water using biomaterials	SRINIVASAN <i>et al.</i>	Bioresource Technology	2010	126
Minor Components in Food Oils: A Critical Review of their Roles on Lipid Oxidation Chemistry in Bulk Oils and Emulsions	McCLEMENTS <i>et al.</i>	Critical Reviews in Food Science and Nutrition	2011	124
Comparison of the antioxidant activity of two Spanish onion varieties	SANTAS <i>et al.</i>	Food Chemistry	2008	124
O/W emulsions stabilised by both low molecular weight surfactants and colloidal particles: The effect of surfactant type and concentration	PICHOT <i>et al.</i>	Journal of Colloid and Interface Science	2010	118
Preparation and analysis of oil-in-water emulsions with a narrow droplet size distribution using Shirasuporous-glass (SPG) membranes	SCHUBERT <i>et al.</i>	Desalination	2002	115

(Continuação)

Fonte: *Web of Science* (2022).

O artigo com maior número de citações, intitulado *Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality* de Frankel (1996) também aparece na pesquisa anterior, em sexto lugar, com 290 citações (Tabela 9). Todos os outros artigos listados na Tabela 22 apresentam número de citações inferior a 259, que corresponde ao décimo colocado na Tabela 9 e, portanto, não aparecem na Tabela 22.

A Tabela 23 apresenta as dez áreas do conhecimento (categorias da *Web of Science*) com maior número de publicações relacionadas ao tema. Destacam-se as aplicações em Tecnologia e Ciência de Alimentos, Química Aplicada e Engenharia Química, as quais, em conjunto, totalizam aproximadamente 80% das publicações. Aqui, a categoria de Engenharia Ambiental substitui a de Combustíveis e Energia observada na Tabela 10.

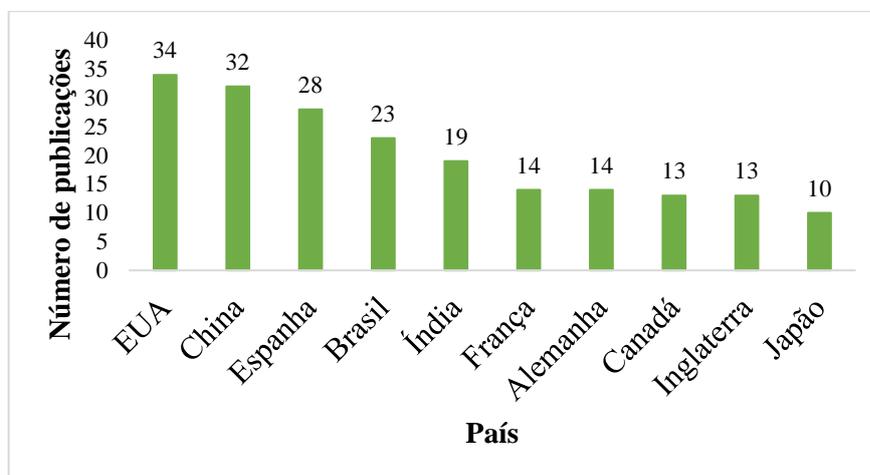
Tabela 23 - Publicações por áreas do conhecimento.

Categoria da WoS	Contagem	% de 248 publicações
Tecnologia e Ciência de Alimentos	113	45,6%
Química Aplicada	54	21,7%
Engenharia Química	31	12,5%
Físico-Química	29	11,6%
Nutrição e Dietética	22	8,8%
Química Multidisciplinar	18	7,3%
Agricultura Multidisciplinar	15	6,0%
Engenharia Ambiental	15	6,0%
Microbiologia Aplicada à Biotecnologia	13	5,2%
Ciências Ambientais	12	4,8%

Fonte: *Web of Science* (2022).

Os dez países que mais publicaram sobre o tema são apresentados na Figura 23. Nota-se que a diferença entre os países é bastante pequena e está em concordância com os países observados na Figura 15. Aqui, surge a Alemanha substituindo a Malásia.

Figura 23 - Número de publicações por país.



Fonte: Elaboração própria com base em *Web of Science* (2022).

Em relação ao financiamento de pesquisas, entre as três agências financiadoras com mais publicações sobre o tema, o Brasil se destaca, com um total de 15 publicações financiadas pelo CNPq (5,6%) e 14 pela CAPES (5,2%), conforme apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 - Publicações por agências financiadoras.

