

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas
Campus de São José do Rio Preto

MARIA PAULA FORTUNA CLARA

**ESTABILIDADE OXIDATIVA DE ÓLEOS COMPOSTOS FORMULADOS A PARTIR
DE ÓLEOS DE SOJA, AMENDOIM, FARELO DE ARROZ E GERGELIM**

São José do Rio Preto

2025



MARIA PAULA FORTUNA CLARA

**ESTABILIDADE OXIDATIVA DE ÓLEOS COMPOSTOS FORMULADOS A PARTIR
DE ÓLEOS DE SOJA, AMENDOIM, FARELO DE ARROZ E GERGELIM**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, para obtenção do título de Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Neuza Jorge

Coorientador(a): Prof^a. Dr^a. Carolina Médici Veronezi

São José do Rio Preto

2025

C591e

Clara, Maria Paula Fortuna

Estabilidade oxidativa de óleos compostos formulados a partir de óleos de soja, amendoim, farelo de arroz e gergelim / Maria Paula Fortuna Clara. -- São José do Rio Preto, 2025

146 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Neuza Jorge

Coorientadora: Carolina Médici Veronezi

1. Glycine max L.. 2. Arachis hypogaea L.. 3. Oryza sativa L.. 4. Sesamum indicum L.. I. Título.

MARIA PAULA FORTUNA CLARA

**ESTABILIDADE OXIDATIVA DE ÓLEOS COMPOSTOS FORMULADOS A PARTIR
DE ÓLEOS DE SOJA, AMENDOIM, FARELO DE ARROZ E GERGELIM**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Câmpus de São José do Rio Preto, para obtenção do título de Doutor(a) em Engenharia e Ciência de Alimentos.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Data da defesa: 27/02/2025

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Neuza Jorge
UNESP - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Campus de São José do Rio Preto

Prof^a. Dr^a. Agdamar Affini Suffredini
Centro Universitário de Rio Preto - UNIRP

Prof^a. Dr^a. Ana Carolina da Silva
Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM

Prof^a. Dr^a. Cintia Nanci Kobori
Universidade Federal São João Del-Rei - UFSJ

Prof. Dr. Marcondes Viana da Silva
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

A Deus, aos meus pais e aos meus filhos Yudi e Mayumi (*in memoriam*), por serem
minha força e inspiração para nunca desistir dos meus sonhos,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e à Nossa Senhora das Graças por iluminarem, abençoarem e guiarem meus passos, fortalecendo minha fé e sustentando-me nos momentos mais desafiadores desta caminhada.

Ao meu filho Yudi, que esteve ao meu lado em todos os momentos, sendo minha fonte constante de alegria, força e motivação, tornando os dias mais leves mesmo diante das dificuldades.

À minha filha Mayumi (*in memoriam*), que partiu no início desta trajetória, deixando uma saudade profunda, mas cuja memória transformei em inspiração, coragem e força para alcançar este sonho.

Aos meus pais, Maria e Diógenes, cujo amor e dedicação sempre foram meu alicerce. Exemplos de superação e perseverança, renunciaram a tanto para que eu pudesse chegar até aqui.

Às minhas irmãs, Leila e Lilian, e aos meus sobrinhos, Luísa e José Augusto, pelo apoio e carinho em cada etapa, sempre me incentivando a alcançar os meus sonhos.

Aos meus companheiros de laboratório e ao técnico Luiz, pela parceria, troca de conhecimentos e pelos momentos de aprendizado e amizade que levarei para a vida.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da UNESP, pela estrutura e oportunidades que tornaram possível a realização deste trabalho.

À minha coorientadora, Prof^a. Dr^a. Carolina Médici Veronezi, pela disponibilidade, apoio e ajuda, que foram indispensáveis ao longo dessa caminhada.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Neuza Jorge, pela paciência, compreensão e dedicação incansáveis. Sua orientação foi essencial para esta conquista, que marcou profundamente minha trajetória e será levada comigo para toda a vida, razão pela qual serei eternamente grata.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta etapa, tornando possível a concretização deste sonho, o meu mais sincero e profundo agradecimento.

RESUMO

A formulação de óleos compostos surge como uma estratégia viável para aprimorar a estabilidade oxidativa do óleo de soja, reduzindo sua suscetibilidade à oxidação e preservando compostos bioativos. Este estudo avaliou a contribuição dos óleos brutos de amendoim, farelo de arroz e gergelim quando adicionados ao óleo de soja refinado, com o intuito de aumentar sua estabilidade oxidativa sob condições de termoxidação (180°C por 20 horas) e estocagem acelerada em estufa (60°C por 21 dias). Foram determinadas as análises das propriedades físico-químicas e antioxidantes, além da avaliação do comportamento das formulações sob condições de aquecimento e armazenamento prolongado. A metodologia envolveu a formulação de óleos compostos a partir de óleos vegetais refinados e brutos, seguida por análises de degradação lipídica, formação de compostos oxidativos e retenção de antioxidantes, como tocoferóis, carotenoides e compostos fenólicos. As formulações 50:50 (p/p) apresentaram maior estabilidade antioxidante em relação às 75:25 (p/p). Durante a termoxidação, a formulação com óleo de amendoim na proporção de 50:50 (p/p) apresentou menor degradação lipídica e preservou maior quantidade de compostos antioxidantes, evidenciando sua adequação para aplicações que envolvem temperaturas mais elevadas. Já na estocagem acelerada, o óleo composto com gergelim na proporção de 50:50 (p/p) exibiu as maiores retenções de tocoferóis e compostos fenólicos, retardando a degradação oxidativa ao longo do armazenamento. A formulação com óleo de arroz (SFA2) também demonstrou efeito protetor sobre os tocoferóis, contribuindo para a estabilidade antioxidante a longo prazo. Em contrapartida, o óleo de soja puro apresentou maior degradação, com perdas expressivas de compostos antioxidantes e aumento significativo da formação de produtos da oxidação. Os achados deste estudo evidenciam o potencial dos óleos compostos como alternativa viável para aumentar a vida útil dos óleos vegetais e aprimorar sua qualidade nutricional e funcional. Portanto, a formulação desses óleos representa uma estratégia promissora para aplicações industriais, contribuindo para maior estabilidade oxidativa e preservação dos compostos bioativos.

Palavras-chave: *Glycine max* L.; *Arachis hypogaea* L.; *Oryza sativa* L.; *Sesamum indicum* L.

ABSTRACT

The formulation of blended oils represents a viable strategy for enhancing the oxidative stability of soybean oil, reducing its susceptibility to oxidation and preserving bioactive compounds. This study evaluated the contribution of crude peanut, rice bran, and sesame oils when incorporated into refined soybean oil, aiming to improve its oxidative stability under thermoxidation (180°C for 20 hours) and accelerated storage (60°C for 21 days). Analyses included physicochemical and antioxidant properties, as well as the performance of the formulations under thermal and prolonged storage conditions. The methodology involved blending refined and crude vegetable oils, followed by the evaluation of lipid degradation, formation of oxidative compounds, and retention of antioxidants such as tocopherols, carotenoids, and phenolic compounds. Formulations at a 50:50 (w/w) ratio exhibited greater antioxidant stability compared to those at a 75:25 (w/w) ratio. During thermoxidation, the 50:50 peanut oil blend showed lower lipid degradation and higher antioxidant retention, supporting its suitability for high-temperature applications. Under accelerated storage conditions, the sesame oil blend (50:50) demonstrated the highest retention of tocopherols and phenolic compounds, delaying oxidative degradation over time. The rice oil formulation (SFA₂) also displayed a protective effect on tocopherols, contributing to long-term antioxidant stability. In contrast, pure soybean oil showed greater degradation, with significant losses of antioxidant compounds and increased formation of oxidation products. The findings of this study underscore the potential of blended oils as a viable alternative to extend the shelf life of vegetable oils while enhancing their nutritional and functional quality. Therefore, the development of these formulations presents a promising strategy for industrial applications, contributing to improved oxidative stability and the preservation of bioactive compounds.

Keywords: *Glycine max* L.; *Arachis hypogaea* L.; *Oryza sativa* L.; *Sesamum indicum* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Estrutura geral de triacilgliceróis	16
Figura 2 -	Soja: planta (a) e sementes (b)	18
Figura 3 -	Amendoim: planta (a) e sementes (b)	21
Figura 4 -	Arroz: planta (a) e grãos (b)	24
Figura 5 -	Gergelim: planta (a) e sementes (b)	26
Figura 6 -	Óleos adquiridos no comércio local: soja (a), tipo 1 e refinado; óleos brutos extraídos por prensagem a frio: amendoim (b), farelo de arroz (c) e gergelim (d)	37
Figura 7 -	Tratamentos antes do ensaio de termoxidação a 180°C	38
Figura 8 -	Tratamentos durante o ensaio de termoxidação a 180°C	38
Figura 9 -	Tratamentos durante o ensaio de estocagem acelerada em estufa a 60°C	39
Figura 10 -	Valor total de oxidação (Totox) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	49
Figura 11 -	Retenção (%) de tocoferóis totais e seus homólogos dos óleos ao final da termoxidação a 180°C	63
Figura 12 -	Valor total de oxidação (Totox) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	83
Figura 13 -	Retenção (%) de tocoferóis totais e seus homólogos dos óleos ao final da estocagem acelerada a 60°C	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição química da soja	18
Tabela 2 -	Perfil de ácidos graxos do óleo de soja refinado	20
Tabela 3 -	Composição química do amendoim	22
Tabela 4 -	Perfil de ácidos graxos do óleo de amendoim prensado a frio ...	23
Tabela 5 -	Composição química do farelo de arroz	25
Tabela 6 -	Perfil de ácidos graxos do óleo de farelo de arroz	25
Tabela 7 -	Composição química das sementes de gergelim	27
Tabela 8 -	Perfil de ácidos graxos do óleo de gergelim prensado a frio	28
Tabela 9 -	Principais características das fases da oxidação lipídica	29
Tabela 10 -	Formulação dos óleos compostos	37
Tabela 11 -	Teores de ácidos graxos livres (% oleico) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	43
Tabela 12 -	Índice de peróxidos (meq/kg) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	45
Tabela 13 -	Índice de ρ -anisidina dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	47
Tabela 14 -	Compostos polares totais (%) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	52
Tabela 15 -	Índice de estabilidade oxidativa (h) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	54
Tabela 16 -	Compostos fenólicos totais (mg/kg) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	56
Tabela 17 -	Carotenoides totais (μg β -caroteno/g) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	59
Tabela 18 -	Teores de tocoferóis (mg/kg) e vitamina E (mg/kg) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	61
Tabela 19 -	Capacidade de eliminação do radical DPPH• (%) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	68
Tabela 20 -	Poder antioxidante de redução do ferro – FRAP (μmol Trolox/100 g) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	70

Tabela 21 - Teores de ácidos graxos livres (% oleico) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	73
Tabela 22 - Índice de peróxidos (meq/kg) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	75
Tabela 23 - Índice de ácidos dienóicos conjugados (%) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	78
Tabela 24 - Índice de ρ -anisidina dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	81
Tabela 25 - Índice de estabilidade oxidativa (h) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	86
Tabela 26 - Compostos fenólicos totais (mg/kg) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	89
Tabela 27 - Carotenoides (μg β -caroteno/g) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	92
Tabela 28 - Teores de tocoferóis (mg/kg) e vitamina E (mg/kg) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	94
Tabela 29 - Capacidade de eliminação do radical DPPH• (%) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	101
Tabela 30 - Poder antioxidante de redução do ferro - FRAP (μmol Trolox/100 g) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Ácidos dienoicos conjugados
AGL	Ácidos graxos livres
AHA	<i>American Heart Association</i>
ANOVA	Análise de variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOCS	<i>American Oil Chemists' Society</i>
BHA	Butil-hidroxi-anisol
BHT	Butil-hidroxi-tolueno
CPT	Compostos polares totais
DPPH•	Radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazil
EO	Estabilidade oxidativa
FRAP	<i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>
HDLc	Lipoproteína de alta densidade
HepG₂	Linhagem de células tumorais hepáticas humanas
I_pA	Índice de <i>p</i> -anisidina
IP	Índice de peróxidos
LDLc	Lipoproteína de baixa densidade
OMS	Organização Mundial da Saúde
TBHQ	terc-butil-hidroquinona
TOTOX	Valor de oxidação total

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	15
2.1.	OBJETIVO GERAL	15
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1.	ÓLEOS VEGETAIS	16
3.1.1.	Soja	17
3.1.2.	Amendoim	21
3.1.3.	Arroz	24
3.1.4.	Gergelim	26
3.2.	OXIDAÇÃO LIPÍDICA	28
3.2.1.	Termoxidação	30
3.2.2.	Estocagem acelerada em estufa	32
3.3.	ÓLEOS COMPOSTOS	33
4.	MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1.	MATERIAL	37
4.1.1.	Óleos	37
4.1.2.	Termoxidação	38
4.1.3.	Estocagem acelerada em estufa	39
4.2.	MÉTODOS	39
4.2.1.	Propriedades físico-químicas	39
4.2.2.	Atividade antioxidante	40
4.3.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1.	TERMOXIDAÇÃO	42
5.1.1.	Propriedades físico-químicas	42
5.1.2.	Atividade antioxidante	67
5.2.	ESTOCAGEM ACELERADA EM ESTUFA	72
5.2.1.	Propriedades físico-químicas	72
5.2.2.	Atividade antioxidante	100
6.	CONCLUSÕES	105

REFERÊNCIAS	106
APÊNDICE A - Análises de variância para ácidos graxos livres (AGL), índice de peróxidos (IP), índice de <i>p</i> -anisidina (IpA), valor totox (Totox), compostos polares totais (CPT) e estabilidade oxidativa (EO) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	135
APÊNDICE B - Análises de variância para compostos fenólicos e carotenoides dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	136
APÊNDICE C - Análises de variância para tocoferóis e vitamina E dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	137
APÊNDICE D - Cromatograma para o perfil de tocoferóis dos óleos de soja (a), amendoim (b), farelo de arroz (c) e gergelim (d)	138
APÊNDICE E - Cromatograma para o perfil de tocoferóis dos óleos SA ₁ (a), SFA ₁ (b), SG ₁ (c) e SA ₂ (d)	139
APÊNDICE F - Cromatograma para o perfil de tocoferóis dos óleos SFA ₂ (a) e SG ₂ (b)	140
APÊNDICE G - Análises de variância para atividade antioxidante dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C	141
APÊNDICE H - Análises de variância para ácidos graxos livres (AGL), índice de peróxidos (IP), ácidos dienoicos conjugados (ADC), índice de <i>p</i> -anisidina (IpA), valor totox (Totox) e estabilidade oxidativa (EO) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	142
APÊNDICE I - Análises de variância para compostos fenólicos e carotenoides dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	143
APÊNDICE J - Análises de variância para tocoferóis e vitamina E dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C	144
APÊNDICE K - Análises de variância para atividade antioxidante dos óleos submetidos à termoxidação à estocagem acelerada em estufa a 60°C	145

1. INTRODUÇÃO

A produção e o consumo mundial de óleos vegetais têm crescido continuamente devido à sua importância como componentes essenciais na dieta humana, sendo fontes significativas de ácidos graxos essenciais, como $\omega 3$ e $\omega 6$. Além de fornecerem energia, desempenham funções vitais, como transporte de vitaminas lipossolúveis e manutenção da temperatura corporal. Óleos como os de soja (*Glycine max* L.), amendoim (*Arachis hypogaea* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e gergelim (*Sesamum indicum* L.) apresentam propriedades nutricionais e funcionais que promovem a saúde.

O óleo de soja, por exemplo, supre as necessidades de ácidos graxos poli-insaturados, fornecendo quantidades recomendadas de $\omega 3$ e $\omega 6$, essenciais para a saúde cardiovascular. Já o óleo de amendoim, com alto teor de vitamina E, contribui para a redução do colesterol de lipoproteína de baixa densidade (LDLc). O óleo de farelo de arroz destaca-se por sua atividade antioxidante e anti-inflamatória, atribuídas em grande parte à presença do γ -orizanol. Por sua vez, o óleo de gergelim é amplamente valorizado por seu alto valor nutricional e terapêutico, sendo uma fonte importante de antioxidantes naturais, como o γ -tocoferol.

Óleos ricos em ácidos graxos monoinsaturados, como os de arroz, amendoim e gergelim, destacam-se por sua maior resistência às reações oxidativas quando comparados ao óleo de soja, predominantemente poli-insaturado. Essa característica proporciona maior estabilidade oxidativa, preservação de propriedades sensoriais e valor nutricional, mesmo em condições adversas de temperatura e oxigênio. Nesse contexto, a combinação desses óleos com o óleo de soja tem se mostrado uma solução eficaz para superar os desafios associados à degradação oxidativa.

Além de seus benefícios nutricionais, os óleos vegetais são amplamente utilizados na culinária, influenciando textura, cor e sabor dos alimentos. No entanto, sob altas temperaturas, esses óleos estão sujeitos à degradação, resultando na formação de compostos tóxicos e comprometendo suas propriedades sensoriais. Para mitigar esses efeitos, a formulação de óleos compostos, unindo características complementares de óleos monoinsaturados e poli-insaturados, apresenta-se como uma abordagem tecnológica vantajosa, promovendo maior resistência à oxidação, preservação de compostos bioativos e vida útil prolongada.

A formulação de óleos compostos tem sido amplamente aplicada em alimentos para atender requisitos tecnológicos e nutricionais, sem comprometer a saúde. Dado o elevado potencial de valor agregado dos óleos de soja, amendoim, arroz e gergelim, este estudo explorou suas propriedades para a formulação de óleos compostos, visando aprimorar a estabilidade oxidativa e ampliar suas possibilidades de aplicação. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de realizar estudos no Brasil sobre a formulação de óleos compostos, focando nos efeitos das misturas em condições extremas, como termoxidação e estocagem acelerada em estufa, que simulam cenários reais de uso e armazenamento. Essa abordagem busca fornecer subsídios científicos para o desenvolvimento de produtos alimentícios mais estáveis, funcionais e alinhados às demandas tecnológicas e nutricionais do mercado.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Objetivou-se com o presente estudo avaliar a contribuição dos óleos brutos de amendoim, farelo de arroz e gergelim quando adicionados ao óleo de soja refinado, com o intuito de aumentar sua estabilidade oxidativa sob condições de termoxidação (180°C por 20 horas) e estocagem acelerada em estufa (60°C por 21 dias).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a contribuição dos óleos de amendoim, arroz e gergelim sobre a estabilidade do óleo de soja nas proporções 75:25 (p/p) e 50:50 (p/p); por meio de propriedades físico-químicas e atividade antioxidante;
- Analisar o comportamento dos óleos de soja, amendoim, arroz e gergelim e os óleos compostos em condições de termoxidação (180°C/20 horas);
- Monitorar o comportamento dos óleos de soja, amendoim, arroz e gergelim e os compostos em condições de estocagem acelerada em estufa (60°C/21 dias).