Agência financiadora	País	Contagem	% de 248 publicações
National Natural Science Foundation of China	China	15	6,0%
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	Brasil	14	5,6%
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Brasil	13	5,2%

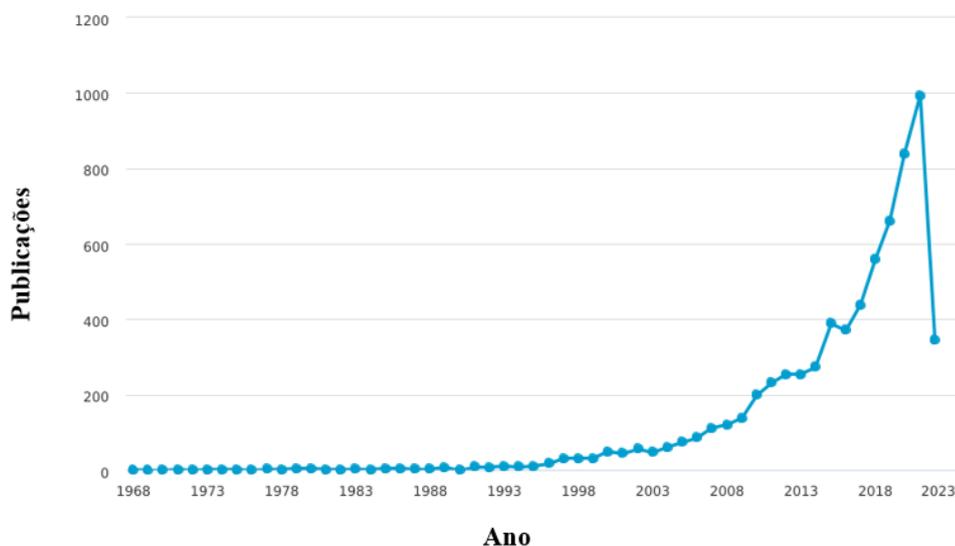
Fonte: *Web of Science* (2022).

Por fim, as instituições com maior número de publicações relativas à emulsões de óleos vegetais em água são a *University of Massachusetts* (4,8%), a Universidade de São Paulo (3,6%) e o *Consejo Superior de Investigaciones Cientificas* (3,2%), com 12, 9 e 8 publicações, respectivamente. Em sequência, a *Universidad de Huelva* (2,8%) e o *Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas* (2,4%) contabilizam 7 e 6 publicações, respectivamente.

6.2.2 Scopus

Conforme mostra a Figura 24, de 1968 a 2022 foram encontradas na base de dados *Scopus*, 6.767 publicações, um valor 2.628,62% superior em relação à base *Web of Science* (248). Quanto aos tipos de documento, são 5.216 artigos, 914 revisões, 418 capítulos de livro, 168 anais de congressos, 40 livros etc. A partir de 1995, as publicações começam a crescer, atingindo os maiores valores registrados no ano passado, com 993 publicações. Assim como os resultados obtidos anteriormente, tanto entre bases, quanto entre pesquisas, as emulsões de óleos vegetais em água continuarão presentes nas pesquisas mundiais, constituindo-se como um tema atual e relevante.

Figura 24 - Número de publicações por ano.



Fonte: Adaptado de *Scopus* (2022).

Em relação à relevância das revistas e periódicos, foram selecionados os dez periódicos com maior número de publicações sobre o tema, e os seus respectivos Fatores de Impacto em 2020. Estes dados encontram-se na Tabela 25. O periódico *Trends in Food Science and Technology* foi o único resultado distinto daqueles obtidos anteriormente.

Tabela 25 - Periódicos com maior número de publicações.

(Continua)

Periódico	Fator de Impacto	Publicações	% de 6.767 publicações
Food Chemistry	7,5	354	5,2
Food Hydrocolloids	9,1	263	3,9
Journal of Agricultural and Food Chemistry	1,8	256	3,8
Food Research International	6,5	171	2,5
Journal of Food Science	3,2	134	2,0
Journal of the American Oil Chemists' Society	2,7	126	1,9
European Journal of Lipid Science and Technology	2,5	119	1,8

Periódico	Fator de Impacto	Publicações	% de 6.767 publicações
LWT – Food Science and Technology	2,3	114	1,7
Trends in Food Science and Technology	11,9	99	1,5
Foods	5,3	95	5,2

(Continuação)

Fonte: *Scopus* (2022).

Para visualizar o impacto das publicações e a influência dos autores, foram selecionadas as dez publicações com maior número de citações. Os resultados são apresentados na Tabela 26, com o título da publicação, autor(es), periódico, ano de publicação e número de citações, em ordem decrescente.

Tabela 26 - Publicações mais citadas.

(Continua)

Publicação	Autor(es)	Revista	Ano	Citações
Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review	BURT, S.	International Journal of Food Microbiology	2004	6736
Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals	CANOS <i>et al.</i>	Chemical Reviews	2007	4570
The chemistry behind antioxidant capacity assays	HUANG <i>et al.</i>	Journal of Agricultural and Food Chemistry	2005	4189
A standardised static in vitro digestion method suitable for food-an international consensus	MINEKUS <i>et al.</i>	Food and Function	2014	2329
Natural antioxidants from residual sources	MOURE <i>et al.</i>	Food Chemistry	2001	1282
Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review	SHAHIDI <i>et al.</i>	Journal of Functional Foods	2015	1281
Screening of plant extracts for antioxidant activity: A	KOLEVA <i>et al.</i>	Phytochemical Analysis	2002	1271

Publicação	Autor(es)	Revista	Ano	Citações
comparative study on three testing methods				
Mechanisms and factors for edible oil oxidation	CHOE <i>et al.</i>	Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety	2006	1116
Self-emulsifying drug delivery systems (SEDDS) for improved oral delivery of lipophilic drugs	GURSOY <i>et al.</i>	Biomedicine and Pharmacotherapy	2004	1048
Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems	McCLEMENTS <i>et al.</i>	Journal of Food Science	2000	1007

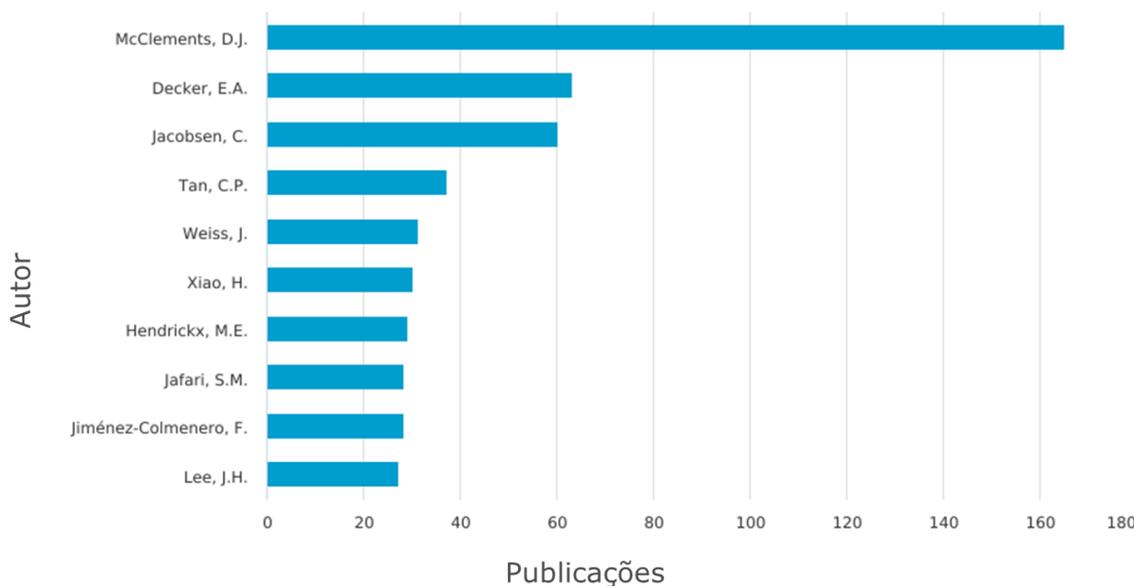
(Continuação)

Fonte: *Scopus* (2022).

Os quatro primeiros artigos também foram encontrados durante a primeira etapa da pesquisa (Tabela 16). Os restantes dispostos na Tabela 26 não surgiram anteriormente pois todos apresentam número de citações inferior a 2.053, que representa o número de citações do livro *Surfactants and Interfacial Phenomena: Fourth Edition*, na décima posição da Tabela 16. Em relação à comparação entre bases, nenhum artigo da Tabela 26 é encontrado nos resultados da *Web of Science*, pois, mais uma vez, existe uma discrepância considerável no número de citações entre uma base e outra.

A Figura 25 apresenta os autores que mais publicaram sobre emulsões constituídas por óleos vegetais em água. Destacam-se os autores McClements, Decker e Jacobsen, com 165, 63 e 60 publicações, respectivamente. Aqui, o autor Jacobsen, anteriormente na quarta posição, passa para a terceira.

Figura 25 - Número de publicações por autor.



Fonte: Adaptado de *Scopus* (2022).

As dez áreas do conhecimento (categorias da *Scopus*) com maior número de publicações relacionadas ao tema estão dispostas na Tabela 27. Categorias não observadas em relação à primeira pesquisa incluem Farmácia, Farmacologia e Toxicologia e Imunologia e Microbiologia. Destacam-se as aplicações em Agricultura e Ciências Biológicas, Química e Engenharia Química, as quais, em conjunto, totalizam aproximadamente 55% das publicações.

Tabela 27 - Publicações por áreas do conhecimento.

(Continua)

Categoria da Scopus	Contagem	% de 6.767 publicações
Agricultura e Ciências Biológicas	3.835	26,5%
Química	2.587	17,9%
Engenharia Química	1.591	11,0%
Bioquímica, Genética e Biologia Molecular	1.274	8,8%
Engenharia	1.253	8,7%
Ciência dos Materiais	748	5,2%
Ciência Ambiental	472	3,3%