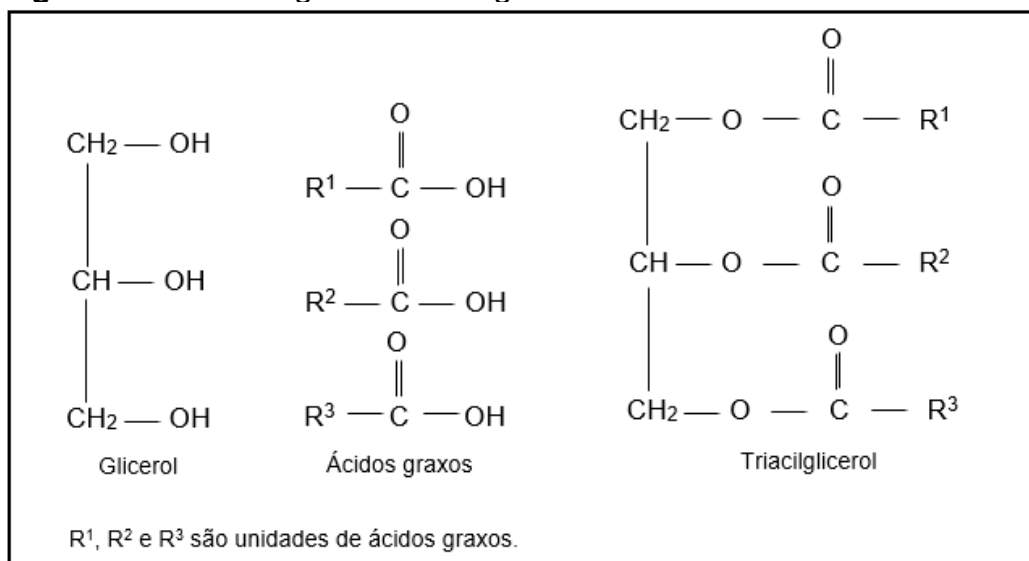
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. ÓLEOS VEGETAIS

Os óleos e gorduras vegetais são produtos constituídos majoritariamente por triacilgliceróis (98-99%), estruturas formadas por três moléculas de ácidos graxos ligadas a uma molécula de glicerol por ligações ésteres (Figura 1). As propriedades funcionais da molécula são determinadas pela sua composição de ácidos graxos, configuração geométrica e distribuição posicional (AKTAS *et al.*, 2023; CICHOCKI *et al.*, 2023; HANDKE *et al.*, 2025). Além dos triacilgliceróis, os óleos vegetais podem conter pequenas quantidades de mono e diacilgliceróis, ácidos graxos livres, fosfolípidios, cerídios e constituintes insaponificáveis, como tocoferóis e carotenoides, que desempenham papéis importantes na sua estabilidade oxidativa e valor nutricional (BRASIL, 2021; GHAZANI; MARANGONI, 2016; TIAN *et al.*, 2023).

São amplamente reconhecidos como componentes essenciais na dieta humana, destacando-se como uma fonte significativa de ácidos graxos, especialmente os essenciais, indispensáveis para o funcionamento metabólico adequado do organismo. Utilizado principalmente na culinária, os óleos vegetais fornecem energia, contribuem para a manutenção da temperatura corporal e protegem os tecidos, além de desempenharem um papel vital no transporte de vitaminas lipossolúveis, como A, D, E e K (TIAN *et al.*, 2023).

Figura 1 - Estrutura geral de triacilgliceróis.



Fonte: Adaptado de Jorge (2009).

As propriedades funcionais dos triacilgliceróis são determinadas pela composição dos ácidos graxos, que influenciam diretamente características como ponto de fusão, estabilidade oxidativa e aplicação culinária. Ácidos graxos saturados conferem maior estabilidade térmica, enquanto os poli-insaturados, devido às duplas ligações, são mais suscetíveis à oxidação (NOLLET; AHMAD, 2024). Por outro lado, os ácidos graxos monoinsaturados, como o ácido oleico, possuem uma única ligação dupla em sua cadeia carbônica, conferindo-lhes maior resistência à oxidação e estabilidade térmica. Essa característica os torna adequados para usos industriais que envolvem aquecimento prolongado, como frituras e processos de alta temperatura (KAUR *et al.*, 2020).

Os óleos vegetais também são fontes primárias de ácidos graxos essenciais, como o linoleico ($\omega 6$) e o α -linolênico ($\omega 3$), indispensáveis para processos metabólicos, transporte de vitaminas lipossolúveis e modulação de funções celulares (VOON *et al.*, 2024). Além disso, a presença de constituintes bioativos, como tocoferóis e polifenóis, amplia os benefícios à saúde, protegendo os ácidos graxos da oxidação e prolongando a vida útil dos óleos durante o armazenamento e processamento industrial (ATHANASIADIS *et al.*, 2023; MA *et al.*, 2023; WANG *et al.*, 2024a).

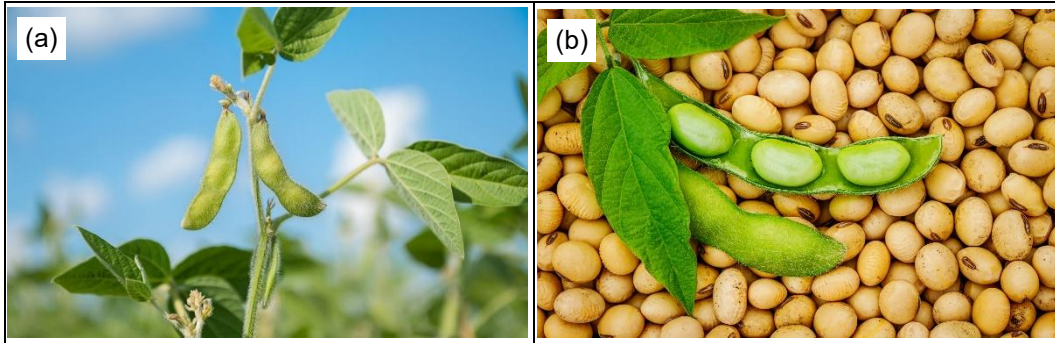
O uso de óleos vegetais na indústria de alimentos é destacado por sua versatilidade. Eles são amplamente aplicados em frituras, produção de margarinas, molhos prontos e panificação, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento de produtos com maior durabilidade e estabilidade oxidativa. Avanços tecnológicos recentes, como técnicas de prensagem a frio e extração com solventes ecológicos, têm contribuído para melhorar a qualidade nutricional dos óleos vegetais, reduzindo impactos ambientais e aprimorando sua aplicação industrial (NIKOLOV *et al.*, 2019).

3.1.1. Soja

A família *Fabaceae/Leguminosae*, comumente conhecida como leguminosas, abrange 727 gêneros e 19.327 espécies, sendo a terceira maior no mundo vegetal. Essa diversidade destaca sua importância agrônômica, especialmente pela capacidade de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, como as da família *Rhizobiaceae* (SIPENIECE *et al.*, 2021). Entre as leguminosas, a soja

(*Glycine max* L.) (Figura 2), é uma das mais importantes e conhecidas, com destaque global desde a década de 1960 (KUMARI *et al.*, 2025).

Figura 2 - Soja: planta (a) e sementes (b).



Fonte: Adaptado de Borges (2021).

Os principais componentes da soja são proteínas, lipídios, carboidratos e cinzas (Tabela 1). Além disso, como outras sementes da família *Leguminosae*, a soja contém compostos bioativos de natureza lipofílica, como tococromanóis, esqualeno, fitosteróis e carotenoides. Esses compostos não apenas desempenham papéis cruciais na nutrição humana, mas também contribuem para a estabilidade oxidativa do óleo, fator importante para sua aplicação em alimentos processados de maior vida útil, fazendo com que o óleo de soja se torne uma adição valiosa a vários produtos alimentícios (FREITAS; JORGE, 2021).

Tabela 1 - Composição química da soja.

Determinações (%)	Wijewardana, Reddy e Bellaloui (2019)	Inagaki e Boiago (2020)	De Paula (2021)
Umidade	na	9,57	12,73
Lipídios	19,45	21,08	19,33
Proteínas	36,12	34,49	33,15
Cinzas	5,01	na	4,56
Carboidratos	28,5	na	30,24

na: não avaliado.

O consumo de soja e seus derivados tem sido associado a redução dos níveis de LDLc, controle do diabetes e prevenção de doenças cardiovasculares, principalmente devido à presença de isoflavonas e ácidos graxos insaturados

(TRIANDITA; PUTRI, 2019). Um dos primeiros estudos a estabelecer a relação entre o consumo de alimentos à base de soja e a redução do risco de câncer foi realizado em Cingapura. Os resultados indicaram que mulheres na pré-menopausa que consumiam altas quantidades de soja apresentavam menor risco de desenvolver câncer de mama (LEE *et al.*, 1991). Essa associação positiva foi atribuída principalmente à presença de isoflavonas na soja, compostos bioativos que atuam como fitoestrogênios, modulando os receptores de estrogênio e reduzindo o crescimento celular descontrolado. Esses dados reforçam a relevância da soja não apenas como um alimento funcional, mas também como um insumo estratégico na formulação de produtos voltados para a saúde e bem-estar (CAO *et al.*, 2019; FOROOGHI; HASHEMPOUR-BALTORK; RASTEGAR, 2024).

Os alimentos à base de soja são consumidos há séculos e utilizados em muitas dietas asiáticas, especialmente no leste da Ásia. Estudos recentes, como o de Rai e Appaiah (2021), destacam que produtos fermentados de soja possuem propriedades antioxidantes e anti-hipertensivas, devido a compostos bioativos gerados durante a fermentação. Essa versatilidade também se reflete na ampla utilização industrial da soja, incluindo o óleo refinado, que tem papel central no mercado global devido a suas múltiplas aplicações (VIANA DA SILVA *et al.*, 2022).

A produção mundial de soja para a safra 2023/2024 foi de aproximadamente 394,97 milhões de toneladas métricas. O Brasil consolidou-se como o maior produtor, seguido pelos Estados Unidos, Argentina e China (USDA, 2024a). Além de sua importância agrícola e econômica, a soja representa uma *commodity* estratégica no comércio internacional, fortalecendo economias e atendendo à crescente demanda tanto à produção de alimentos quanto à indústria de biocombustíveis (DESHMUKH *et al.*, 2020).

Aproximadamente 85% da produção mundial de soja é direcionada à indústria de esmagamento, resultando principalmente em farelo de soja, rico em proteínas, e óleo de soja, rico em lipídios (EMBRAPA, 2024). O óleo de soja bruto pode conter fosfolipídios, ácidos graxos livres, produtos de oxidação lipídica e matéria insaponificável que incluem clorofila, carotenoides, tocoferóis, esteróis e hidrocarbonetos. Embora alguns desses componentes comprometam a qualidade do óleo durante o aquecimento ou armazenamento, outros desempenham papéis cruciais na nutrição, como os tocoferóis, que atuam como antioxidantes naturais. Isso reforça

o papel do refino do óleo de soja, que visa remover componentes indesejáveis e otimizar sua qualidade nutricional e funcional, tornando-o adequado para aplicações comerciais em larga escala (GHARBY, 2022).

Os ácidos graxos insaturados no óleo de soja, tanto os monoinsaturados quanto os poli-insaturados, desempenham um papel essencial na redução dos níveis de colesterol LDLc no sangue, especialmente quando utilizados como substitutos das gorduras saturadas na dieta (GERDE *et al.*, 2020; TELLE-HANSEN *et al.*, 2022). O óleo de soja contém de 20-36% de ácido graxo oleico, que é monoinsaturado e mais de 48% de ácidos poli-insaturados (Tabela 2). Estudos demonstram que o ácido oleico possui uma taxa de oxidação mais lenta em comparação aos ácidos graxos poli-insaturados (linoleico e α -linolênico), conferindo ao óleo de soja maior estabilidade oxidativa quando comparado a óleos ricos em ácidos graxos poli-insaturados, como linhaça e cártamo (O'BRIEN, 2008). Óleos com altos teores de ácido oleico são nutricionalmente superiores e mais adequados para aplicações tecnológicas em comparação a óleos ricos em ácidos graxos saturados, como palma, palmiste e coco (ROMANO *et al.*, 2021).

Tabela 2 - Perfil de ácidos graxos do óleo de soja refinado.

Ácidos Graxos (%)	Sultan, Dikshit e Vaidya (2015)	Gerde <i>et al.</i> (2020)	Sipeniece <i>et al.</i> (2021)	Abdo, Shaltout e Mansour (2023)
Palmitico (C16:0)	9,79	11,13	11,90	11,71
Esteárico (C18:0)	2,02	4,32	2,93	4,14
Oleico (C18:1)	20,09	22,00	35,85	23,62
Linoleico (C18:2)	56,79	55,32	43,51	51,38
α -linolênico (C18:3)	11,24	8,90	4,90	5,63

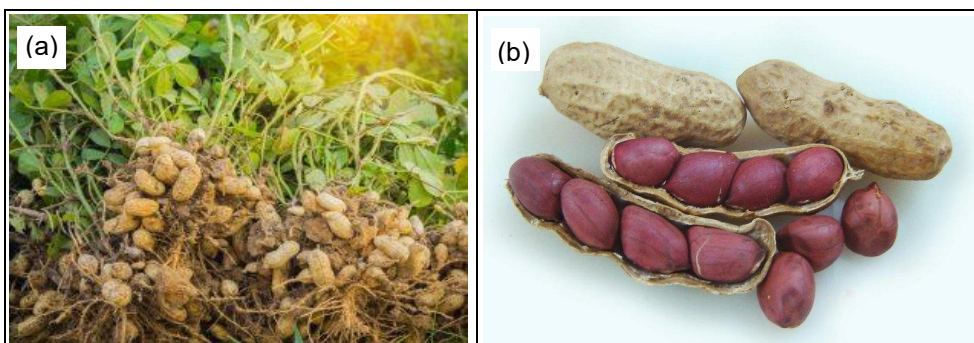
A substituição de gorduras saturadas por gorduras monoinsaturadas, como as encontradas no óleo de soja, está associada à redução do risco de doenças cardiovasculares. Essa propriedade funcional posiciona o óleo de soja como um ingrediente estratégico em dietas saudáveis e produtos alimentícios, especialmente em mercados que priorizam opções mais saudáveis e sustentáveis (SHAKARAMI, 2024).

Devido à sua versatilidade, 95% da produção de óleo de soja refinado são utilizados na indústria de alimentos em processos de fritura, produção de margarina, produtos de panificação e temperos prontos, enquanto 5% são destinados a biocombustíveis, sabões e outras aplicações industriais. O crescimento da demanda por alternativas sustentáveis e saudáveis tem impulsionado a valorização do óleo de soja como um produto essencial para diversas indústrias, ampliando sua relevância comercial no cenário global (CAO *et al.*, 2019).

3.1.2. Amendoim

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma leguminosa amplamente cultivada devido ao seu elevado teor de lipídios e compostos funcionais. Produzido em vagens, o amendoim pertence à mesma família das leguminosas (*Fabaceae*), conforme Figura 3. Dependendo da estagnação da semente, padrão de ramificação, período de maturação da planta e crescimento, o amendoim pode ser classificado em quatro tipos (GIDIK; CAN; ÖNEMLI, 2024). O Espanhol é uma variedade que possui tamanho menor em comparação com os outros e é conhecido por sua pele vermelha e seu perfil de sabor de nozes, devido ao teor de lipídios ligeiramente maior, o que aumenta seu sabor quando torrado. O Runner possui seus grãos em sua maioria semelhantes no tamanho, o que os tornam perfeitos para serem assados uniformemente e utilizados na produção de óleo e confeitos. O Valência possui sabor doce e é comumente utilizado para produção de manteiga de amendoim e para o cozimento. O tipo Virgínia tem amêndoas grandes e devido ao seu tamanho e característica é mais adequado para petiscos (MUÑOZ-ARRIETA *et al.*, 2021; ÇIFTÇI; SUNA, 2022).

Figura 3 - Amendoim: planta (a) e sementes (b).



Fonte: Adaptado de Florios (2013).

A composição química do amendoim pode variar substancialmente em função da cultivar, ambiente de cultivo, condições de armazenamento, maturidade, tamanho do grão e condições específicas de processamento térmico, entre outros fatores, conforme Tabela 3 (MINGROU *et al.*, 2022).

Tabela 3 - Composição química do amendoim.

Determinações (%)	Davis e Dean (2016)	Wang <i>et al.</i> (2016)	Çiftçi e Suna (2022)
Umidade	6,51	4,63	6,91
Lipídios	49,2	53,91	48,75
Proteínas	25,8	32,42	25,19
Cinzas	2,30	2,58	1,75
Fibras totais	8,50	6,40	8,53

A China é o maior produtor mundial de amendoim, sendo responsável por aproximadamente 38% da produção global, enquanto o Brasil ocupa a oitava posição, com cerca de 2% da produção mundial (USDA, 2024b). Devido ao seu elevado teor lipídico e compostos funcionais, o amendoim possui abrangentes possibilidades de utilização e alto potencial de valor agregado (LI *et al.*, 2022). Os principais meios de utilização e processamento do amendoim incluem o processamento da proteína do amendoim em pó, concentrada e isolada; a produção de óleo comestível, que geralmente é consumido *in natura* ou incorporado durante o preparo de alimentos, na produção de manteiga, bebidas, doces e bolos; e, também, na utilização abrangente de subprodutos, como cascas que são utilizadas para cultivo de cogumelos, produção de alimentos e combustível, além da extração de substâncias ativas, como resveratrol e proantocianidinas (MA *et al.*, 2024).

O perfil de ácidos graxos do amendoim é semelhante às outras oleaginosas (ARYA; SALVE; CHAUHAN, 2016), conforme Tabela 4. O óleo de amendoim contém alto teor de ácidos graxos insaturados, e estudos associam o consumo do óleo à melhora de biomarcadores cardiovasculares, como aumento da fração de lipoproteína de alta densidade (HDLc) e redução nos níveis de colesterol de baixa densidade (LDLc) e triacilglicerol total (WIEN; ODA; SABATÉ, 2014; TAN; TAN; TAN, 2020).

Tabela 4 - Perfil de ácidos graxos do óleo de amendoim prensado a frio.

Ácidos Graxos (%)	Kostadinović Veličkovska, Mitrev e Mihajlov (2016)	Ananth <i>et al.</i> (2019)	Konuskan, Arslan e Oksuz (2019)	Suri <i>et al.</i> (2019)
Palmítico (C16:0)	10,06	14,87	9,37	11,65
Esteárico (C18:0)	4,40	6,26	3,73	3,35
Oleico (C18:1)	35,68	49,60	55,33	38,65
Linoleico (C18:2)	36,13	20,38	23,69	39,08
α-linolênico (C18:3)	0,33	0,31	nd	nd
Araquidônico (C20:0)	0,10	3,44	1,83	1,28
Eicosenoico (C20:1)	1,37	1,80	1,57	1,17
Eicosadienoico (C20:2)	0,16	nd	nd	nd
Lignocérico (C24:0)	3,93	nd	1,62	0,89

nd: não detectado.

O óleo contém compostos bioativos como fitosteróis, fenólicos, estilbenos, lignanas e isoflavonóides, apresentando atividade antioxidante associada a diversas doenças (TOOMER, 2018; JUNG; KIM; AHN, 2020). Entre esses componentes, os fitosteróis ocorrem naturalmente na membrana celular do amendoim. Uma vez que são estruturalmente como o colesterol, eles competem para serem absorvidos pelo sistema digestivo quando consumidos. Como resultado, a absorção de colesterol é bloqueada e, conseqüentemente, a concentração de colesterol no sangue diminui. Assim, os fitosteróis podem melhorar os perfis lipídicos séricos e reduzir o risco de doença cardiovascular (ARYA; SALVE; CHAUHAN, 2016). Os outros componentes bioativos reduzem o estresse oxidativo e a inflamação causada pelos radicais livres no organismo. Assim, o consumo de amendoim pode auxiliar na prevenção de doenças crônicas cardiovasculares, diabetes, câncer, entre outras (DAVIS; DEAN, 2016).