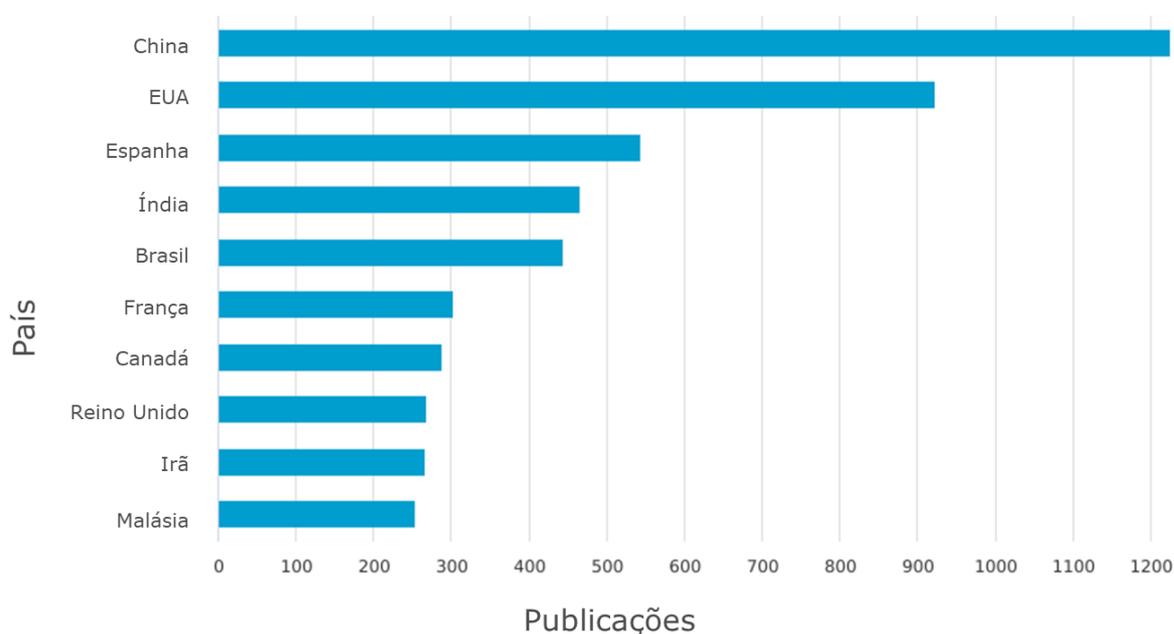
Categoria da Scopus	Contagem	% de 6.767 publicações
Física e Astronomia	448	3,1%
Farmácia, Farmacologia e Toxicologia	438	3,0%
Imunologia e Microbiologia	354	2,4%

(Continuação)

Fonte: *Scopus* (2022).

Os dez países que mais publicaram sobre o tema são apresentados na Figura 26. Aqui, os países em destaque obtidos pela *Scopus* na primeira pesquisa se mantêm, porém em posições distintas. A China ocupa o 1º lugar (1.224), seguida pelos EUA (921), Espanha (542), Índia (465) e Brasil (442).

Figura 26 - Número de publicações por país.

Fonte: Adaptado de *Scopus* (2022).

Dentre as dez agências financiadoras com mais publicações sobre o tema (Tabela 28), o Brasil se destaca novamente, com um total de quatro agências financiadoras: CNPq (2,9%), CAPES (2,7%), FAPESP (1,4%) e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (1,2%), com 193, 185, 94 e 79 publicações, respectivamente.

Tabela 28 - Agências financiadoras com maior número de publicações.

Agência financiadora	País	Contagem	% de 6.767 publicações
National Natural Science Foundation of China	China	536	7,9
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	Brasil	193	2,9
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Brasil	185	2,7
United States Department of Agriculture	EUA	130	1,9
National Key Research and Development Program of China	China	126	1,9
Fundamental Research Funds for the Central Universities	China	109	1,6
European Commission	N.A.	100	1,5
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo	Brasil	94	1,4
National Institute of Food and Agriculture	EUA	81	1,2
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação	Brasil	79	1,2

Fonte: *Scopus* (2022).

Na Tabela 29, são apresentadas as dez instituições com maior número de publicações a respeito de emulsões de óleos vegetais em água. Os resultados são suficientemente concordantes com aqueles obtidos anteriormente (Figura 20), com exceção da universidade dinamarquesa.

Tabela 29 - Número de publicações por instituições.

(Continua)

Instituição	País	Publicações	% de 6.767 publicações
University of Massachusetts	EUA	214	3,2
Ministry of Education China	China	137	2,0
Jiangnan University	China	123	1,8
Universiti Putra Malaysia	Malásia	92	1,4
Universidade Estadual de Campinas	Brasil	92	1,4

Instituição	País	Publicações	% de 6.767 publicações
Universidade de São Paulo	Brasil	89	1,3
South China University of Technology	China	89	1,3
Wageningen University & Research	Holanda	81	1,2
Technical University of Denmark	Dinamarca	77	1,1
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China	China	70	1,0

(Continuação)

Fonte: *Scopus* (2022).

Na Tabela 30, são exibidas as dez instituições brasileiras de pesquisa com maior número de publicações. Destaque para a Universidade Federal de Lavras, com dezessete publicações, representando 3,8% das publicações brasileiras.

Tabela 30 - Publicações por instituições brasileiras.

Instituição	Publicações	% Total	% Brasil
Universidade Estadual de Campinas	92	1,4	20,8
Universidade de São Paulo	89	1,3	20,1
Universidade Federal do Rio de Janeiro	36	0,5	8,1
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	24	0,4	5,4
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	23	0,3	5,2
Universidade Federal de Lavras	17	0,3	3,8
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	17	0,3	3,8
Universidade Federal de Santa Catarina	15	0,2	3,4
Universidade Federal Fluminense	14	0,2	3,2
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	14	0,2	3,2

Fonte: *Scopus* (2022).