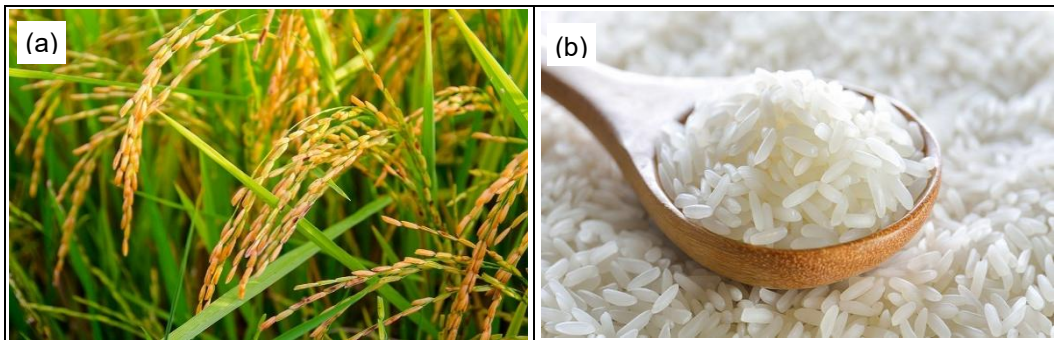
Por ser extraído a frio, o óleo de amendoim retém elevado nível de fitoquímicos bioativos, especialmente antioxidantes, podendo agregar maior valor nutricional aos alimentos processados (ANANTH *et al.*, 2019) e elevar a vida de prateleira (DUN *et al.*, 2019). Em razão ao seu ponto de fumaça (> 150°C), o óleo de amendoim bruto é adequado para realizar frituras e é comumente utilizado na Índia para uso na culinária

doméstica (DEAN; DAVIS; SANDERS, 2011). É frequentemente usado no preparo de maionese, na composição de gordura vegetal e margarina, devido seu sabor agradável.

3.1.3 Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma cultura alimentar nutritiva e importante em todo o mundo, pois contribui diretamente para satisfazer a demanda alimentar de grande parte da população global ou indiretamente como ração animal (VERMA; SRIVASTAV, 2020; WANG *et al.*, 2022). Em 2023/2024 foram produzidas 522,31 milhões de toneladas de arroz, sendo a China, o maior produtor, seguido pela Índia, e o Brasil ocupando o 9º lugar (USDA, 2024c). Após a colheita, o grão de arroz é processado para retirar todas as camadas externas, formando o grão de arroz branco comestível (Figura 4).

Figura 4 - Arroz: planta (a) e grãos (b).



Fonte: Adaptado de Castro (2022).

O farelo de arroz (10% do peso do grão) é proveniente de algumas camadas externas do arroz integral que são retiradas para a produção do arroz polido. Possui baixo valor comercial e normalmente é usado para extração de óleo, ingrediente de ração animal e/ou fertilizante orgânico. Dependendo dos fatores associados à própria constituição do grão ou do processo de beneficiamento apresenta composições químicas diferentes (Tabela 5). A porcentagem lipídica do farelo é muito maior do que a do endosperma. O óleo é rico em compostos bioativos e antioxidantes, incluindo fitosteróis, tocoferóis, tocotrienóis e outros nutrientes (ISLAM *et al.*, 2021).

Tabela 5 - Composição química do farelo de arroz.

Determinações (%)	Da Silva (2012)*	Da Silva (2012)**	Gasparini (2014)*	Soares (2017)***
Umidade	8,54	2,32	11,28	9,18
Lipídios	16,96	17,20	16,48	0,98
Proteínas	14,94	15,43	13,29	15,20
Cinzas	9,76	9,57	3,94	10,78
Carboidratos	49,8	55,48	55,01	57,52

*farelo de arroz *in natura*, **farelo de arroz extrusado, ***farelo de arroz desengordurado.

A Organização Mundial da Saúde (OMS), a *American Heart Association* (AHA) e outras organizações internacionais de alimentos e saúde, reconheceram o óleo de farelo de arroz como benéfico à saúde, devido à balanceada composição de ácidos graxos, que consiste em 47% de ácidos monoinsaturados, 33% de poli insaturados e 20% de saturados (KUSHWAHA, 2018; LAI *et al.*, 2019). Os principais ácidos graxos insaturados são os ácidos oleico, linoleico e α -linolênico, e os ácidos graxos saturados primários são o palmítico, mirístico e esteárico, conforme relatado na Tabela 6.

Tabela 6 - Perfil de ácidos graxos do óleo de farelo de arroz.

Ácidos Graxos (%)	Orsavova <i>et al.</i> (2015)	Yang <i>et al.</i> (2018)	Lai <i>et al.</i> (2019)	Liu <i>et al.</i> (2023a)
Mirístico (C14:0)	0,39	0,22	0,72	0,38
Palmítico (C16:0)	20,00	17,00	19,25	16,79
Esteárico (C18:0)	2,10	1,52	2,01	2,64
Oleico (C18:1)	42,7	47,22	40,35	44,86
Linoleico (C18:2)	33,1	32,65	35,05	31,00
α -linolênico (C18:3)	0,45	nd	1,35	1,28

nd: não detectado.

Devido ao seu ponto de fumaça (> 200°C) e ponto de ignição (~350°C), o óleo de farelo de arroz é estável com baixo nível de degradação e polimerização durante o aquecimento. A estabilidade oxidativa deste óleo é equivalente às do óleo de amendoim e do caroço de algodão. A presença de antioxidantes naturais como tocoferóis e γ -orizanol pode diminuir a taxa de oxidação durante os períodos de fritura

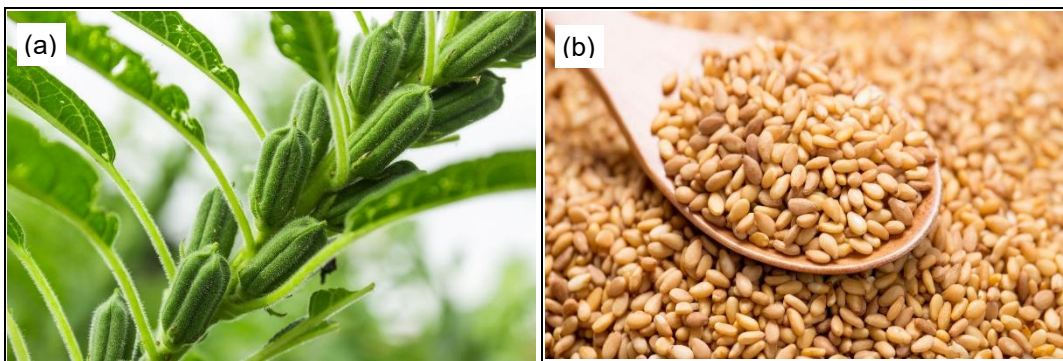
(WANG, 2019). Estudos demonstraram atividades antioxidante e anti-inflamatória significativas do óleo de farelo de arroz, confirmando assim suas propriedades anti-hipertensivas, antidiabéticas, antiobesidade e anticarcinogênicas (LAI *et al.*, 2019; WANG, 2019). Ghatak e Panchal (2011) atribuíram ao γ -orizanol um dos principais responsáveis por esse conjunto de efeitos benéficos à saúde, uma vez que é composto por uma mistura antioxidante de ésteres de fitosteróis do ácido ferúlico. Estudos recentes também destacam o potencial do óleo de farelo de arroz como ingrediente funcional em alimentos nutracêuticos e cosméticos (FRATERRIGO GAROFALO; TOMMASI; FINO, 2021).

O óleo de farelo de arroz é amplamente utilizado na culinária asiática, sendo valorizado por suas propriedades sensoriais e nutricionais. Além de ser usado como óleo de mesa, é aplicado em frituras, molhos para salada e na produção de margarinas, devido à sua estabilidade oxidativa, composição balanceada de ácidos graxos e presença de antioxidantes naturais como γ -orizanol (PUNIA *et al.*, 2021).

3.1.4. Gergelim

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta dicotiledônea, herbácea e pertencente à família *Pedaliaceae* (Figura 5). É uma das mais importantes e antigas culturas oleaginosas conhecidas no mundo. É cultivado há séculos majoritariamente na Ásia e na África. No Brasil, o gergelim foi introduzido no século XVI na Região Nordeste pelos portugueses e tradicionalmente plantado para consumo local (ADEYANJU *et al.*, 2022).

Figura 5 - Gergelim: planta (a) e sementes (b).



Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2022).

Existem inúmeras variedades, que se diferenciam em alguns atributos como coloração e composição das sementes, onde, a quantidade e a qualidade do óleo contido dependem de fatores ecológicos, genéticos e fisiológicos, como clima, tipo de solo, cultivares e maturidade da planta (GHARBY *et al.*, 2017; MAJDALAWIEH; MASSRI; NASRALLAH, 2017; PAZZOTI, VERONEZI e JORGE, 2022). A composição química do gergelim mostra que a semente é uma importante fonte de lipídios e proteínas (Tabela 7). Além disso, apresenta a sesamina, uma lignana solúvel em lipídios (DAR; ARUMUGAM, 2013).

Tabela 7 - Composição química das sementes de gergelim.

Determinações (%)	Gharby <i>et al.</i> (2017)	Hwang, Lee e Su (2020)	Yaseen <i>et al.</i> (2021)
Umidade	6,5	4,73	10,16
Lipídios	36,0	38,8	48,9
Proteínas	19,3	17,2	24,51
Cinzas	1,56	4,01	na
Fibras totais	1,79	19,6	3,2

na: não avaliado

Foi comprovado que a sesamina possui ampla atividade farmacológica e importância terapêutica e nutricional, visto que modula a homeostase do colesterol macrófago, um evento importante na aterogênese, levando a efeitos antiaterogênicos (MAJDALAWIEH; RO, 2015). Também foi demonstrado o seu efeito redutor do colesterol, prevenção da hipertensão arterial, as atividades antiproliferativa, pró-apoptótica, anti-inflamatória, antimetastática, antiangiogênica e pró-autofagocítica (MAJDALAWIEH; MASSRI; NASRALLAH, 2017; ASLAM *et al.*, 2021). Logo, as sementes de gergelim podem ser utilizadas para tratar problemas digestivos, antiespasmódicos e distúrbios gastrointestinais (YASEEN *et al.*, 2021).

O óleo de gergelim tem sido utilizado na prevenção de várias doenças devido ao seu elevado teor de ácidos graxos mono e poli-insaturados (Tabela 8), vitamina E, fitosteróis, sesamolina, sesamina e outros componentes nutracêuticos (ANDARGIE *et al.*, 2021; DOSSOU *et al.*, 2023). Devido à presença desses componentes, o óleo de gergelim é resistente à oxidação e à decomposição, sendo assim utilizado para melhorar a estabilidade e a qualidade de vários produtos, incluindo salgadinhos de

milho, óleo de soja e maionese (BORDÓN *et al.*, 2019; EL-ROBY; HAMMAD; GALAL, 2020). Pode também ser utilizado como cosmético e na fabricação de medicamentos. Possui valor medicinal, uma vez que é fonte de vitamina E, reduz o nível de colesterol, pressão arterial e estresse, previne distúrbios nervosos e digestivos e reduz as propriedades cancerígenas (YASEEN *et al.*, 2021).

Tabela 8 - Perfil de ácidos graxos do óleo de gergelim prensado a frio.

Ácidos Graxos (%)	Orsavova <i>et al.</i> (2015)	Brewer, Franco e Garcia-Zapateiro (2016)	Codex (2009)	Gharby <i>et al.</i> (2017)
Palmítico (C16:0)	9,7	9,24	7,9-12,0	8,9
Estearico (C18:0)	6,5	5,95	4.8-6.1	5,43
Oleico (C18:1)	41,5	34,58	35,9-42,3	41,5
Linoleico (C18:2)	40,9	49,38	41,5-47,9	42,7
α-linolênico (C18:3)	0,21	nd	0,3-0,4	0,3

nd: não detectado.

3.2. OXIDAÇÃO LIPÍDICA

A oxidação é considerada a principal reação de deterioração que ocorre durante o processamento e armazenamento dos alimentos e é responsável pelo desenvolvimento de odores e sabores desagradáveis, o que torna os alimentos impróprios para consumo (XIE *et al.*, 2019). Pode ocorrer em qualquer tipo de óleo, independente da composição de ácidos graxos. No entanto, óleos ricos em ácidos graxos insaturados são mais suscetíveis devido à presença de duplas ligações que reagem rapidamente com oxigênio. Já os óleos predominantemente compostos por ácidos graxos saturados, embora mais resistentes, também podem sofrer oxidação em condições adversas, como exposição prolongada ao calor, luz e traços metálicos (ATHANASIADIS *et al.*, 2023; BAO; PIGNITTER, 2023).

Os fatores que afetam a estabilidade oxidativa dos óleos incluem elementos intrínsecos, como a composição química e a configuração estrutural dos ácidos graxos, e elementos extrínsecos, como temperatura, exposição à luz, oxigênio e a presença de metais de transição (PAZZOTI; VERONEZI; JORGE, 2022; ZULFIQAR *et al.*, 2023). A estabilidade limitada dos óleos vegetais representa um desafio na produção de alimentos que requerem maior vida útil, como frituras e *snacks*,

destacando a necessidade de estratégias antioxidantes eficazes (VIANA DA SILVA *et al.*, 2022).

A degradação dos óleos pode ser hidrolítica, catalisada por enzimas ou pela presença de umidade, ou oxidativa (SHARMA; CHAKKARAVARTHI; BHATTACHARYA, 2023). Dentre esses processos, a auto-oxidação destaca-se como a principal responsável pela deterioração química e sensorial (JACOBSEN, 2010; MATTHÄUS, 2010; MOHAN *et al.*, 2022). A auto-oxidação é a maior responsável pelas alterações em produtos lipídicos, que consiste na quebra das duplas ligações por agentes catalisadores, como exposição à energia luminosa, térmica ou a íons metálicos (GARG *et al.*, 2022; O'BRIEN; O'CONNOR, 2022) e é dividida em três fases, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Principais características das fases da oxidação lipídica.

Fases	Características
Iniciação ou indução	Baixo consumo de oxigênio Elevada concentração de radicais livres Não há alterações sensoriais
Propagação	Elevado consumo de oxigênio Elevada concentração de hidroperóxidos Início das alterações sensoriais
Terminação	Reduzido consumo de oxigênio Redução na concentração de hidroperóxidos Elevada alteração sensoriais

Fonte: Jorge (2009).

Na fase inicial ou de indução formam-se os radicais livres pela retirada de um átomo de hidrogênio do carbono adjacente à dupla ligação do ácido graxo insaturado, originando moléculas com elétrons não pareados (JACOBSEN, 2019; ZHOU *et al.*, 2022; XU *et al.*, 2024;). Esses radicais livres, altamente reativos, ficam suscetíveis à ação do oxigênio atmosférico, e assim inicia-se a fase de propagação. Nesta etapa ocorre o desencadeamento da produção de compostos de degradação como peróxidos, hidroperóxidos, aldeídos, compostos polares e ácidos graxos conjugados, os quais conferem odores e sabores desagradáveis aos alimentos (ORLOVA *et al.*, 2021; SHAHIDI; HOSSAIN, 2022; MIYAZAKI *et al.*, 2023). Porém, na fase de

terminação as alterações são mais aparentes, podendo ocasionar mudanças na cor e viscosidade. Além da qualidade sensorial, as qualidades nutricionais e funcionais também são afetadas durante a auto-oxidação, pela formação de substâncias tóxicas e, principalmente, pela perda de ácidos graxos essenciais, carotenoides, tocoferóis e fitosteróis (JORGE, 2009; AL-SHIBLI *et al.*, 2024; WANG *et al.*, 2024b).

A prevenção da auto-oxidação dos óleos vegetais requer o controle rigoroso dos fatores que promovem o processo oxidativo. Para isso, é necessário minimizar ou eliminar a presença de traços de metais de transição, como ferro, cobre e cromo, que catalisam a formação de radicais livres (GARG *et al.*, 2022). Além disso, medidas como o armazenamento em condições controladas, evitando o contato direto com o oxigênio atmosférico, luz intensa e temperaturas elevadas, são cruciais para retardar a oxidação (HARRYSSON *et al.*, 2021; SUÁREZ-MEDINA *et al.*, 2024). Outra estratégia eficaz envolve o uso de antioxidantes, que, mesmo em pequenas quantidades, são capazes de inibir ou retardar a propagação de reações oxidativas (YANG; CHEN; MIS SOLVAL, 2024). Compostos fenólicos, tocoferóis e ácidos orgânicos naturais têm demonstrado alto potencial como antioxidantes, destacando-se como alternativas promissoras aos antioxidantes sintéticos, como o TBHQ (CHOE; MIN, 2009; MOHAN *et al.*, 2022; ATHANASIADIS *et al.*, 2023). Pesquisas recentes também sugerem que a combinação de antioxidantes naturais com barreiras físicas, como embalagens opacas e revestimentos ativos, pode ampliar ainda mais a estabilidade oxidativa dos óleos durante o armazenamento e processamento (AKSUN TÜMERKAN, 2023; BAO; PIGNITTER, 2023; BARZAN *et al.*, 2024).

3.2.1. Termoxidação

A termoxidação é um processo amplamente utilizado para avaliar as características dos óleos vegetais sob elevadas temperaturas, simulando condições semelhantes às de fritura contínua, mas sem a interferência de alimentos no processo. Durante a termoxidação, ocorre reação de hidrólise com formação de ácidos graxos livres e outros compostos de degradação, comprometendo a qualidade sensorial, nutricional e funcional do óleo (FREIRE; MANCINI-FILHO; FERREIRA, 2013; BARANI; BONETTI; PARKER, 2023). Além disso, estudos indicam que a termoxidação também leva à degradação de compostos bioativos, como tocoferóis e fitoesteróis, além de promover o acúmulo de produtos tóxicos, como aldeídos e

cetonas, que podem ter impactos na saúde humana (FRANÇA *et al.*, 2019; KASPRZAK *et al.*, 2020).

Estudos recentes demonstram que tanto a composição dos óleos quanto o uso de antioxidantes naturais ou sintéticos influenciam diretamente a estabilidade oxidativa durante o aquecimento. Veronezi e Jorge (2021) analisaram a estabilidade de óleos compostos de soja e azeite de oliva (80:20 p/p) submetidos à termoxidação (180°C/20 h). Os resultados indicaram que a mistura apresentou menor degradação físico-química, atribuída à presença de compostos fenólicos no azeite de oliva, que também aumentaram a atividade antioxidante em 20 horas de aquecimento.