Por fim, foram levantados os dez trabalhos mais citados, publicados por autores e coautores da Universidade Federal de Lavras (UFLA), com destaque para o Departamento de Ciência dos Alimentos. Os resultados são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Publicações por autores e coautores da UFLA.

(Continua)

Publicação	Autor(es)	Revista	Ano	Citações
Stability of lime essential oil emulsion prepared using biopolymers and ultrasound treatment	CAMPELO <i>et al.</i>	International Journal of Food Properties	2017	38
Study of Different Wall Matrix Biopolymers on the Properties of Spray-Dried Pequi Oil and on the Stability of Bioactive Compounds	OLIVEIRA <i>et al.</i>	Food and Bioprocess Technology	2018	21
Effect of carrier oil on α -tocopherol encapsulation in ora-pro-nobis (<i>Pereskia aculeata</i> Miller) mucilage-whey protein isolate microparticles	NEVES <i>et al.</i>	Food Hydrocolloids	2020	15
Development of bionanocomposites of pectin and nanoemulsions of carnauba wax and neem oil pectin/carnauba wax/neem oil composites	CASTRO E SILVA <i>et al.</i>	Polymer Composites	2020	15
Extraction processes and characterization of the mucilage obtained from green fruits of <i>Pereskia aculeata</i> Miller	SILVA <i>et al.</i>	Industrial Crops and Products	2019	12
Production of γ -decalactone by yeast strains under different conditions	ANDRADE <i>et al.</i>	Food Technology and Biotechnology	2017	12
Thermoplastic starch/whey protein isolate/rosemary essential oil nanocomposites obtained by extrusion process: Antioxidant polymers	AZEVEDO <i>et al.</i>	Journal of Applied Polymer Science	2019	11
Thermal conductivity as influenced by the temperature and apparent viscosity of dairy products	GONÇALVES <i>et al.</i>	Journal of Dairy Science	2017	9

Publicação	Autor(es)	Revista	Ano	Citações
Encapsulation of camu-camu extracts using prebiotic biopolymers: Controlled release of bioactive compounds and effect on their physicochemical and thermal properties	ABREU <i>et al.</i>	Food Research International	2020	6
Protein recovery from Barbados gooseberry (<i>pereskia aculeata miller</i>) leaves by salting out and isoelectric precipitation	MORAIS <i>et al.</i>	Revista Mexicana de Ingeniera Quimica	2019	4

(Continuação)

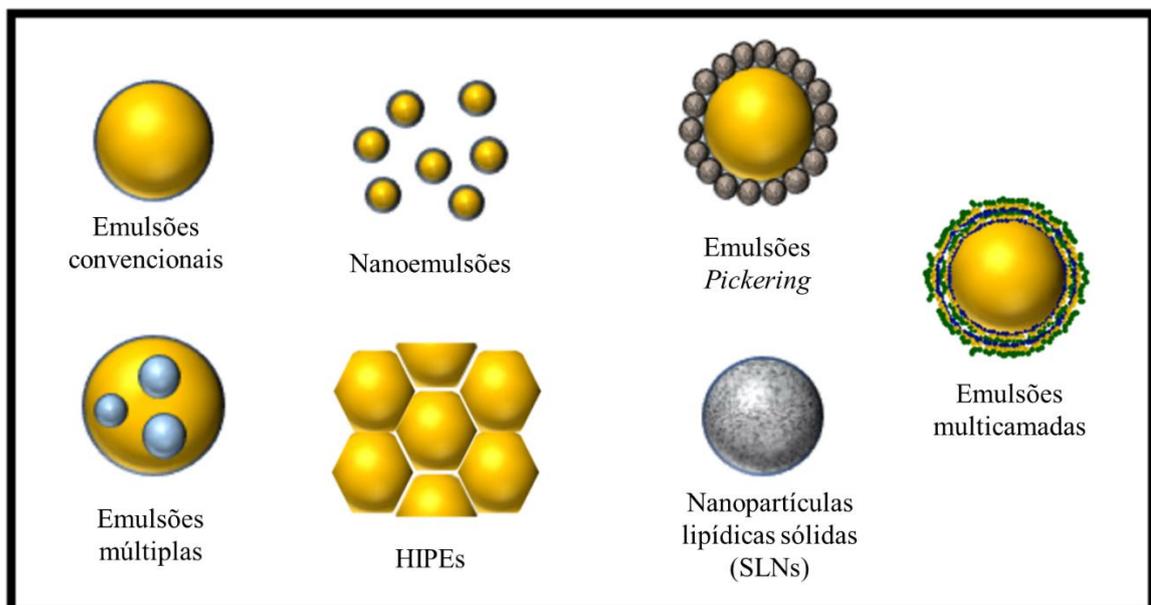
Fonte: *Scopus* (2022).

Somente o primeiro e segundo artigos da Tabela 31 são encontrados também na pesquisa anterior, devido ao número de citações.