Pinheiro e Jorge (2021) avaliaram misturas de óleos de soja:coco e girassol:coco, (75:25 v/v), quanto às suas propriedades físico-químicas quando submetidos à termoxidação (180°C/15 h). Foi observado que a mistura girassol:coco apresentou maior estabilidade oxidativa e menor degradação em relação a soja:coco. Porém, a aplicação de ambos os óleos compostos é recomendada em processos que envolvam elevadas temperaturas, como fritura. Esse comportamento foi atribuído à alta proporção de ácidos graxos saturados no óleo de coco, que aumentam a resistência térmica em condições de aquecimento contínuo (FRANÇA *et al.*, 2019).

Carvalho; Silva e Dovich (2019) avaliaram o uso do extrato de alecrim e do óleo essencial de alecrim na banha de porco submetida à termoxidação (180°C/20 h) e comparados com o antioxidante sintético TBHQ. O extrato apresentou maior potencial antioxidante em relação ao óleo essencial. Por outro lado, o óleo essencial de alecrim apresentou resultados tão favoráveis quanto os obtidos pelo antioxidante TBHQ, mostrando que antioxidantes de origem natural podem servir como uma alternativa para substituir o uso dos sintéticos. De forma semelhante, Poiana *et al.* (2022) demonstraram que o extrato de bagaço de uva inibiu significativamente a degradação oxidativa induzida pelo calor no óleo de girassol, reforçando seu potencial como aditivo natural em processos de alta temperatura.

Adicionalmente, Murakami *et al.* (2023) relataram que a degradação térmica do óleo de arroz provoca alterações nas propriedades físicas, como aumento na viscosidade cinemática e formação de compostos polares, evidenciando o impacto do aquecimento prolongado na funcionalidade dos óleos vegetais.

Pesquisas em óleos vegetais menos convencionais, como o óleo de macaúba, mostram que a termoxidação resulta na degradação de compostos bioativos, como β -

caroteno e flavonoides. Esses compostos, responsáveis por conferir propriedades antioxidantes e valor nutricional aos óleos, sofrem perdas significativas durante o aquecimento contínuo em altas temperaturas. Estudos também destacam que óleos prensados a frio apresentam níveis elevados de tocoferóis e ácidos graxos insaturados, que são particularmente sensíveis à degradação oxidativa. Essa perda reforça a necessidade de tecnologias ou aditivos naturais que preservem a qualidade e a estabilidade dos óleos durante o processamento térmico (FRANÇA *et al.*, 2019; AYYILDIZ *et al.*, 2021).

3.2.2. Estocagem acelerada em estufa

Determinar a resistência de óleos e gorduras à oxidação em condições de temperatura ambiente é um processo lento e trabalhoso. Por esse motivo, métodos acelerados, como o teste de estocagem em estufa, têm sido amplamente utilizados, permitindo simular a estabilidade oxidativa em um período relativamente curto (GARCÍA-MORENO *et al.*, 2013). Esses métodos baseiam-se na elevação controlada da temperatura para aumentar a velocidade de reação de oxidação, sendo possível conhecer a vida útil dos óleos e/ou gorduras, uma vez que os resultados fornecidos apresentam boa correlação com a avaliação efetuada em condições de estocagem à temperatura ambiente (GÓMEZ-ALONSO *et al.*, 2007).

Por ser realizada em temperaturas moderadamente mais altas do que as encontradas em condições normais de armazenamento, a estocagem acelerada em estufa (*Schaal Oven Test*) fornece um índice de estabilidade que mais representa um produto sob condições normais de utilização. Neste teste, os óleos são submetidos e mantidos à temperatura de 60°C ou mais e analisados em determinados tempos quanto a identificação de produtos de oxidação primária e secundária (DROZDOWSKI; SZUKALSKA, 1987). A literatura confirma que cada dia em estufa a 60°C equivale aproximadamente a um mês de armazenamento em temperatura ambiente, reforçando a aplicabilidade prática desse método em pesquisas de estabilidade oxidativa (NG *et al.*, 2014).

Estudos recentes destacam o potencial de misturas de óleos vegetais na melhoria da estabilidade oxidativa durante a estocagem acelerada. Veronezi e Jorge (2022a) avaliaram óleos compostos de soja e de sementes de mamão (75:25 e 50:50 p/p) sob estocagem acelerada em estufa a 60°C durante 12 dias. Os resultados

mostraram que a mistura com 25% de óleo de sementes de mamão apresentou níveis elevados de tocoferóis totais, responsáveis por aumentar a capacidade antioxidante. Em contrapartida, a estabilidade do óleo de soja foi mais pronunciada quando a concentração de óleo de sementes de mamão atingiu 50%. Esse comportamento reflete a interação entre compostos bioativos do óleo de sementes de mamão e o perfil de ácidos graxos, contribuindo para a resistência oxidativa.

Estudos adicionais destacam que o uso de antioxidantes naturais em óleos compostos pode melhorar significativamente a estabilidade oxidativa em condições aceleradas. Por exemplo, o extrato de alecrim foi eficaz na redução de compostos oxidativos em óleos de girassol submetidos a testes de estocagem em estufa, enquanto o β -caroteno mostrou efeitos semelhantes em misturas de óleos ricos em ácidos graxos insaturados (LE GRESLEY *et al.*, 2019; MOSLAVAC *et al.*, 2023).

Avanços tecnológicos e novas metodologias têm contribuído para a precisão e eficácia dos testes de estocagem acelerada. Por exemplo, o uso de ferramentas analíticas avançadas, como espectroscopia de infravermelho e cromatografia gasosa, permite um monitoramento mais detalhado dos compostos formados durante a oxidação. Essas técnicas facilitam a avaliação do impacto de diferentes antioxidantes, naturais ou sintéticos, na extensão do processo oxidativo (TIUSANEN *et al.*, 2023; CUI *et al.*, 2024).

3.3. ÓLEOS COMPOSTOS

Os óleos vegetais são largamente empregados na preparação de alimentos, principalmente em processo com elevadas temperaturas. Além do mais, a maioria dos óleos vegetais extraídos de sementes oleaginosas possui pequena quantidade de sólidos para formar redes de cristais, enquanto outros, como palma, palmiste e coco, têm maior teor de gordura sólida (DIJKSTRA; VAN DUIJN, 2016). Devido à suscetibilidade à degradação oxidativa, que resulta na formação de compostos tóxicos, como aldeídos e cetonas, e na alteração das propriedades sensoriais e nutricionais dos alimentos (KASEKE; OPARA; FAWOLE, 2021; MACHADO; RODRIGUEZ-ALCALÁ, 2023), alternativas tecnológicas foram desenvolvidas para melhorar a funcionalidade dos óleos. Entre elas estão os processos de hidrogenação e interesterificação. No entanto, ambos os processos resultaram em produtos ainda não adequados para serem altamente consumidos (PINHEIRO; LUZIA; JORGE, 2022), pois a hidrogenação pode gerar gorduras *trans*, consideradas mais

aterogênicas que os ácidos graxos saturados, enquanto a interesterificação pode deixar resíduos químicos contendo radicais livres (SILVA *et al.*, 2020; SIMOPOULOS, 2020).

Uma vez que nenhum óleo refinado possui uma composição ideal de ácidos graxos e considerando as limitações dos métodos de hidrogenação e interesterificação, os óleos compostos surgiram como uma alternativa viável. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) define óleos e gorduras vegetais compostos como produtos obtidos pela mistura de óleos ou gorduras vegetais de duas ou mais espécies, podendo ser adicionados de especiarias ou outros ingredientes para fins de sabor, desde que não descaracterizem o produto como óleo ou gordura (BRASIL, 2021a).

Estudos recentes reforçam a relevância dos óleos compostos na melhoria da estabilidade oxidativa e funcionalidade, destacando seu potencial para aplicações diversas na indústria de alimentos. Lehnert *et al.* (2019) analisaram a qualidade e segurança de óleos compostos derivados de diferentes fontes vegetais, como misturas de óleos de sementes e frutos oleaginosos, demonstrando sua viabilidade como ingredientes em alimentos processados. O estudo destacou sua aplicabilidade em produtos que exigem maior estabilidade oxidativa e funcional em condições de armazenamento prolongado. Dhyani *et al.* (2022) investigaram misturas de óleos vegetais com o óleo de perilla, e observaram um aumento expressivo na resistência à oxidação, atribuída à interação sinérgica entre os ácidos graxos insaturados e compostos bioativos presentes nas misturas.

Pattnaik e Mishra (2021) relataram que a incorporação de ácidos graxos poli-insaturados e óleos encapsulados com propriedades bioativas, não apenas melhorou a estabilidade oxidativa, mas também ampliou as aplicações industriais devido à proteção efetiva contra a degradação oxidativa em processos de alta temperatura. Da mesma forma, Sumit *et al.* (2020) avaliaram diferentes combinações de óleos e demonstraram que ajustes precisos nas proporções das misturas permitem atender demandas específicas, como a produção de alimentos funcionais e o aprimoramento do perfil lipídico.

Em outro estudo, Kaseke, Opara e Fawole (2021) destacaram a combinação de óleo de girassol e óleo de sementes de romã como uma abordagem promissora. A mistura apresentou melhorias significativas na funcionalidade, estabilidade oxidativa

e propriedades antioxidantes, tornando-a adequada para aplicações que exigem alto desempenho antioxidante. Complementarmente, Farag *et al.* (2021) mostraram que a otimização da composição de ácidos graxos por meio da mistura de óleos provenientes de diferentes fontes vegetais resultou em avanços notáveis na estabilidade oxidativa, aumentando a vida útil e preservando a qualidade nutricional dos óleos.

A mistura de óleos permite a modificação de propriedades físico-químicas, térmicas e morfológicas, tornando os óleos vegetais mais adequados para aplicações específicas em alimentos. Esse processo é especialmente relevante na indústria de alimentos, onde a funcionalidade dos óleos e gorduras pode ser adaptada para melhorar características como estabilidade oxidativa, comportamento térmico e propriedades sensoriais (BEZERRA *et al.*, 2017; DHYANI *et al.*, 2022).

Estudos recentes reforçam a importância dos óleos compostos na indústria de alimentos. Shin, Heo e Lee (2019) demonstraram que óleos compostos com propriedades físicas aprimoradas podem ser aplicados como alimentos funcionais, enquanto Norazlina *et al.* (2021) relataram que misturas de gorduras vegetais, incluindo gorduras de sementes de manga e bambangan, manteigas de karité e kokum, estearina de girassol e frações de óleo de palma, foram eficazes na substituição de gorduras tradicionais em chocolates e confeitos, reduzindo o efeito de *blooming* e melhorando a textura.

Pinheiro, Luzia e Jorge (2022) avaliaram os óleos de soja, coco, girassol e as misturas soja:coco (75:25, v/v) e girassol:coco (75:25, v/v) quanto às propriedades físico-químicas e teor de tocoferóis quando submetidos a 180°C/15 horas, concluindo que os óleos compostos minimizaram a formação de compostos primários e secundários de degradação e reduziram em 40% a formação de compostos polares totais. Adicionalmente, apresentaram maior retenção de tocoferóis totais e vitamina E, evidenciando a aplicação desses óleos compostos em processos que envolvam elevadas temperaturas (PATTNAIK; MISHRA, 2022).

Em outra investigação, Bezerra *et al.* (2017) avaliaram os óleos de pracaxi, maracujá, gordura de cupuaçu e estearina de palma, que foram submetidos às análises físico-químicas e misturados em diferentes proporções para avaliar suas possíveis aplicações na indústria de alimentos. Os resultados sugerem que as misturas deste estudo podem ser aplicadas em margarinas, destacando-se as

misturas de pracaxi-estearina e maracujá-estearina nas proporções 40:60 e 50:50 v/v; pracaxi-cupuaçu nas 60:40 e 70:30 v/v e maracujá- cupuaçu na 40:60 v/v, devido às suas propriedades físico-químicas e térmicas.

Além disso, Veronezi e Jorge (2022b) caracterizaram os óleos de soja, mamão, melão e os compostos soja:mamão (80:20 p/p); soja:melão (80:20 p/p) e soja:mamão:melão (60:20:20 p/p/p) quanto às propriedades físico-químicas e capacidade antioxidante. Averiguaram que o óleo composto soja:mamão:melão, mostrou menores índices de acidez e peróxidos, e se destacou com elevada quantidade de carotenoides e vitamina A. Desta maneira, foi possível verificar grande potencial para o uso das sementes de mamão e melão, a fim de valorizar os resíduos agroindustriais e, principalmente, elevar a estabilidade oxidativa e o valor nutricional do óleo de soja.

Por fim, ensaios clínicos em larga escala conduzidos por Devarajan *et al.* (2016a; 2016b) destacaram os benefícios para a saúde das misturas de óleos. Uma combinação de óleo de farelo de arroz e gergelim (80:20 v/v) foi eficaz na redução da pressão arterial e na melhora do perfil lipídico sanguíneo em hipertensos, além reduzir a hiperglicemia quando utilizado durante o preparo de alimentos e melhorar o perfil lipídico em pacientes com diabetes *mellitus* tipo 2. Esses resultados reforçam o potencial dos óleos compostos como uma ferramenta funcional na promoção da saúde.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAL

4.1.1. Óleos

Os óleos utilizados foram adquiridos no comércio local de São José do Rio Preto, com diferentes características de processamento. O óleo de soja, tipo 1 e refinado, enquanto os óleos de amendoim, farelo de arroz e gergelim, óleos brutos obtidos por prensagem a frio, sem processamento adicional. Esses óleos foram utilizados na formulação de óleos compostos, conforme descrito na Tabela 10 e Figura 6. Em seguida, foram submetidos aos ensaios de termoxidação e estocagem em estufa.

Tabela 10 - Formulação dos óleos compostos.

Abreviações	Óleos	Proporções (p/p)
S	Soja	100:0
A	Amendoim	100:0
FA	Arroz	100:0
G	Gergelim	100:0
SA ₁	Soja:Amendoim	75:25
SFA ₁	Soja:Arroz	75:25
SG ₁	Soja:Gergelim	75:25
SA ₂	Soja:Amendoim	50:50
SFA ₂	Soja:Arroz	50:50
SG ₂	Soja:Gergelim	50:50

Figura 6 - Óleos adquiridos no comércio local: soja (a), tipo 1 e refinado; óleos brutos extraídos por prensagem a frio: amendoim (b), farelo de arroz (c) e gergelim (d).



4.1.2. Termoxidação

Os óleos (160 mL) foram submetidos à termoxidação de modo descontínuo, em dois dias, empregando em cada dia de aquecimento 10 horas contínuas. A termoxidação foi conduzida em chapa aquecida a $180 \pm 5^\circ\text{C}$ com 0,4/cm de superfície/volume (Figuras 7 e 8). Amostras foram tomadas em 0, 10 e 20 horas de aquecimento, armazenadas em frascos de vidro âmbar, inertizadas com nitrogênio gasoso e acondicionadas à temperatura de -18°C até o momento das análises (ácidos graxos livres, peróxidos, *p*-anisidina, valor totox, compostos polares totais, estabilidade oxidativa, compostos fenólicos totais, carotenoides totais e teor de tocoferóis, além da atividade antioxidante por DPPH e FRAP).

Figura 7 - Tratamentos antes do ensaio de termoxidação a 180°C .

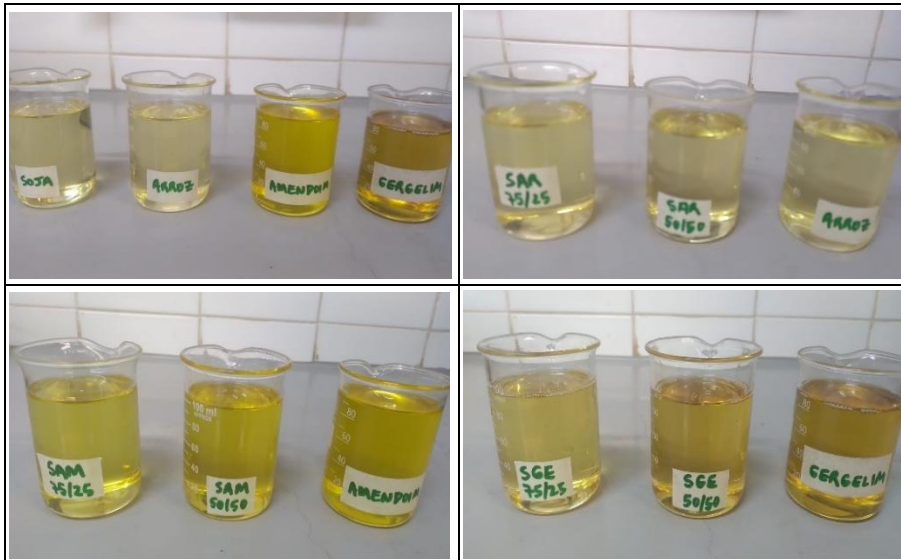


Figura 8 - Tratamentos durante o ensaio de termoxidação a 180°C .



4.1.3. Estocagem acelerada em estufa

Os óleos (200 mL) foram colocados em frascos de vidro âmbar, estocados em estufa com circulação de ar a 60°C (Figura 9) e analisados em 0, 7, 14 e 21 dias de estocagem quanto aos índices de ácidos graxos livres, peróxidos, ácidos dienoicos conjugados, *p*-anisidina, valor tototox, estabilidade oxidativa, compostos fenólicos totais, carotenoides totais e teor de tocoferóis, além da atividade antioxidante por DPPH e FRAP.

Figura 9 - Tratamentos durante o ensaio de estocagem acelerada em estufa a 60°C.



4.2. MÉTODOS

4.2.1. Propriedades físico-químicas

- Ácidos graxos livres, expressos em % de ácido oleico, pelo método Ca 5a-40 proposto pela AOCS (2009);
- Índice de peróxidos, expressos em milequivalentes de oxigênio ativo por quilograma de óleo, conforme o método Cd 8-53 proposto pela AOCS (2009);
- Dienos conjugados, de acordo com o método Ti 1a-64 proposto pela AOCS (2009);
- Índice de *p*-anisidina (IpA), determinado por espectrofotometria a 350 nm, conforme o método Cd 18-90 da AOCS (2009);
- Valor total de oxidação (valor *Totox*), obtido por meio de uma equação matemática que integra os resultados dos índices de peróxidos e *p*-anisidina ($VT = 2 \times (IP) + (IpA)$). Este parâmetro indica a quantidade total de compostos formados durante o processo de autoxidação dos óleos (SHAHIDI, 2005).

- Compostos polares totais, determinação realizada utilizando o sensor do instrumento Testo (270, Testo, Campinas, Brasil), que foi inserido nas amostras dos óleos previamente aquecidos a $90 \pm 5^\circ\text{C}$. A leitura do teor de compostos polares foi exibida no display do aparelho, com o resultado em porcentagem sendo apresentado após 30 segundos de imersão, conforme o indicativo luminoso do dispositivo (OSAWA *et al.*, 2012). Antes da análise, o sensor foi calibrado utilizando óleo fornecido pelo fabricante. Após cada medição, o equipamento foi higienizado com água morna, detergente neutro e devidamente seco.
- Índice de estabilidade oxidativa, expresso em horas, determinado utilizando o equipamento Rancimat a 110°C , com fluxo de ar de 20 L/h, segundo o método Cd 12b-92 proposto pela AOCS (2009);
- Compostos fenólicos totais, extraídos pelo método proposto por Parry *et al.* (2005) e quantificados por espectrofotometria utilizando reagente de Folin-Ciocalteu e curva padrão de ácido gálico conforme método descrito por Singleton e Rossi (1965), sendo expresso em mg/kg;
- Carotenoides totais, segundo metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (2001) e para a quantificação foi utilizado o espectro de absorção UV-visível (350 - 550 nm); sendo expresso em $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ de óleo.
- Teores de tocoferóis, pelo método Ce 8-89 da AOCS (2009). A análise foi realizada em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), com detector de fluorescência. Os valores das concentrações foram calculados em base da área dos picos de excitação da leitura e expressos em valores de cada isômero separadamente. Uma curva padrão de tocoferóis foi elaborada para expressar o teor de tocoferóis em mg/kg;
- Vitamina E, calculada de acordo com o método descrito por McLaughlin e Weihrauch (1979), sendo os fatores de conversão os seguintes: α -tocoferol x 1,0; β -tocoferol x 0,40; γ -tocoferol x 0,10 e δ -tocoferol x 0,01, e o resultado expresso como equivalentes de α -tocoferol (mg/kg).