7 EMULSÕES O/A: PERSPECTIVAS FUTURAS

Em um artigo de revisão publicado em 2021, Tan e McClements apontam as tendências futuras e técnicas avançadas de preparo de emulsões óleo em água aplicadas à indústria de alimentos. Mais especificamente, são citadas as tecnologias de nanoemulsões, *high internal phase emulsions* (HIPEs), emulsões *Pickering*, emulsões multicamadas, nanopartículas lipídicas sólidas (SLNs), emulsões múltiplas e emulgéis. A Figura 27 apresenta as estruturas dessas emulsões avançadas.

Figura 27 - Exemplos de diferentes tipos de sistemas avançados de emulsões.



Fonte: Adaptado de Tan e McClements (2021).

As nanoemulsões possuem praticamente as mesmas características das emulsões convencionais, com exceção de diâmetros de gotículas menores, entre 20 e 200 nm. O tamanho menor confere a esse tipo de emulsão vantagens exclusivas – estabilidade superior para alguns mecanismos de desestabilização e maior biodisponibilidade de compostos bioativos encapsulados, como vitaminas e nutrientes, por exemplo.

As características das HIPEs também não diferem demasiado das emulsões convencionais, a não ser pela fração volumétrica da fase interna, que excede 74%. Nessas altas

concentrações, as gotículas de óleo ficam bem “empacotadas” e podem apresentar formatos não esféricos. Como consequência, as HIPEs geralmente possuem texturas semissólidas, o que as torna especialmente únicas para algumas aplicações.

As emulsões multicamadas consistem em gotículas de óleo revestidas, além do surfactante, por múltiplas camadas de biopolímeros carregados. A montagem é baseada no método de deposição eletrostática de camada por camada (LBL). Essas características podem melhorar a estabilidade das emulsões a perturbações externas, além de serem úteis para modular a proteção e liberação de substâncias bioativas.

As emulsões *Pickering* se distinguem pela utilização de agentes emulsificantes não convencionais, sendo estabilizadas por partículas coloidais orgânicas ou inorgânicas. Isto possibilita maior resistência aos mecanismos de coalescência e amadurecimento de Ostwald, uma vez que a fixação das partículas sólidas na superfície das gotículas é significativamente mais forte.

As nanopartículas lipídicas sólidas (SLNs) apresentam partículas com um núcleo lipídico solidificado, revestido por uma camada de moléculas de emulsificante. As SLNs possuem gotículas completamente cristalinas, diferente das emulsões convencionais. O núcleo lipídico sólido proporciona uma melhor proteção de compostos bioativos encapsulados, liberação prolongada e alterações na digestibilidade gastrointestinal.

As emulsões múltiplas consistem em uma fase interna que é dispersa na forma de pequenas gotículas dentro de gotículas maiores da fase intermediária, as quais são dispersas dentro de uma fase externa. Em comparação com as emulsões convencionais, para uma mesma fração volumétrica da fase dispersa, as emulsões múltiplas têm um teor de gordura menor, mas uma aparência, textura e sensação na boca semelhantes, de modo que podem ser usadas como substitutos de gordura em alimentos diversos.

Por fim, os emulgéis são a incorporação de agentes gelificantes à fase contínua de uma emulsão. São especialmente úteis quando uma textura semissólida ou viscosa é requerida.

8 CONCLUSÕES

O impacto ambiental ocasionado pelo descarte incorreto de óleos e misturas de água e óleo constitui-se como uma preocupação coletiva, visto que é responsabilidade e dever de todos zelar pelos recursos naturais (em particular, os hídricos) e propor alternativas para mitigação desses impactos.

Os efluentes oleosos estão presentes nas mais diversas atividades econômicas e industriais; mas, é fundamental atentar-se que, nos lares são gerados esses efluentes diariamente, os quais frequentemente são descartados de maneira inadequada. Portanto, a conscientização sobre o problema se inicia individualmente, nos núcleos familiares e de amigos, até que, por fim, todos sejam conscientizados em educação ambiental no geral.

Decorrente deste descarte indevido, diversos problemas foram apontados e, dentre eles, estão as emulsões que são formadas durante este processo. Com tratamentos específicos de separação, onerosos tornam-se os custos com tratamento de água e efluentes, considerando a peculiaridade de cada emulsão formada por uma infinidade de óleos, emulsificantes e fatores físico-químicos.

A fim de propor novos métodos de desestabilização, antes faz-se necessária a compreensão dos mecanismos de estabilização das emulsões e, nesse sentido, o referencial teórico buscado na literatura científica fornece base para elucidação de tais mecanismos, bem como a importância de pesquisa e subsequente análise bem executadas para se atingir assertividade no planejamento de experimentos e, conseqüentemente, obter os resultados esperados.