4.2.2. Atividade antioxidante

- Capacidade de eliminação do radical DPPH*, determinada conforme a metodologia descrita por Kalantzakis *et al.* (2006). O óleo foi diluído em acetato de etila (1:10 v/v) e 1 mL desta solução foi adicionado 4 mL da solução de DPPH (40 $\mu\text{g/mL}$). A

mistura foi agitada imediatamente em agitador de tubos (Vortex, QL 901, Qilinbei instruments manufacture, China) e deixada em repouso à 25°C no escuro por 30 min. Então, foi medida a absorvância a $\lambda = 517$ nm em espectrofotômetro. Além, disso, foi feita uma amostra controle, com acetato de etila e DPPH nas mesmas condições. A capacidade em sequestrar o radical DPPH foi determinada usando a seguinte equação: atividade antioxidante (%) = $[(A_0 - A_1)/A_0] \times 100$, onde A_0 representa a absorvância da amostra controle e A_1 a absorvância da amostra; sendo expresso em percentual de inibição do radical DPPH (%).

- Poder antioxidante de redução do ferro (FRAP), realizado pela metodologia descrita por Szydlowska-Czerniak *et al.* (2008), que é baseada na capacidade dos fenóis em reduzir o complexo Fe^{+3} -TPTZ (férrico tripiridiltriazina) ao complexo Fe^{+2} -TPTZ (ferroso tripiridiltriazina) em pH 3,6. Primeiramente, 20 mg do óleo foram misturados com 1000 μ L de álcool etílico e agitado em agitador de tubos (QL 901, Qilinbei instruments manufacture, China). Então, 2700 μ L do reagente FRAP (25 mL de tampão acetato 0,3 mol/L, pH 3,6; 2,5 mL de solução de 10 mmol do complexo Fe^{+3} -TPTZ em 40 mmol HCl mais 2,5 mL de $FeCl_3 \cdot xH_2O$ a 20 mmol) foi misturado com 90 μ L da amostra e 270 μ L de água destilada. Essa mistura foi mantida por 30 min em banho maria a 37°C e a absorvância foi medida a $\lambda = 595$ nm em espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em μ mol Trolox/100 g.

4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi empregado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (tratamentos x tempos). Os resultados obtidos das determinações analíticas, em duplicata, foram submetidos à análise de variância e as diferenças entre as médias, testadas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, por meio do programa ESTAT, versão 2.0 (BANZATO; KRONKA, 2006).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. TERMOXIDAÇÃO

5.1.1. Propriedades físico-químicas

As análises de variância para ácidos graxos livres, índice de peróxidos, ρ -anisidina, valor totox, compostos polares totais e estabilidade oxidativa dos óleos submetidos à termoxidação estão apresentadas no Apêndice A. Como observado, o teste F foi significativo ($p < 0,01$) para os tratamentos, tempos de aquecimento e suas interações. Dessa forma, procedeu-se ao desdobramento das interações, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 11-15 e Figura 10.

Os ácidos graxos livres são mais sensíveis ao processo de oxidação que os ácidos esterificados ao glicerol, pois estão mais acessíveis (JORGE, 2009; MAMTANI; SHAHBAZ; FARID, 2021). Os resultados da Tabela 11 evidenciam que, com o tempo de exposição à termoxidação, os teores de ácidos graxos livres em alguns óleos, como soja, amendoim, arroz, SFA₁, SG₁ e SG₂, apresentaram aumento, enquanto SA₁ e SFA₂ permaneceram estáveis. Já os óleos de gergelim e SA₂ apresentaram variações ao longo do aquecimento. Essas alterações ocorrem porque a termoxidação degrada os ácidos graxos, levando à formação de ácidos graxos livres, processo diretamente relacionado ao desenvolvimento de reações hidrolíticas no óleo (CHERIF; SLAMA, 2022).

Com base na legislação brasileira e nas diretrizes do *Codex Alimentarius* (2023), os teores de ácidos graxos livres são indicadores críticos da qualidade do óleo, com limites máximos estabelecidos para garantir a segurança alimentar. Para óleos e gorduras refinados, o limite é estabelecido em 0,6 mg KOH/g de óleo (0,3% de acidez), e para óleos prensados a frio e não refinados, o limite pode ser mais elevado, de 4,0 mg KOH/g de óleo (2% de acidez) (BRASIL, 2021b).

Os óleos de soja, arroz, SA₁, SFA₁ e SFA₂ destacaram-se por manter baixos teores de ácidos graxos livres, sem diferenças significativas entre si, indicando uma maior resistência inicial à degradação hidrolítica. O óleo de gergelim, por sua vez, apresentou elevados teores de ácidos graxos livres desde o início, mas esses valores se mantiveram relativamente estáveis ao longo do aquecimento. Isso indica que, embora o óleo de gergelim tenha iniciado com acidez superior ao limite estabelecido, ele não sofreu aumento expressivo com o tempo de exposição térmica. Tal

comportamento não confirma, por si só, uma menor estabilidade oxidativa, possivelmente relacionada ao método de extração ou características intrínsecas do óleo. Estudos recentes reforçam que a estabilidade de óleos como o de gergelim é influenciada por múltiplos fatores, como o perfil de ácidos graxos e a presença de antioxidantes naturais (GHOSH *et al.*, 2019; ALY *et al.*, 2021).

Tabela 11 - Teores de ácidos graxos livres (% oleico) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
S	0,17 ± 0,00 ^{bF}	0,19 ± 0,02 ^{bF}	0,33 ± 0,01 ^{aE}
A	0,48 ± 0,02 ^{aD}	0,59 ± 0,01 ^{aD}	0,53 ± 0,03 ^{aD}
FA	0,20 ± 0,02 ^{aEF}	0,20 ± 0,01 ^{aF}	0,25 ± 0,01 ^{aE}
G	3,04 ± 0,02 ^{aA}	3,08 ± 0,01 ^{aA}	2,52 ± 0,03 ^{bA}
SA₁	0,31 ± 0,01 ^{aEF}	0,28 ± 0,02 ^{aEF}	0,31 ± 0,01 ^{aE}
SFA₁	0,17 ± 0,01 ^{bF}	0,28 ± 0,01 ^{abEF}	0,33 ± 0,01 ^{aE}
SG₁	0,78 ± 0,01 ^{bC}	0,84 ± 0,00 ^{bC}	1,19 ± 0,12 ^{aC}
SA₂	0,36 ± 0,01 ^{bDE}	0,37 ± 0,03 ^{bE}	0,54 ± 0,03 ^{aD}
SFA₂	0,19 ± 0,01 ^{aF}	0,25 ± 0,03 ^{aEF}	0,31 ± 0,01 ^{aE}
SG₂	1,25 ± 0,01 ^{cB}	1,40 ± 0,01 ^{bB}	1,90 ± 0,01 ^{aB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

A composição de ácidos graxos é um fator determinante na estabilidade oxidativa dos óleos vegetais. Rodríguez-Blázquez *et al.* (2023) demonstraram que a estabilidade oxidativa dos óleos de sementes de *Prunus* é positivamente correlacionada com o conteúdo de ácido oleico e negativamente correlacionada com o conteúdo de ácido linoleico. Esses resultados reforçam a importância de uma composição balanceada de ácidos graxos para melhorar a resistência à oxidação dos óleos vegetais.

Os óleos SG₁ e SG₂ apresentaram aumento nos teores de ácidos graxos livres, sendo que SG₂ registrou valores mais acentuados, destacando-se como o menos estável dentre os óleos compostos analisados. Isso indica que a adição de gergelim ao óleo de soja não favoreceu a estabilidade oxidativa em termos de ácidos graxos

livres, corroborando com Khakbaz Heshmati *et al.* (2022), ao observarem que misturas com altos teores de gergelim tendem a oxidar de maneira mais rápida. Embora o óleo de gergelim seja reconhecido por seu teor de ácidos graxos monoinsaturados, que podem favorecer a estabilidade oxidativa, sua elevada concentração de poli-insaturados, como ácido linoleico, contribui para sua maior susceptibilidade à oxidação (MASZEWSKA *et al.*, 2018).

Em contrapartida, o óleo de amendoim e suas formulações (SA₁ e SA₂) mostraram maior estabilidade, com pequenas variações nos teores de ácidos graxos livres ao longo do aquecimento. Essa estabilidade pode ser atribuída à presença de antioxidantes naturais no óleo de amendoim, que retardam os processos oxidativos, conforme observado por Ramroudi *et al.* (2022) e Uguru *et al.* (2023), durante as 20 horas de termoxidação, a formulação SA₁ manteve-se estável, sem mudanças significativas nos teores de ácidos graxos livres. No óleo composto SA₂, houve um aumento estatisticamente significativo, indicando que a adição de 25% de óleo de amendoim ao óleo de soja (SA₁) não provocou um aumento significativo na hidrólise dos triacilgliceróis ao longo do período observado. Em contrapartida, uma proporção maior de óleo de amendoim na formulação (SA₂) tem potencial para contribuir para uma maior susceptibilidade à oxidação.

De maneira semelhante ao óleo de amendoim, o óleo de farelo de arroz e suas formulações (SFA₁ e SFA₂) demonstraram boa estabilidade ao longo do aquecimento, com variações mínimas nos teores de ácidos graxos livres. Embora SFA₁ tenha apresentado aumento moderado em 20 horas de termoxidação, essa variação não foi estatisticamente significativa, indicando manutenção da estabilidade, assim como SFA₂ também se manteve estável ao longo do período. Isso sugere que a maior proporção de óleo de arroz na formulação pode contribuir para a resistência à oxidação.

De maneira geral, os dados indicam que as misturas de óleos de soja com amendoim e arroz, são mais eficazes em retardar a rancidez hidrolítica, enquanto a adição de óleo de gergelim resultou em teores mais elevados de ácidos graxos livres desde o início, embora esses valores tenham se mantido relativamente estáveis ao longo do aquecimento. Esse comportamento pode estar relacionado à composição inicial do óleo de gergelim e está alinhado com dados da literatura, que discutem a influência da composição lipídica na estabilidade oxidativa de óleos vegetais

compostos (HUSSAIN *et al.*, 2018; GHOSH *et al.*, 2019; ALY *et al.*, 2021; RAMROUDI *et al.*, 2022).

De acordo com o *Codex Alimentarius* (2023), limites são estabelecidos para índices de peróxidos de 10 e 15 meq O₂/kg para óleos refinados e brutos, respectivamente. Conforme a Tabela 12, observa-se que os óleos apresentaram diferentes padrões nos índices de peróxidos ao longo do aquecimento. Enquanto soja, amendoim, SFA₁ e SFA₂ permaneceram estáveis, os óleos de arroz, gergelim, SA₁ e SA₂ apresentaram aumento progressivo. Já SG₁ e SG₂ exibiram oscilações, sugerindo equilíbrio entre a formação e a decomposição dos peróxidos. Os óleos puros de soja, amendoim e arroz mantiveram seus índices de peróxidos dentro dos limites ao longo de todo o processo de termoxidação, enquanto o óleo de gergelim ultrapassou a partir de 10 horas, chegando a aumentar aproximadamente 4 vezes seu teor inicial e apresentando os maiores índices de peróxidos em todos os tempos.

Tabela 12 - Índice de peróxidos (meq/kg) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
S	2,78 ± 0,17 ^{aE}	4,99 ± 0,34 ^{aD}	5,31 ± 0,17 ^{aBC}
A	3,98 ± 0,18 ^{aCDE}	5,72 ± 0,00 ^{aD}	5,67 ± 0,00 ^{aBC}
FA	7,56 ± 0,17 ^{aBC}	5,34 ± 0,16 ^{abD}	3,16 ± 0,01 ^{bC}
G	14,51 ± 0,11 ^{cA}	55,28 ± 4,09 ^{bA}	58,89 ± 1,38 ^{aA}
SA₁	1,49 ± 0,8 ^{bE}	4,15 ± 0,29 ^{aD}	5,76 ± 0,20 ^{aBC}
SFA₁	3,38 ± 0,02 ^{aDE}	5,69 ± 0,01 ^{aD}	3,97 ± 0,48 ^{aC}
SG₁	7,92 ± 0,22 ^{bB}	15,27 ± 2,00 ^{aC}	5,63 ± 0,10 ^{bBC}
SA₂	2,09 ± 0,32 ^{bE}	4,36 ± 0,02 ^{abD}	5,33 ± 0,44 ^{aBC}
SFA₂	7,43 ± 0,37 ^{aBC}	6,13 ± 0,20 ^{aD}	5,45 ± 0,31 ^{aBC}
SG₂	6,86 ± 0,34 ^{bBCD}	30,09 ± 2,00 ^{aB}	7,90 ± 0,34 ^{bB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Entre os óleos puros, o de gergelim apresentou os maiores índices de peróxidos ao longo de toda a termoxidação, com aumento expressivo desde o início do aquecimento até o final do experimento. O óleo de arroz, apesar de iniciar com

valores elevados, apresentou redução ao longo do tempo, sugerindo decomposição parcial dos peróxidos. O óleo de amendoim manteve valores intermediários, sem grandes variações. Já o óleo de soja exibiu os menores índices de peróxidos, possivelmente devido ao processo de refino, que remove impurezas e compostos pró-oxidantes, contribuindo para a menor formação de peróxidos na fase inicial da oxidação (MARTIN-RUBIO; SOPELANA; GUILLÉN, 2020).

Entre os óleos compostos, SFA₁ destacou-se por apresentar os menores índices de peróxidos ao final do experimento, enquanto SA₁, SG₁, SA₂ e SFA₂ não diferiram estatisticamente. Já SG₂, apresentou-se com maior formação de peróxidos e maior susceptibilidade à oxidação, possivelmente devido à influência do óleo de gergelim na formulação e sua composição rica em ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido linoleico (LEE *et al.*, 2017; NGASSAPA; MWAISAKA; NYANDORO, 2017; PATTNAIK; MISHRA, 2021; AL AMIN *et al.*, 2023).

Os óleos compostos SG₁ e SG₂ apresentaram picos elevados de peróxidos nas primeiras horas, seguidos por uma redução, indicando possível decomposição de peróxidos acumulados (VERGARA *et al.*, 2006; SALAHELDEEN; SATTI; AWADALLAH, 2019). Esse comportamento, esperado em produtos primários da oxidação, reflete a interação entre os componentes dos óleos compostos e a influência de antioxidantes naturais presentes especialmente nas formulações SG₁ e SG₂ (KAVUNCUOGLU *et al.*, 2017; GHOSH *et al.*, 2019).

A inclusão de antioxidantes naturais, como β -caroteno, sesamol e ácido cafeico, mostrou-se uma alternativa eficaz para reduzir a formação de peróxidos e prolongar a estabilidade oxidativa dos óleos compostos (WANG *et al.*, 2024a). Estudos indicam que a combinação de antioxidantes pode melhorar significativamente a estabilidade oxidativa, além de reduzir os impactos da oxidação em óleos ricos em ácidos graxos poli-insaturados, como os óleos de soja e gergelim (HUSSAIN *et al.*, 2018; PATTNAIK; MISHRA, 2021; RAMROUDI *et al.*, 2022).

De maneira geral, os dados indicam que a termoxidação levou ao aumento dos índices de peróxidos, com variações dependentes da composição dos óleos e de suas formulações. Entre os óleos compostos, SFA₁ demonstrou a maior estabilidade, apresentando os menores índices de peróxidos ao final do experimento. Em contrapartida, SG₂ apresentou o maior valor entre os óleos compostos, indicando maior susceptibilidade à oxidação, embora ainda inferiores ao óleo de gergelim puro,

que teve os piores resultados. Esses achados reforçam a importância da composição lipídica e da presença de antioxidantes naturais, evidenciando a necessidade de estratégias para prolongar a vida útil dos óleos compostos, como a adição de antioxidantes naturais ou sintéticos.

Os produtos oriundos da oxidação inicial podem ser degradados ou polimerizados, formando produtos secundários da oxidação. Quando o valor do índice de ρ -anisidina - que mede os produtos secundários - for inferior a 10, este pode ser considerado um óleo de boa qualidade (GUILLÉN; CABO, 2002). Na Tabela 13 são apresentados os índices de ρ -anisidina dos óleos submetidos à termoxidação.

Tabela 13 - Índice de ρ -anisidina dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
S	3,58 ± 0,02 ^{cBC}	44,85 ± 3,46 ^{bCD}	55,78 ± 1,43 ^{aA}
A	2,56 ± 0,02 ^{cBC}	41,57 ± 0,70 ^{bDE}	48,58 ± 1,41 ^{aBC}
FA	7,93 ± 0,01 ^{cA}	40,53 ± 1,60 ^{bEF}	52,81 ± 2,46 ^{aA}
G	0,06 ± 0,01 ^{aC}	0,08 ± 0,02 ^{aG}	0,13 ± 0,02 ^{aD}
SA₁	2,85 ± 0,01 ^{cBC}	48,97 ± 0,78 ^{bABC}	52,48 ± 1,05 ^{aAB}
SFA₁	3,44 ± 0,01 ^{cBC}	46,88 ± 0,95 ^{bBC}	54,72 ± 0,01 ^{aA}
SG₁	3,73 ± 0,02 ^{cBC}	36,5 ± 0,88 ^{bF}	45,27 ± 0,01 ^{aC}
SA₂	3,2 ± 0,02 ^{bBC}	50,77 ± 0,03 ^{aAB}	52,79 ± 0,98 ^{aA}
SFA₂	4,77 ± 0,01 ^{bAB}	52,69 ± 0,02 ^{aA}	54,68 ± 0,01 ^{aA}
SG₂	5,66 ± 0,02 ^{cAB}	41,87 ± 0,01 ^{bDE}	45,61 ± 0,01 ^{aC}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

O óleo de arroz apresentou o maior índice de ρ -anisidina no início do experimento, enquanto o óleo de gergelim destacou-se por um valor aproximadamente 132 vezes menor, refletindo menor acúmulo de compostos secundários da oxidação. O óleo de amendoim, por sua vez, apresentou valores intermediários, sem grandes variações no início do aquecimento. Mesmo em 20 horas, o óleo de gergelim manteve os menores índices, permanecendo abaixo de 10 e preservando sua qualidade.

Ao longo do aquecimento, os valores de ρ -anisidina aumentaram para a maioria dos óleos, evidenciando o acúmulo de compostos secundários da oxidação. No entanto, o óleo de gergelim permaneceu estável, sem variações significativas durante o período analisado. No entanto, as formulações contendo amendoim (SA₁ e SA₂) apresentaram valores intermediários, indicando que sua inclusão não impediu totalmente a formação de compostos secundários, mas também não acelerou significativamente a degradação oxidativa.

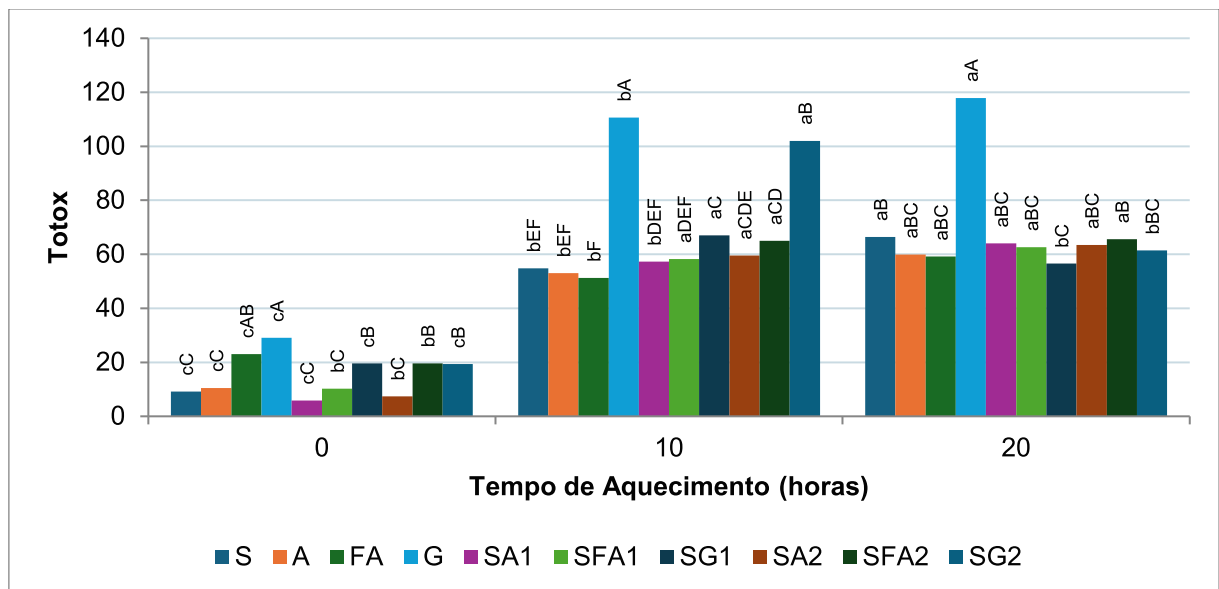
Entre os óleos compostos analisados, SG₁ e SG₂ destacaram-se por apresentarem os menores valores de ρ -anisidina ao final do experimento. Estudos recentes apontam o óleo de gergelim como um potencial agente antioxidante em óleos compostos, em função da presença de lignanas, como sesamina e sesamolina, conhecidas por sua capacidade de atuar sinergicamente na inibição de processos oxidativos (ARAB *et al.*, 2022). Esses compostos têm demonstrado reduzir a formação de produtos secundários da oxidação, como aldeídos e cetonas, contribuindo para uma maior estabilidade oxidativa em determinadas condições e proporções (AL AMIN *et al.*, 2023; OBOULBIGA *et al.*, 2023). No entanto, os resultados observados neste estudo sugerem que esse efeito pode ser limitado por outros fatores, como o perfil de ácidos graxos da mistura e a proporção de óleo de gergelim utilizada, sendo necessários estudos adicionais para elucidar o real impacto da sua adição em diferentes matrizes oleosas.

Shahidi e Ambigaipalan (2018) ressaltaram que óleos com altos teores de antioxidantes naturais oferecem maior estabilidade oxidativa, retardando a formação de compostos secundários. Machado e Rodriguez-Alcalá (2023) também exploraram o efeito sinérgico de antioxidantes naturais presentes em diferentes óleos vegetais, evidenciando o aumento na resistência à oxidação e, conseqüentemente, a diminuição dos valores de ρ -anisidina durante o aquecimento. Além disso, Kmiecik *et al.* (2022) e Al Amin *et al.* (2023) confirmaram que combinações de óleos potencializam as propriedades antioxidantes, reduzindo significativamente os produtos secundários da oxidação, como aldeídos.

Esses achados destacam a eficácia do óleo de gergelim como componente antioxidante em óleos compostos, não apenas reduzindo os valores de ρ -anisidina, mas melhorando a estabilidade oxidativa e prolongando a vida de prateleira de produtos alimentícios processados.

O valor Totox (Valor Total de Oxidação) é a combinação entre o valor de índices de peróxidos e ρ -anisidina. Esta combinação permite correlacionar o nível de peróxidos, que representa o potencial de degradação da qualidade sensorial, e os aldeídos, representativos do estado de deterioração efetivo. Valores Totox inferiores a 10 indicam boa conservação da matéria graxa (METZNER-UNGUREANU *et al.*, 2020). Conforme apresentado na Figura 10, no tempo inicial apenas o óleo puro de soja e os compostos SA₁ e SA₂ apresentaram valores inferiores a 10.

Figura 10 - Valor total de oxidação (Totox) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.



S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Para cada tratamento, as médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Para cada tempo de aquecimento, médias seguidas das mesmas letras maiúsculas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Em relação ao comportamento dos óleos ao longo do tempo, os óleos puros de soja, amendoim, arroz, gergelim e a mistura SA₁ apresentaram aumento progressivo nos valores de Totox, refletindo o acúmulo de produtos oxidativos primários e secundários. Esse comportamento é consistente com estudos como o de Zaunschirm *et al.* (2018), que demonstram o impacto do aquecimento na formação de aldeídos e peróxidos.

Já os óleos compostos SFA₁, SA₂ e SFA₂ demonstraram maior estabilidade inicial, mantendo níveis intermediários de Totox em 10 horas e estabilizando nos períodos subsequentes. Essa estabilização sugere uma interação positiva entre os

componentes desses óleos compostos, reduzindo a formação contínua de produtos oxidativos, o que está alinhado com estudos que destacam os efeitos benéficos das combinações de antioxidantes naturais (WEN *et al.*, 2020; RAMROUDI *et al.*, 2022).

Os óleos compostos SG₁ e SG₂ exibiram um comportamento distinto. Começaram com baixos valores de Totox, aumentaram rapidamente em 10 horas e, posteriormente, reduziram em 20 horas. Essa redução pode ser explicada pela decomposição parcial dos peróxidos acumulados nos estágios iniciais da oxidação, como sugerido por Salaheldeen, Satti e Awadallah (2019), que destacam a dinâmica de formação e decomposição de compostos primários da oxidação.

Em relação ao comportamento dos óleos no tempo inicial, o óleo de gergelim apresentou os maiores valores de Totox, seguido pelo óleo de arroz. Além disso, SG₁, SG₂ e SFA₂ também tiveram níveis elevados nesse estágio, reforçando a susceptibilidade oxidativa desses óleos. Os óleos puros de soja, amendoim e as misturas SA₁, SFA₁ e SA₂ registraram os menores valores, indicando maior estabilidade inicial, como observado por Kamal-Eldin (2006), que destacou o papel protetor dos antioxidantes naturais presentes em óleos vegetais, como os tocoferóis no óleo de soja, os polifenóis no óleo de amendoim e o γ -orizanol no óleo de arroz.

Em 10 horas, o óleo de gergelim manteve os maiores valores de Totox, seguido por SG₂. Em contrapartida, o óleo de arroz registrou o menor valor nesse intervalo, destacando-se como o mais estável. Essa maior estabilidade pode estar relacionada à presença de antioxidantes naturais, como γ -orizanol e tocoferóis, que retardam a formação de produtos da oxidação lipídica, como hidroperóxidos e aldeídos, resultantes da degradação de ácidos graxos insaturados (ZAUNSCHIRM *et al.*, 2018). Outros óleos com baixos teores de Totox incluíram soja, amendoim, SA₁ e SFA₁, que também demonstraram maior resistência à oxidação nesse período.

Em 20 horas de aquecimento, o óleo de gergelim manteve os maiores valores de Totox, seguido por SFA₂ e soja. Em contrapartida, SG₁ registrou o menor teor ao final do experimento, acumulando menos produtos oxidativos. Essa maior estabilidade destacam a relevância de desenvolver formulações equilibradas em óleos compostos, visando retardar a oxidação e melhorar a estabilidade oxidativa durante o aquecimento prolongado (GHOSH *et al.*, 2019).

A análise do valor Totox demonstrou variações entre os óleos avaliados, evidenciando a influência da composição e do tempo de aquecimento na estabilidade

oxidativa. Entre os óleos compostos, SG₁ destacou-se como a formulação mais estável ao final do experimento, apresentando os menores índices de oxidação. Esse resultado indica que a adição de 25% de óleo de gergelim ao óleo de soja melhorou sua estabilidade oxidativa, reduzindo a formação de produtos oxidativos em comparação ao óleo de soja puro. Esses achados reforçam a importância de formulações balanceadas para minimizar a degradação oxidativa, contribuindo para a maior estabilidade e vida útil dos óleos sob condições de aquecimento prolongado.

Nos dados apresentados na Tabela 14 estão apresentados a evolução dos compostos polares totais (%) em diferentes óleos submetidos à termoxidação ao longo de 20 horas. Os compostos polares totais são indicadores importantes da degradação dos óleos durante o aquecimento, sendo diretamente relacionados à formação de produtos de oxidação (WEI *et al.*, 2023). Observa-se que todos os óleos estudados apresentaram um aumento nos teores de compostos polares com o decorrer do tempo de aquecimento, refletindo a degradação oxidativa dos óleos. Este aumento está de acordo com a literatura, que também observa uma elevação nos teores de compostos polares totais em óleos submetidos a altas temperaturas, indicando a degradação dos ácidos graxos insaturados, especialmente os poli-insaturados, como o ácido linoleico e α -linolênico, que são mais suscetíveis à oxidação térmica, resultando na formação de compostos polares (POP; SEMENIUC, 2022).

De acordo com o Informe Técnico nº 11, de 5 de outubro de 2004, da ANVISA, o limite máximo recomendado para compostos polares totais em óleos submetidos ao aquecimento é de 25% (BRASIL, 2004). Ao final das 20 horas de termoxidação, o óleo de soja ultrapassou esse limite, evidenciando um nível de degradação oxidativa que compromete sua qualidade e segurança para o consumo. Esse parâmetro é amplamente aceito por legislações internacionais e respaldado por estudos como o de Li *et al.* (2022), que reforçam o uso dos compostos polares totais como indicador confiável da deterioração de óleos durante o aquecimento prolongado.

Inicialmente, os óleos de amendoim e a formulação SA₂ apresentaram os menores teores de compostos polares totais, indicando maior estabilidade oxidativa no início do experimento. Por outro lado, SFA₂ e SG₂ registraram os maiores valores, sugerindo uma maior susceptibilidade à degradação térmica desde as primeiras horas de aquecimento. Em 20 horas de aquecimento, os óleos de amendoim, gergelim, arroz, SA₂ e SA₁ apresentaram os menores teores de compostos polares totais,

indicando uma menor degradação térmica, que pode estar relacionada à presença de antioxidantes naturais e à composição lipídica dessas amostras, especialmente no que diz respeito ao grau de insaturação e ao tamanho das cadeias carbônicas dos ácidos graxos. Ácidos graxos saturados tendem a ser mais estáveis ao calor, enquanto os poli-insaturados, como o ácido linoleico, são mais suscetíveis à degradação térmica.

Tabela 14 - Compostos polares totais (%) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
S	7,00 ± 0,01 ^{cB}	24,50 ± 0,02 ^{bB}	39,00 ± 0,01 ^{aA}
A	2,50 ± 0,01 ^{cF}	13,50 ± 0,01 ^{bl}	18,50 ± 0,02 ^{aH}
FA	6,00 ± 0,01 ^{cD}	14,00 ± 0,01 ^{bH}	21,00 ± 0,02 ^{aF}
G	7,00 ± 0,01 ^{cB}	16,25 ± 0,12 ^{bG}	20,50 ± 0,02 ^{aG}
SA₁	6,50 ± 0,02 ^{cC}	17,50 ± 0,01 ^{bF}	28,50 ± 0,02 ^{aD}
SFA₁	7,00 ± 0,01 ^{cB}	21,50 ± 0,01 ^{bC}	30,25 ± 0,12 ^{aB}
SG₁	7,00 ± 0,01 ^{cB}	20,00 ± 0,01 ^{bE}	29,50 ± 0,01 ^{aC}
SA₂	5,00 ± 0,01 ^{bE}	26,00 ± 0,01 ^{aA}	26,00 ± 0,01 ^{aE}
SFA₂	7,50 ± 0,01 ^{cA}	21,50 ± 0,01 ^{bC}	29,50 ± 0,01 ^{aC}
SG₂	7,25 ± 0,12 ^{cAB}	21,00 ± 0,02 ^{bD}	29,50 ± 0,01 ^{aC}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

O óleo de amendoim, por exemplo, contém tocoferóis e compostos fenólicos que retardam a oxidação (ANANTH *et al.*, 2019). Já o óleo de farelo de arroz é rico em γ -orizanól e fitoesteróis, que possuem propriedades antioxidantes e auxiliam na estabilidade térmica dos lipídios (ZHOU *et al.*, 2022). Além disso, a menor degradação dos compostos polares nas misturas SA₂ e SA₁ pode estar associada à sinergia entre os componentes dos óleos, favorecendo uma menor formação de compostos polares devido à proteção conferida pelos antioxidantes naturais presentes (WANG, 2024a).

Por outro lado, os óleos de soja, SFA₁, SG₁, SFA₂ e SG₂ apresentaram os maiores teores de compostos polares totais, indicando uma maior degradação oxidativa. Esse resultado pode ser explicado pelo alto teor de ácidos graxos poli-

insaturados, especialmente ácido linoleico, que é mais suscetível à oxidação térmica (CHEN; SUN, 2023). Além disso, estudos apontam que a degradação de óleos ricos em poli-insaturados ocorre de maneira acelerada sob altas temperaturas, levando ao aumento na formação de produtos polares secundários (CHEN *et al.*, 2021). Assim, a maior susceptibilidade dessas formulações pode ser atribuída à composição dos ácidos graxos e à menor presença de antioxidantes naturais, resultando em uma oxidação mais intensa e na formação de compostos polares ao longo do aquecimento.

Estudos recentes indicam que os compostos polares totais são um indicador confiável da degradação dos óleos durante a termoxidação. Por exemplo, Liu *et al.* (2023b) demonstraram que os teores de compostos polares aumentam linearmente com o tempo de aquecimento, especialmente em óleos ricos em ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido linoleico, que são mais suscetíveis à oxidação. Chen e Sun (2023) revisaram como a degradação térmica durante o armazenamento e processamento dos óleos leva à formação de compostos polares, afetando a qualidade e estabilidade do óleo. Kreps *et al.* (2017b) também destacaram que a formação de compostos polares aumenta significativamente durante o aquecimento prolongado dos óleos, corroborando com os dados apresentados no presente estudo.

Ju *et al.* (2019) avaliaram os efeitos tóxicos dos compostos polares totais de óleos de fritura, relatando que esses compostos podem aumentar o estresse oxidativo e a toxicidade em linhagem de células tumorais hepáticas humanas (HepG₂). O estudo também identificou uma diminuição na taxa de sobrevivência celular e aumento na deposição de lipídios, reforçando a necessidade de monitoramento desses compostos em óleos aquecidos. Yuan *et al.* (2020) relataram efeitos adversos semelhantes em óleos de fritura, destacando que os compostos polares podem alterar o metabolismo lipídico e prejudicar o metabolismo energético. Tais evidências são compatíveis com os resultados obtidos neste estudo, que mostraram um aumento progressivo nos teores de compostos polares totais durante a termoxidação, especialmente no óleo de soja, indicando potencial acúmulo de produtos oxidativos com implicações para a qualidade e segurança do óleo.

A análise dos compostos polares totais mostrou que todos os óleos compostos apresentaram melhor estabilidade oxidativa em comparação ao óleo de soja puro, que registrou os maiores teores ao final das 20 horas de aquecimento. Amendoim, gergelim, arroz, SA₂ e SA₁ destacaram-se com os menores índices, indicando maior

resistência à degradação. Já as formulações SFA₁, SG₁, SFA₂ e SG₂, apesar de terem acumulado mais compostos polares, ainda foram mais estáveis que o óleo de soja. Esses achados reforçam o potencial dos óleos compostos na melhoria da estabilidade oxidativa do óleo de soja.

Determinar a resistência de óleos e gorduras à oxidação é uma análise complexa e demorada quando realizada em temperatura ambiente. Assim, vários métodos acelerados empregando altas temperaturas e fornecimento de fluxo de ar foram desenvolvidos para avaliar a estabilidade oxidativa em um período relativamente curto. Por esse fato e pela facilidade de uso e reprodutibilidade, o teste Rancimat tem sido amplamente utilizado. Neste teste, a estabilidade do óleo é determinada pelo período de indução que antecede a oxidação lipídica (BIELECKA *et al.*, 2023). Na Tabela 15 pode-se observar os índices de estabilidade oxidativa (h) dos óleos submetidos à termoxidação. Observa-se que todos apresentaram redução nos índices ao longo do aquecimento, indicando uma degradação oxidativa progressiva.

Tabela 15 - Índice de estabilidade oxidativa (h) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
S	7,14 ± 0,03 ^{aD}	2,18 ± 0,02 ^{bC}	1,49 ± 0,02 ^{cBC}
A	10,2 ± 0,12 ^{aA}	1,57 ± 0,02 ^{bD}	0,84 ± 0,01 ^{cE}
FA	5,64 ± 0,01 ^{aF}	3,37 ± 0,01 ^{bA}	2,3 ± 0,02 ^{cA}
G	1,91 ± 0,01 ^{aI}	0,18 ± 0,01 ^{bG}	0,18 ± 0,01 ^{bG}
SA₁	8,12 ± 0,01 ^{aC}	2,6 ± 0,01 ^{bB}	1,18 ± 0,01 ^{cD}
SFA₁	6,64 ± 0,02 ^{aE}	2,8 ± 0,01 ^{bB}	1,45 ± 0,01 ^{cBCD}
SG₁	4,46 ± 0,02 ^{aG}	0,99 ± 0,01 ^{bE}	0,7 ± 0,01 ^{cEF}
SA₂	8,86 ± 0,01 ^{aB}	2,18 ± 0,01 ^{bC}	1,22 ± 0,02 ^{cCD}
SFA₂	6,34 ± 0,04 ^{aE}	2,61 ± 0,01 ^{bB}	1,73 ± 0,02 ^{cB}
SG₂	3,59 ± 0,02 ^{aH}	0,56 ± 0,02 ^{bF}	0,51 ± 0,02 ^{bF}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Entre os óleos puros analisados, destacou-se o óleo de amendoim (A), que inicialmente apresentou o maior índice de estabilidade oxidativa (10,2 h),

corroborando com os estudos de Zufarov e Serkayev (2023), que atribuíram essa resistência ao seu perfil de ácidos graxos monoinsaturados e presença de antioxidantes naturais. Em contrapartida, o óleo de gergelim (G) apresentou os menores índices em todos os tempos avaliados. Este comportamento pode ser atribuído aos elevados índices de ácidos graxos livres, peróxidos e totos, que são indicativos de maior suscetibilidade à degradação oxidativa, como também apontado na literatura (SYMONIUK *et al.*, 2022a).