Desta maneira, a análise bibliométrica constitui-se como etapa fundamental, na qual são encontradas informações-chave para o entendimento sobre o assunto. Neste trabalho, foi analisado o “estado da arte” de emulsões formadas por óleos vegetais e emulsões de óleos vegetais em água, mais especificamente. Verificou-se que o tema, apesar de antigo, vem se desenvolvendo relativamente há poucos anos e, atualmente, encontra-se em seu ápice. Além disso, é importante salientar a posição de destaque do Brasil face às pesquisas relativas ao tema, seja em produção científica, financiamento por agências, instituições de pesquisa ou autores e coautores.

Finalmente, conclui-se que as emulsões de óleos vegetais constituem vasta área de pesquisa, com infinitas possibilidades de aplicação em áreas de saúde, cosméticos, alimentos etc. Ainda há muito o que ser pesquisado e desenvolvido, como novas técnicas avançadas de emulsificação, processos de separação e desestabilização de emulsões, com grandes oportunidades de visibilidade da ciência brasileira para o mundo.

REFERÊNCIAS

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Pesquisa de Capacidade Instalada da Indústria Brasileira de Óleos Vegetais, dez. 2018. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas/pesquisa-de-capacidade-instalada-da-industria-de-oleos-vegetais-2018/>. Acesso em: 17 fev. 2022.

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Coleta e destinação correta do óleo de cozinha usado traz benefícios sociais, econômicos e ambientais, 2020. Disponível em: <https://abiove.org.br/destaque/coleta-e-destinacao-correta-do-oleo-de-cozinha-usado-traz-beneficios-sociais-economicos-e-ambientais/>. Acesso em: 18 fev. 2022.

AESBE – Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. O prejuízo do óleo de cozinha no meio ambiente. Disponível em: <https://aesbe.org.br/novo/o-prejuizo-do-oleo-de-cozinha-no-meio-ambiente/>. Acesso em: 18 fev. 2022.

ALMEIDA, H. J. N. Estudo da estabilidade de emulsões óleo de canola em água. **Universidade Federal de Lavras**, 2020.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biodiesel. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em 19 abr. 2022.

AOKI, K. Size-distribution of droplets in emulsions by statistical mechanics calculation. **Journal of Colloid and Interface Science**, 2011.

ARAÚJO, A.; CARMO, E. S.; SILVA, L. R. B.; BARBOSA, T. L. A.; RODRIGUES, M. G. F. Produção de membrana de baixo custo e sua utilização no processo de separação emulsão óleo/água. **IV Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 2021.

BANCROFT, W. D. The Theory of Emulsification, V. **Journal of Physical Chemistry**, 1913, 17, 6, 501–519.

CHRISTIE, W. W. High-Performance Liquid Chromatography and Lipids. **Pergamon Books**, Oxford, 1987.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira, v. 8, mai. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 17 fev. 2022.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Ministério do Meio Ambiente, 2011.

COUTO, M. I. P. B. Avaliação estrutural e reológica de emulsões preparadas com óleo de *Dipterix alata* Vog. (Baru), estabilizadas com goma arábica e quitosana. **Universidade Federal de Goiás**, 2014.

DIKICI, B. A.; CLAEYSSSENS, F. Basic Principles of Emulsion Templating and Its Use as an Emerging Manufacturing Method of Tissue Engineering Scaffolds. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 08, n. 875, Aug. 2020.

DUTTON, H. J. History of the Development of Soy Oil for Edible Uses. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, n. 234, 1981.

EL-HAMIDI, M.; ZAHER, F. A. Production of vegetable oils in the world and in Egypt: an overview. **Bulletin of the National Research Centre**, 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja em números (safra 2020/21). Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 17 fev. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos, 2ª edição, 2015.

FELIPE, L. O.; DIAS, S. C. Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e desvantagens. **Química Nova na Escola**, v. 39, nº 3, p. 228-236, Ago. 2017.

FERREIRA, L. S. Desenvolvimento de géis de isolado proteico de soja carregados com emulsões de óleo de castanha do Brasil para veiculação de vitamina D₃. **Universidade de São Paulo**, 2020.

FILHO, S. T.; SENA, M. F. M.; LOUREIRO, M. M.; SILVA, E. R.; MATTOS, U. A.; SILVA, L. G. B. Aspectos associados ao descarte inadequado e ao reuso do óleo vegetal residual. **Revista Conhecimento Online**, v. 1, 2014.