Entre os óleos compostos analisados, as formulações com óleo de amendoim e arroz apresentaram os melhores resultados. As formulações SA₁ e SA₂ exibiram altos índices de estabilidade oxidativa no início do experimento, com SA₂ demonstrando um desempenho superior a SA₁. Apesar da redução observada em ambos ao longo do aquecimento, destaca-se que SFA₂ apresentou o melhor desempenho em 20 horas, mantendo um índice de estabilidade maior que SA₂. Esse comportamento destaca o papel dos compostos fenólicos e tocoferóis presentes no óleo de arroz na melhoria da estabilidade oxidativa (Zhao *et al.*, 2019). Em contrapartida, as formulações SG₁ e SG₂ apresentaram desempenho inferior, com índices de estabilidade drasticamente reduzidos ao longo do tempo de aquecimento, reforçando que o óleo de gergelim, apesar de suas propriedades benéficas em outras aplicações, é mais suscetível à degradação oxidativa em condições de altas temperaturas.

Esses resultados estão alinhados com os estudos de Bordón *et al.* (2019), Dhyani *et al.* (2022) e Ramroudi *et al.* (2022), que evidenciam a importância da combinação de óleos para criar formulações mais estáveis. Além disso, reforçam a necessidade de estudar as interações entre os componentes dos óleos compostos para otimizar suas propriedades oxidativas e atender demandas alimentícias e industriais.

Os dados obtidos sugerem que os óleos compostos com arroz possuem maior potencial para aplicações em produtos que exigem maior resistência oxidativa, especialmente sob condições de altas temperaturas. Já os óleos compostos contendo amendoim apresentaram boa estabilidade inicial, mas sofreram maior degradação ao longo do tempo. As formulações com gergelim, por sua vez, demandam ajustes nas proporções ou estratégias adicionais, como o uso de antioxidantes, para melhorar a estabilidade oxidativa.

As análises de variância para compostos fenólicos e carotenoides totais dos óleos submetidos à termoxidação estão apresentadas no Apêndice B. Como observado, o teste F foi significativo ($p < 0,01$) para os tratamentos, tempos de aquecimento e suas interações. Dessa forma, procedeu-se ao desdobramento das interações, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 16 e 17.

Observa-se na Tabela 16 que, ao longo do processo de termoxidação, os teores de compostos fenólicos totais apresentaram diferentes comportamentos entre os tratamentos. Enquanto, os óleos de soja, arroz, SA₁, SFA₁ e SG₁ demonstraram aumento nos teores de compostos fenólicos, os óleos de amendoim e SA₂ apresentaram redução ao longo do tempo. Já as amostras de gergelim, SFA₂ e SG₂ exibiram variações nos teores de compostos fenólicos totais ao longo da termoxidação, alternando entre aumentos e reduções. Esse comportamento pode estar relacionado à degradação e à conversão de compostos fenólicos e antioxidantes durante o aquecimento, podendo resultar tanto na liberação quanto na degradação desses compostos (FREITAS *et al.*, 2017; ABRIL *et al.*, 2019).

Tabela 16 - Compostos fenólicos totais (mg/kg) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
S	122,69 ± 2,50 ^{cE}	162,37 ± 7,04 ^{bD}	189,56 ± 3,00 ^{aCD}
A	136,12 ± 9,55 ^{aD}	142,37 ± 2,52 ^{aE}	101,44 ± 3,12 ^{bG}
FA	89,56 ± 0,78 ^{cG}	127,06 ± 0,78 ^{bF}	155,50 ± 4,87 ^{aF}
G	175,19 ± 3,12 ^{cB}	217,06 ± 0,78 ^{aB}	198,00 ± 1,77 ^{bBC}
SA₁	147,37 ± 0,20 ^{bC}	175,81 ± 7,03 ^{aC}	181,12 ± 0,20 ^{aDE}
SFA₁	110,18 ± 7,03 ^{bF}	173,00 ± 9,59 ^{aC}	175,50 ± 1,77 ^{aE}
SG₁	173,00 ± 0,19 ^{bB}	178,00 ± 2,31 ^{bC}	226,12 ± 1,75 ^{aA}
SA₂	121,75 ± 0,19 ^{aE}	121,75 ± 1,77 ^{aF}	66,12 ± 0,20 ^{bH}
SFA₂	224,25 ± 4,87 ^{aA}	158,94 ± 3,12 ^{cD}	178,93 ± 7,03 ^{bE}
SG₂	143,00 ± 1,77 ^{cCD}	270,18 ± 6,34 ^{aA}	201,43 ± 0,78 ^{bB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Inicialmente, a formulação SFA₂ destacou-se com maior concentração de compostos fenólicos (224,25 mg/kg), seguida pelos óleos de gergelim (175,19 mg/kg) e SG₁ (173,00 mg/kg), possivelmente devido à presença natural de antioxidantes fenólicos característicos de suas composições. Em contrapartida, o óleo de arroz registrou o menor teor inicial (89,56 mg/kg), seguido por soja e SA₂, que também apresentaram valores relativamente baixos. Essa variação inicial reflete a composição fenólica distinta dos óleos, que pode impactar diretamente sua estabilidade oxidativa durante a termoxidação (CORBU; ROTARU; NOUR, 2020; REKIK *et al.*, 2021).

Em 20 horas, SG₁ apresentou o maior teor de compostos fenólicos totais (226,12 mg/kg), seguido por SG₂ (201,43 mg/kg) e G (198,00 mg/kg), evidenciando a influência positiva do óleo de gergelim nas formulações. A presença de lignanas e antioxidantes naturais pode ter contribuído para a preservação dos teores de compostos fenólicos em determinadas condições. Estudos demonstram que os compostos fenólicos presentes no óleo de gergelim desempenham um papel essencial na estabilidade oxidativa de óleos vegetais, mitigando processos oxidativos e preservando a qualidade do óleo durante o aquecimento (KONSOULA; LIAKOPOULOU-KYRIAKIDES, 2010; EL-ROBY; HAMMAD; GALAL, 2020; MORSY *et al.*, 2022).

Além disso, os óleos de gergelim, SG₁ e SG₂ apresentaram retenção superior a 100%, um fenômeno que pode ser parcialmente atribuído à superestimação dos compostos fenólicos totais. Esse efeito ocorre porque o reagente de Folin-Ciocalteu reage não apenas com compostos fenólicos, mas também com outros agentes redutores, como antioxidantes degradados, resultantes da decomposição térmica. O molibdênio presente no reagente é reduzido por esses compostos degradados, resultando na formação de complexos azulados que elevam artificialmente as leituras dos compostos fenólicos totais (CHEN; CHENG; LIANG, 2015; PAZZOTI *et al.*, 2018; ABRIL *et al.*, 2019; TORRES *et al.*, 2024). Esse comportamento pode levar a uma interpretação excessiva do conteúdo fenólico total, uma vez que o ensaio mede a capacidade total de redução, e não apenas os fenólicos específicos (RIZVI *et al.*, 2023).

Estudos anteriores reforçam essa observação, sugerindo que a termoxidação pode aumentar os compostos fenólicos totais devido à degradação de antioxidantes como os tocoferóis, resultando em concentrações mais elevadas dos compostos

detectáveis (CORBU; ROTARU; NOUR, 2020). Michiu *et al.* (2022) ressaltaram que os compostos fenólicos exercem uma função antioxidante fundamental e que sua detecção pode ser ampliada em determinadas condições de aquecimento. Özcan *et al.* (2023) também relataram aumento nos compostos fenólicos totais em óleos de girassol durante a termoxidação, demonstrando a influência da degradação oxidativa na elevação dos valores obtidos por análises espectrofotométricas. Além disso, Rekik *et al.* (2021) identificaram que óleos de oliva podem apresentar aumento nos compostos fenólicos totais durante a termoxidação, corroborando com os achados do presente estudo.

Os resultados obtidos demonstram que as formulações contendo óleo de gergelim (SG₁ e SG₂) foram capazes de preservar os teores de compostos fenólicos ao longo do aquecimento - o que pode estar relacionado à sua capacidade antioxidante - sugerindo que o óleo de gergelim pode contribuir para a retenção de compostos fenólicos em algumas formulações, embora seu impacto sobre a estabilidade oxidativa global dependa da interação entre múltiplos fatores, como composição lipídica e tempo de exposição térmica. A presença de lignanas e outros antioxidantes naturais no gergelim pode ter contribuído para essa retenção, mitigando os efeitos da degradação oxidativa. Além disso, Michiu *et al.* (2022) ressaltaram que os compostos fenólicos exercem uma função antioxidante fundamental e que sua detecção pode ser ampliada em determinadas condições de aquecimento. Dessa forma, os resultados deste estudo ressaltam a importância de compreender as mudanças químicas ocorridas durante o aquecimento dos óleos e sua influência nas propriedades antioxidantes, reforçando o potencial do óleo de gergelim como um componente estratégico na formulação de óleos compostos, promovendo maior preservação de compostos bioativos.

Observa-se na Tabela 17 que os carotenoides sofreram variações entre os tratamentos ao longo do processo de termoxidação. Os óleos de soja, SA₁, SFA₁, SG₁, SFA₂ e SG₂ mantiveram teores estáveis ao longo do tempo de aquecimento, enquanto o óleo de gergelim foi o único a apresentar aumento, possivelmente devido à liberação de carotenoides ligados a estruturas celulares, interações com outros compostos antioxidantes ou à reação de subprodutos antioxidantes degradados durante o método analítico (TANG *et al.*, 2015; VERONEZI; JORGE, 2018). Por outro lado, os óleos de arroz e SA₂, exibiram variações nos teores ao longo do aquecimento, indicando que,

apesar da degradação térmica, outros fatores como rearranjos estruturais ou reações de oxidação podem ter influenciado os resultados (ZHANG *et al.*, 2021). Já o óleo de amendoim sofreu redução nos teores de carotenoides totais, possivelmente devido à sua maior suscetibilidade à degradação térmica e oxidativa.

Tabela 17 - Carotenoides totais ($\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C .

Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
S	5,60 \pm 0,01 ^{aD}	5,74 \pm 0,02 ^{aC}	8,47 \pm 0,01 ^{aC}
A	57,31 \pm 2,83 ^{aAB}	55,43 \pm 0,02 ^{aAB}	8,94 \pm 0,01 ^{bC}
FA	49,88 \pm 3,48 ^{aB}	5,99 \pm 0,02 ^{cC}	31,08 \pm 3,82 ^{bB}
G	20,31 \pm 3,61 ^{bC}	49,07 \pm 1,01 ^{aB}	50,11 \pm 0,42 ^{aA}
SA₁	58,38 \pm 0,89 ^{aAB}	50,34 \pm 3,61 ^{aB}	51,41 \pm 0,09 ^{aA}
SFA₁	61,37 \pm 1,23 ^{aAB}	56,98 \pm 3,73 ^{aAB}	56,11 \pm 0,01 ^{aA}
SG₁	69,18 \pm 4,87 ^{aA}	65,80 \pm 0,37 ^{aA}	60,59 \pm 5,04 ^{aA}
SA₂	66,48 \pm 2,20 ^{abA}	69,76 \pm 4,76 ^{aA}	58,66 \pm 3,51 ^{bA}
SFA₂	58,43 \pm 2,94 ^{aAB}	60,50 \pm 1,20 ^{aAB}	57,89 \pm 1,12 ^{aA}
SG₂	60,39 \pm 3,80 ^{aAB}	63,45 \pm 3,99 ^{aAB}	61,75 \pm 4,12 ^{aA}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias \pm desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Em relação aos óleos puros, inicialmente os óleos de amendoim e arroz apresentaram os maiores teores de carotenoides, enquanto gergelim e soja registraram os menores valores. Em 20 horas de termoxidação, o óleo de gergelim destacou-se com o maior teor, seguido pelo óleo de arroz. Por outro lado, os óleos de amendoim e soja apresentaram os menores teores ao final do experimento, evidenciando maior degradação térmica desses compostos ao longo do aquecimento.

Entre os óleos compostos, inicialmente SG₁ e SA₂ apresentaram os maiores teores de carotenoides, porém, após a termoxidação todos os óleos compostos apresentaram valores estatisticamente semelhantes e retenções superiores a 88%, evidenciando o papel dessas combinações na preservação dos carotenoides. Esse comportamento pode estar relacionado à interação entre antioxidantes presentes nas formulações, como carotenoides e compostos fenólicos, que atuam na proteção

contra a degradação térmica. Estudos indicam que a presença de múltiplos compostos bioativos pode potencializar a estabilidade oxidativa dos óleos vegetais, reduzindo a degradação de carotenoides durante o aquecimento (FADDA *et al.*, 2022; MACHADO; RODRIGUEZ-ALCALÁ, 2023). Dessa forma, os óleos compostos demonstraram um efeito protetor, contribuindo para a preservação dos carotenoides e reforçando sua estabilidade durante o aquecimento prolongado.

Além disso, estudos sugerem que a adição de carotenoides naturais, provenientes de extratos de tomate ou algas, pode melhorar a estabilidade antioxidante e a coloração dos óleos submetidos a aquecimento, ampliando seu potencial para aplicações industriais e alimentícias (NOUR *et al.*, 2018; MURILLO *et al.*, 2022). Estudos adicionais evidenciam que, embora o tratamento térmico reduza a concentração de carotenoides em óleos, a presença de antioxidantes naturais pode mitigar parcialmente essa perda. Por exemplo, a degradação de carotenoides em óleos de palma foi modelada matematicamente para prever mudanças durante o processamento térmico, indicando a importância dos antioxidantes (VALÉRIO *et al.*, 2021). Em sementes de canola, a exposição ao micro-ondas antes da prensagem demonstrou aumentar a retenção de carotenoides durante o armazenamento prolongado (REKAS *et al.*, 2018).

Os resultados obtidos demonstram a influência do aquecimento na degradação dos carotenoides e a capacidade dos óleos compostos em mitigar essa perda. Essas formulações apresentaram maior retenção de carotenoides ao longo do tempo, quando comparado aos seus respectivos óleos puros, reforçando a importância da combinação de diferentes óleos para a preservação desses compostos bioativos. A interação entre antioxidantes naturais presentes nas misturas pode ter contribuído para essa proteção. Esses achados ressaltam o potencial dos óleos compostos para aplicações industriais, destacando sua viabilidade na formulação de produtos mais estáveis e enriquecidos com carotenoides.

As análises de variância para tocoferóis (isômeros e totais) e vitamina E dos óleos submetidos à termoxidação (180°C) estão apresentadas no Apêndice C. Como observado, o teste F foi significativo ($p < 0,01$) para os tratamentos, tempos de aquecimento e suas interações. Dessa forma, procedeu-se ao desdobramento das interações, cujos resultados encontram-se na Tabela 18 e Figura 11. Os cromatogramas dos perfis de tocoferóis encontram-se nos Apêndices D-F.

Tabela 18 - Teores de tocoferóis (mg/kg) e vitamina E (mg/kg) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

(continua)

Tocoferóis/ Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
α-tocoferol			
S	47,00 ± 0,01 ^{aJ}	10,07 ± 0,01 ^{bl}	1,15 ± 0,05 ^{cG}
A	70,40 ± 0,01 ^{aE}	5,4 ± 0,02 ^{bj}	2,35 ± 0,01 ^{cF}
FA	96,73 ± 0,01 ^{aD}	60,14 ± 0,01 ^{bD}	20,18 ± 0,01 ^{cD}
G	976,07 ± 0,01 ^{aA}	730,30 ± 0,13 ^{bA}	684,85 ± 2,71 ^{cA}
SA ₁	54,26 ± 0,01 ^{al}	11,60 ± 0,01 ^{bH}	1,15 ± 0,04 ^{cG}
SFA ₁	60,46 ± 0,04 ^{aG}	19,54 ± 0,12 ^{bF}	2,35 ± 0,04 ^{cF}
SG ₁	267,48 ± 0,01 ^{aC}	213,68 ± 0,01 ^{bC}	203,54 ± 0,01 ^{cC}
SA ₂	57,93 ± 0,01 ^{aH}	12,86 ± 0,01 ^{bG}	2,30 ± 0,01 ^{cFG}
SFA ₂	66,35 ± 0,02 ^{aF}	22,21 ± 0,01 ^{bE}	5,60 ± 0,01 ^{cE}
SG ₂	531,62 ± 0,06 ^{aB}	350,95 ± 0,05 ^{bB}	256,02 ± 0,06 ^{cB}
γ-tocoferol			
S	186,95 ± 0,45 ^{aD}	33,60 ± 0,01 ^{bF}	3,99 ± 0,01 ^{cFG}
A	127,01 ± 0,01 ^{al}	10,70 ± 0,08 ^{bl}	2,65 ± 0,04 ^{cG}
FA	111,28 ± 0,01 ^{aj}	52,70 ± 0,00 ^{bD}	12,23 ± 0,03 ^{cD}
G	2254,76 ± 0,01 ^{aA}	1824,96 ± 6,81 ^{bA}	1713,32 ± 0,48 ^{cA}
SA ₁	169,38 ± 0,11 ^{aE}	26,60 ± 0,01 ^{bG}	5,50 ± 0,18 ^{cF}
SFA ₁	161,96 ± 0,03 ^{aF}	50,77 ± 0,03 ^{bD}	7,48 ± 0,01 ^{cE}
SG ₁	698,36 ± 0,01 ^{aC}	604,28 ± 0,04 ^{bC}	601,18 ± 0,16 ^{cC}
SA ₂	149,54 ± 0,16 ^{aG}	13,51 ± 0,01 ^{bH}	2,59 ± 0,01 ^{cG}
SFA ₂	132,47 ± 0,19 ^{aH}	42,83 ± 0,00 ^{bE}	11,30 ± 0,01 ^{cD}
SG ₂	1221,41 ± 0,08 ^{aB}	1061,78 ± 0,24 ^{bB}	941,00 ± 0,44 ^{cB}
δ-tocoferol			
S	52,23 ± 0,01 ^{aA}	33,04 ± 0,01 ^{bB}	21,30 ± 0,00 ^{cC}
A	34,77 ± 0,01 ^{aG}	18,10 ± 0,00 ^{bG}	11,33 ± 0,01 ^{cG}
FA	37,19 ± 0,01 ^{aF}	31,86 ± 0,01 ^{bD}	23,37 ± 0,01 ^{cB}
G	nd	nd	nd
SA ₁	47,22 ± 0,01 ^{aC}	29,16 ± 0,01 ^{bE}	19,72 ± 0,01 ^{cD}
SFA ₁	48,92 ± 0,01 ^{aB}	34,22 ± 0,01 ^{bA}	15,60 ± 0,05 ^{cF}
SG ₁	nd	nd	nd
SA ₂	41,70 ± 0,03 ^{aD}	27,68 ± 0,01 ^{bF}	19,41 ± 0,01 ^{cE}