- FRANGE, R. C. C.; GARCIA, M. T. J. Desenvolvimento de emulsões óleo de oliva/água: avaliação da estabilidade física. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, fev. 2009.
- GUPTA, M. K. Practical Guide to Vegetable Oil Processing, 2nd ed. **Elsevier**, 2017.
- JORGE, N. Química e Tecnologia de Óleos Vegetais. **Universidade Estadual Paulista**, Pró-Reitoria de Graduação, 165p, 2009.
- JUNIOR, M. J.; VARANDA, L. C. O mundo dos coloides. **Química Nova na Escola**, n° 9, 1999.
- KALE, S. N.; DEORE, S. L. Emulsion, Micro-Emulsion and Nano Emulsion: A Review. **Systematic Reviews in Pharmacy**, v. 08, n. 01, Jan-Dec. 2017.
- LARRSON, K.; QUINN, P.; SATO, K.; TIBERG, F. Lipids: Structure, Physical Properties and Functionality. **Woodhead Publishing Limited**, 2012.
- LIMA, F. E. L.; MENEZES, T. N.; TAVARES, M. P.; SZARFARC, S. C.; FISBERG, R. M. Ácidos graxos e doenças cardiovasculares: uma revisão. **Revista de Nutrição**, Campinas, 13(2): 73-80, maio/ago., 2000.
- LIMA, P. M.; DACANAL, G. C.; PINHO, L. S.; PÉREZ-CÓRDOBA, L. J.; THOMAZINI, M.; MORAES, I. C. F.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Production of a rich-carotenoid colorant from pumpkin peels using oil-in-water emulsion followed by spray drying. **Food Research International**, n. 148, 2021.
- MASKAN, M.; GOGUS, F. Effect of sugar on the rheological properties of sunflower oil-water emulsions. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 173-177, 2000.
- NIKOVSKA, K. Study of olive oil-in-water emulsions with protein emulsifiers. **Nutrition and Food Science**, v. 24, p. 17-24, 2012.
- OLIVEIRA, F. S. Revisão da importância do estudo do equilíbrio hidrófilo-lipófilo (EHL) e determinação do EHL do óleo de pracaxi (*Pentaclethra macroloba*). **Universidade Federal de Ouro Preto**, 2017.
- PASWAN, B. K.; MAHTO, V. Development of environment-friendly oil-in-water emulsion based drilling fluid for shale gas formation using sunflower oil. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 191, 2020.

PENGON, S.; CHINATANGKUL, N.; LIMMATVAPIRAT, C.; LIMMATVAPIRAT, S. The effect of surfactant on the physical properties of coconut oil nanoemulsions. **Asian Journal of Pharmaceutical Sciences**, 2018.

PIACENTINI, E. Emulsification. Encyclopedia of Membranes, **Springer**, 2016.

PICHOT, R.; SPYROPOULOS, F.; NORTON, I. T. O/W emulsions stabilised by both low molecular weight surfactants and colloidal particles: The effect of surfactant type and concentration. **Journal of Colloid and Interface Science**, n. 1, v. 352, dec. 2010.

PRITCHARD, A. Statistical Bibliography or Bibliometrics. **Journal of Documentation**, n. 25, 348-349.

RAVERA, F.; DZIZA, K.; SANTINI, E.; CRISTOFOLINI, L.; LIGGIERI, L. Emulsification and emulsion stability: the role of the interfacial properties. **Advances in Colloid and Interface Science**, dec. 2020.

ROCHA, C. M. Evolução de bolhas de ar em misturas de glicerol/água pelo amadurecimento de Ostwald. **Universidade Federal de Viçosa**, 2018.

ROSANI, L. Desenvolvimento e estudo da estabilidade de nanoemulsões do tipo óleo em água com óleos vegetais. **Universidade Federal de São Carlos**, 2011.

SADURN, N. U.; CONXITA, S.; AZEMAR, N. U.; GARC, C. Studies on the formation of O/W nano-emulsions by low-energy emulsification methods, suitable for pharmaceutical applications. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 26, p. 438–445, 2005.

SANJEEWANI, N. A.; SAKEENA, M. H. F. Formulation and Characterization of Virgin Coconut Oil (VCO) Based Emulsion. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 3, p. 528-536, Dec. 2013.

SCHROËN, K.; RUITER, J.; BERTON-CARABIN, C. The Importance of Interfacial Tension in Emulsification: Connecting Scaling Relations Used in Large Scale Preparation with Microfluidic Measurement Methods. **ChemEngineering**, v. 4, 63, 2020.

SILVA, C. C. Estudo da estabilização de emulsões óleo em água. **Universidade Federal de Lavras**, 2019.

SILVA, F. C. P. R.; SILVA, N. M. P. R.; MOURA, A. E.; ALMEIDA, R. G.; LUNA, J. M.; SANTOS, V. A.; SARUBBO, L.A. Seleção e aplicação de um biossurfactante na

desestabilização de emulsões óleo-água via flotação por ar dissolvido. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2014.

SOARES, P. B.; CARNEIRO, T. C. J.; CALMON, J. L.; CASTRO, L. O. C. O. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1. Jan-Mar 2016.

SRINIVASAN, A.; THIRUVENKATACHARI, V. Oil removal from water using biomaterials. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 17, sep. 2010.

TAN, C.; McCLEMENTS, D. J. Application of Advanced Emulsion Technology in the Food Industry: A Review and Critical Evaluation. **Foods**, 10, 812, 2021.

USDA – United States Department of Agriculture. Oil crops situation and outlook yearbook, 2021. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/data-products/oil-crops-yearbook/>. Acesso em: 17 fev. 2022.

YAMASHITA, Y.; MIYAHARA, R.; SAKAMOTO, K. Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications, Chapter 28: **Emulsion and Emulsification Technology**, p. 489-506, 2017.

ZHANG, S. B.; WANG, T. Destabilization of Emulsion Formed During Aqueous Extraction of Peanut Oil: Synergistic Effect of Tween 20 and pH. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 2016.