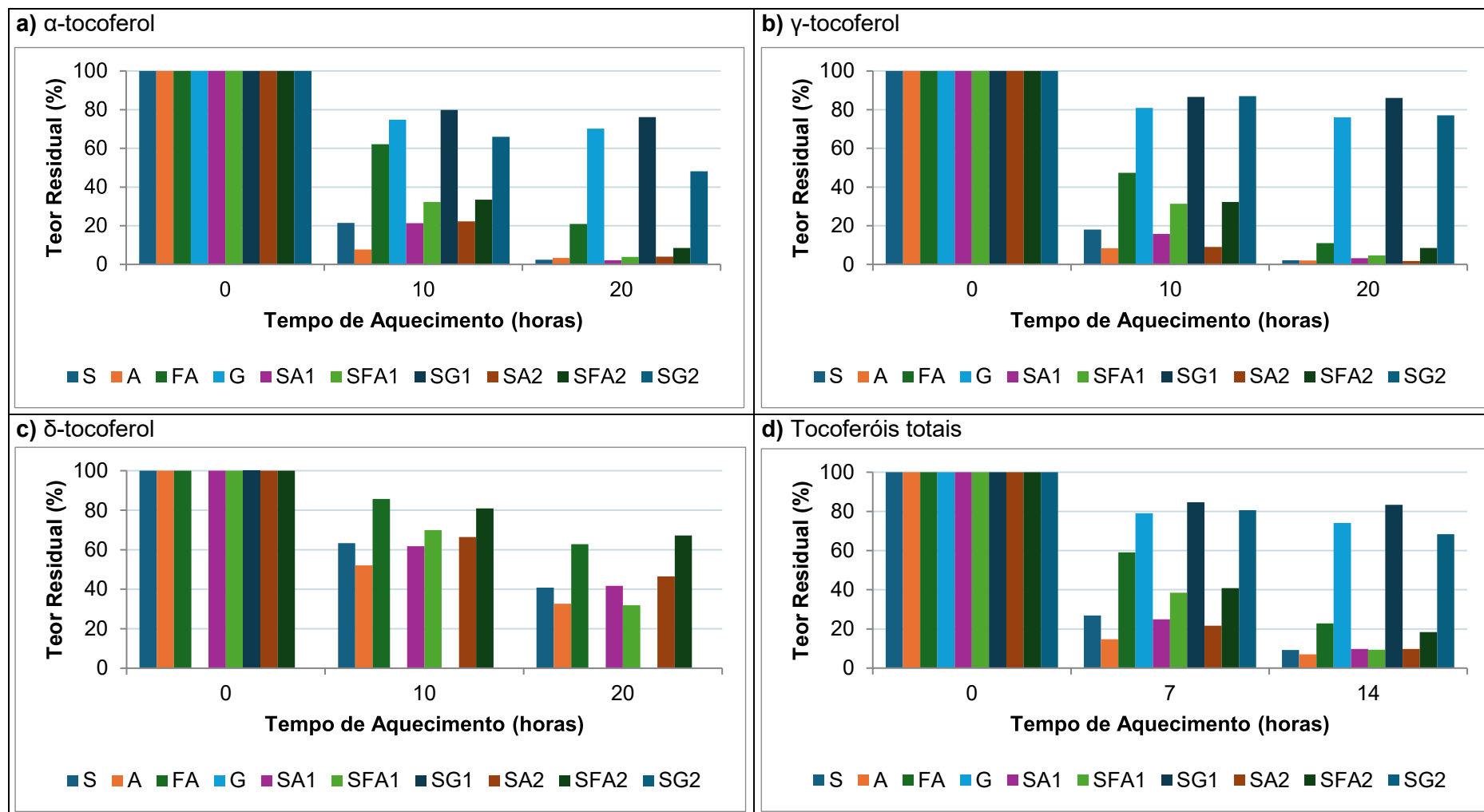
Tabela 18 - Teores de tocoferóis (mg/kg) e vitamina E (mg/kg) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

(continuação)

Tocoferóis/ Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
δ-tocoferol			
SFA ₂	40,34 ± 0,02 ^{aE}	32,66 ± 0,02 ^{bC}	27,13 ± 0,01 ^{cA}
SG ₂	nd	nd	nd
Totais			
S	286,19 ± 0,67 ^{aD}	76,72 ± 0,01 ^{bG}	26,45 ± 0,04 ^{cF}
A	232,18 ± 0,01 ^{aH}	34,20 ± 0,20 ^{bJ}	16,33 ± 0,08 ^{cG}
FA	245,20 ± 0,01 ^{aF}	144,71 ± 0,01 ^{bD}	55,78 ± 0,11 ^{cD}
G	3235,33 ± 0,04 ^{aA}	2555,27 ± 5,06 ^{bA}	2398,17 ± 0,91 ^{cA}
SA ₁	270,86 ± 0,09 ^{aE}	67,36 ± 0,01 ^{bH}	26,37 ± 0,31 ^{cF}
SFA ₁	271,35 ± 0,01 ^{aE}	104,53 ± 0,24 ^{bE}	25,44 ± 0,15 ^{cF}
SG ₁	965,84 ± 0,03 ^{aC}	817,96 ± 0,07 ^{bC}	804,72 ± 0,17 ^{cC}
SA ₂	249,18 ± 0,34 ^{aF}	54,06 ± 0,01 ^{bI}	24,30 ± 0,01 ^{cF}
SFA ₂	239,16 ± 0,17 ^{aG}	97,70 ± 0,01 ^{bF}	44,03 ± 0,01 ^{cE}
SG ₂	1753,04 ± 0,01 ^{aB}	1412,74 ± 0,52 ^{bB}	1197,02 ± 0,82 ^{cB}
Vitamina E*			
S	72,97 ± 0,04 ^{aI}	14,95 ± 0,01 ^{bG}	0,73 ± 0,01 ^{cEF}
A	88,03 ± 0,01 ^{aE}	7,02 ± 0,03 ^{bH}	2,81 ± 0,01 ^{cF}
FA	112,24 ± 0,01 ^{aD}	67,62 ± 0,01 ^{bD}	22,06 ± 0,02 ^{cD}
G	1283,54 ± 0,01 ^{aA}	977,66 ± 4,53 ^{bA}	918,49 ± 2,42 ^{cA}
SA ₁	77,79 ± 0,02 ^{aH}	15,49 ± 0,01 ^{bG}	0,18 ± 0,01 ^{cF}
SFA ₁	82,99 ± 0,04 ^{aG}	26,77 ± 0,14 ^{bF}	0,14 ± 0,01 ^{cF}
SG ₁	362,71 ± 0,01 ^{aC}	296,08 ± 0,01 ^{bC}	285,52 ± 0,01 ^{cC}
SA ₂	78,70 ± 0,01 ^{aH}	14,95 ± 0,01 ^{bG}	0,18 ± 0,01 ^{cF}
SFA ₂	84,78 ± 0,04 ^{aF}	28,35 ± 0,01 ^{bE}	1,79 ± 0,01 ^{cE}
SG ₂	698,18 ± 0,04 ^{aB}	495,74 ± 0,09 ^{bB}	384,33 ± 0,11 ^{cB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). nd: não detectado ($\alpha \leq 3,15$ mg/kg, $\gamma \leq 8,65$ mg/kg e $\delta \leq 2,30$ mg/kg.). *expressa como alfa tocol. Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Figura 11 - Retenção (%) de tocoferóis totais e seus homólogos dos óleos ao final da termoxidação a 180°C.



S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). nd: não detectado ($\alpha \leq 3,15$ mg/kg, $\gamma \leq 8,65$ mg/kg e $\delta \leq 2,30$ mg/kg).

O α -tocoferol, conhecido por sua baixa estabilidade térmica, foi rapidamente degradado em todos os óleos. Os óleos puros de soja e amendoim apresentaram perdas superiores a 96% desse isômero em 20 horas de termoxidação, corroborando estudos prévios que apontam a rápida degradação do α -tocoferol em temperaturas mais elevadas (KMIECIK *et al.*, 2019). Este comportamento reflete sua menor capacidade antioxidante em condições de aquecimento prolongado (SCHMIDT; POKORNÝ, 2005; CAÑO-OCHOA; RUIZ-ARACAMA; GUILLÉN, 2022; KREPS *et al.*, 2017; SYAMILA *et al.*, 2019). Segundo Martins (2006), sua estabilidade diminui pela metade a cada 10°C acima de 40°C. No presente estudo, o aquecimento a 180°C intensificou a degradação, evidenciando sua alta sensibilidade térmica.

Os resultados indicam que o óleo de gergelim foi o mais eficiente na retenção de α -tocoferol, com aproximadamente 70%, seguido pelas formulações SG₁ e SG₂, com retenções de aproximadamente 76% e 48%, respectivamente. Esses achados demonstram que o óleo de gergelim desempenha um papel essencial na proteção do deste isômero durante a termoxidação, reduzindo significativamente suas perdas mesmo sob temperaturas elevadas.

Em contraste, as formulações SA₁ e SA₂ apresentaram retenções muito baixas, 2,1% e 3,9%, respectivamente, valores similares aos dos óleos puros de soja (2,4%) e amendoim (3,3%). Da mesma forma, as formulações SFA₁ e SFA₂, que contêm óleo de arroz, apresentaram retenções de 3,8% e 7,9%, respectivamente. Esses resultados indicam que a adição de óleos de amendoim ou arroz não proporcionou uma proteção significativa contra a degradação térmica do α -tocoferol.

O isômero γ -tocoferol, foi majoritário em todos os óleos e apresentou maior resistência térmica, especialmente no óleo de gergelim e suas misturas SG₁ e SG₂, que apresentaram retenções de aproximadamente 76%, 86% e 77%, respectivamente, em 20 horas de termoxidação. Esse comportamento pode estar relacionado à sinergia entre os óleos de soja e gergelim, que potencializou a estabilidade térmica dos tocoferóis. Estudos de Caño-Ochoa, Ruiz-Aracama e Guillén (2022) confirmam que o γ -tocoferol apresenta perdas menores em comparação ao α -tocoferol sob aquecimento. Além disso, Gharby *et al.* (2017) relataram que o γ -tocoferol constitui mais de 90% do total de tocoferóis no óleo de gergelim, enquanto Pazzoti, Veronezi e Jorge (2022) observaram que ele representa, em média, 72%.

Por outro lado, novamente as formulações SA₁, SA₂, SFA₁ e SFA₂, apresentaram retenções muito baixas, cerca de 3%, 2%, 5% e 8%, respectivamente, indicando que a adição de óleos de amendoim ou arroz também não proporcionou uma proteção significativa contra a degradação térmica do γ -tocoferol, reforçando a superioridade das formulações contendo óleo de gergelim na preservação desse isômero.

O δ -tocoferol, presente em menores concentrações, apresentou comportamento variável entre os óleos avaliados, refletindo diferenças na sua distribuição natural e estabilidade térmica. Os maiores teores foram encontrados nos óleos SFA₂, FA, S e SA₁, com retenções de aproximadamente 67%, 63%, 41% e 42%, indicando que esses óleos possuem maior capacidade de preservação desse isômero durante a termoxidação. Essa retenção pode estar associada à composição lipídica e à presença de outros compostos antioxidantes, que auxiliam na mitigação das perdas oxidativas (GHARBY *et al.*, 2017).

Em contrapartida, nos óleos de gergelim e suas misturas (SG₁ e SG₂), este isômero não foi detectado desde o início do experimento. Veronezi e Jorge (2018) também relataram a ausência de δ -tocoferol no óleo de mamão, destacando que sua ausência pode estar associada ao perfil lipídico e à composição química específica dos óleos. Estudos como os de Szydłowska-Czerniak *et al.* (2022) reforçam que a composição do perfil lipídico, incluindo o grau de insaturação e a presença de outros compostos bioativos, desempenha um papel fundamental na retenção ou ausência de determinados tocoferóis.

Os teores totais de tocoferóis diminuíram significativamente em todos os óleos ao longo do aquecimento. Mais uma vez, destacaram-se com maiores teores o óleo de gergelim e suas misturas SG₁ e SG₂, com o óleo puro apresentando uma retenção de aproximadamente 74%, seguido pelos compostos SG₁ (83%) e SG₂ (68%) em 20 horas de termoxidação. Esses resultados evidenciam a eficiência do óleo de gergelim e de suas combinações com óleo de soja na preservação dos tocoferóis, indicando um desempenho superior.

Por outro lado, as misturas SA₁, SA₂ e SFA₁ apresentaram retenções de aproximadamente 9%, valores próximos ao óleo de soja puro (9,2%), sugerindo que a adição de óleos de amendoim e arroz não proporcionou proteção adicional significativa aos tocoferóis durante o aquecimento. Óleos puros como o de soja e

amendoim apresentaram as menores retenções, com cerca de 9% e 7%, respectivamente.

Esses resultados reforçam o papel do γ -tocoferol na estabilidade oxidativa do óleo de gergelim e de suas misturas, conforme relatado por Bruscatto *et al.* (2019). Além disso, a superior retenção apresentada pelas formulações SG₂, SG₁ e SFA₂ evidencia que a combinação do óleo de soja, especialmente com os óleos de gergelim ou arroz em proporções adequadas, foi eficaz em melhorar a preservação dos tocoferóis durante a termoxidação, superando os resultados do óleo de soja puro. No entanto, as formulações SA₁, SFA₁ e SA₂ não diferiram estatisticamente do óleo de soja, indicando que a adição de óleos de amendoim ou farelo de arroz nessas composições não proporcionou benefícios adicionais para o óleo de soja.

A vitamina E, amplamente reconhecida por seu papel antioxidante na proteção contra a peroxidação lipídica (SCHMIDT; POKORNÝ, 2005), apresentou reduções significativas em todos os óleos em 20 horas de termoxidação. Inicialmente, todos os óleos apresentavam quantidades expressivas de vitamina E, com destaque para G, SG₁ e SG₂. Contudo, óleos como S, A, SA₁, SFA₁, SA₂ e SFA₂ apresentaram perdas superiores a 96%, refletindo menor estabilidade térmica. Esse comportamento pode ser explicado pela menor concentração de α - e γ -tocoferol nesses óleos. Fišnar *et al.* (2018) relataram que a redução nos níveis de tocoferóis está associada ao aumento da insaturação e à diminuição da capacidade antioxidante dos óleos vegetais. De maneira complementar, Ma *et al.* (2023) enfatizaram que os tocoferóis, em sinergia com outros compostos antioxidantes, como esteróis e polifenóis, desempenham papel crucial na estabilidade oxidativa durante a termoxidação. Por outro lado, os óleos G, SG₁ e SG₂ apresentaram os maiores teores após a termoxidação, com retenções de aproximadamente 71%, 79% e 55%, respectivamente, indicando uma maior capacidade de preservação desse composto antioxidante.

Os elevados teores de γ -tocoferol observados no óleo de gergelim e em suas formulações demonstram sua contribuição significativa para a estabilidade oxidativa (GHEONEA *et al.*, 2020). Além disso, Occhiuto *et al.* (2022) relataram que a presença de compostos antioxidantes influencia diretamente os níveis de tocoferóis em óleos extraídos de sementes, como o de cânhamo. Complementarmente, Aksoylu Özbek *et al.* (2023), ao investigarem óleos de sementes de tomate, observaram que métodos

de processamento térmico, como a torrefação, podem preservar os teores de tocoferóis e, assim, potencializar a capacidade antioxidante dos óleos vegetais.

Os resultados reforçam o potencial dos óleos compostos SG₁ e SG₂ como alternativas para aplicações industriais que envolvem aquecimento prolongado, devido à sua elevada retenção de tocoferóis e vitamina E. As formulações contendo óleo de gergelim não apenas melhoraram os teores desses compostos em comparação ao óleo de soja puro, como também demonstraram maior resistência térmica. A sinergia entre os óleos de soja e gergelim preserva compostos bioativos e aprimora a estabilidade térmica das formulações, ampliando seu potencial para uso em alimentos que demandam maior resistência ao calor. Essas descobertas evidenciam que a escolha adequada das formulações pode impactar positivamente a qualidade e a vida útil dos produtos finais, atendendo às exigências industriais.

5.1.2. Atividade antioxidante

As análises de variância para a atividade antioxidante (DPPH• e FRAP) dos óleos submetidos à termoxidação (180°C) estão apresentadas no Apêndice G. Como observado, o teste F foi significativo ($p < 0,01$) para os tratamentos, tempos de aquecimento e suas interações. Dessa forma, procedeu-se ao desdobramento das interações, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 19 e 20.

O método de DPPH• é amplamente utilizado para avaliar a capacidade antioxidante de compostos com base em sua habilidade de doar elétrons ou átomos de hidrogênio ao radical livre DPPH•, neutralizando-o. Esse processo resulta em uma diminuição da absorvância da solução na faixa de 517 nm, sinalizando a redução do próprio radical DPPH• (ANGELI; MOROZOVA; SCAMPICCHIO, 2023; GULCIN; ALWASEL, 2023). Os antioxidantes presentes nos óleos vegetais atuam por meio de dois principais mecanismos: doação de elétrons, neutralizando os radicais livres, e transferência de átomos de hidrogênio, especialmente eficaz no caso de compostos fenólicos (VELASCO *et al.*, 2023; YAMAUCHI *et al.*, 2024). A Tabela 19 apresenta as variações na atividade antioxidante entre os óleos puros e compostos após a termoxidação. Essa capacidade está diretamente relacionada à composição química de cada óleo, especialmente à presença de tocoferóis, lignanas e compostos fenólicos. De forma geral, óleos com maior diversidade de antioxidantes demonstraram maior estabilidade térmica.

Tabela 19 - Capacidade de eliminação do radical DPPH• (%) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
S	82,39 ± 2,02 ^{aABC}	52,13 ± 0,15 ^{bC}	31,17 ± 0,02 ^{cB}
A	76,86 ± 2,93 ^{aE}	19,96 ± 0,49 ^{bF}	12,78 ± 0,28 ^{cF}
FA	84,25 ± 0,86 ^{aA}	68,38 ± 0,39 ^{bA}	39,80 ± 0,09 ^{cA}
G	70,22 ± 0,32 ^{aF}	15,91 ± 0,05 ^{cG}	21,30 ± 0,01 ^{bE}
SA₁	83,05 ± 0,40 ^{aAB}	45,40 ± 0,21 ^{bD}	27,78 ± 1,12 ^{cCD}
SFA₁	63,73 ± 0,01 ^{aG}	60,55 ± 0,01 ^{bB}	27,45 ± 3,07 ^{cCD}
SG₁	80,58 ± 1,30 ^{aBCD}	30,80 ± 1,34 ^{bE}	29,77 ± 0,09 ^{bBC}
SA₂	77,61 ± 0,62 ^{aDE}	33,92 ± 0,02 ^{bE}	24,54 ± 0,05 ^{cDE}
SFA₂	80,58 ± 1,64 ^{aBCD}	60,17 ± 0,86 ^{bB}	30,36 ± 2,58 ^{cBC}
SG₂	79,22 ± 1,46 ^{aCDE}	32,82 ± 0,86 ^{cE}	40,40 ± 0,03 ^{bA}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Entre os óleos puros, inicialmente o óleo de arroz apresentou a maior capacidade de eliminação do radical DPPH•, seguido pelo óleo de soja. Em 20 horas de termoxidação, esses óleos mantiveram as maiores capacidades antioxidantes, com arroz retendo aproximadamente 47% da sua capacidade inicial, enquanto soja preservou cerca de 38%. Em contraste, o óleo de amendoim apresentou a menor capacidade de eliminação do radical DPPH• em todos os tempos analisados, com perda superior a 83% ao final do aquecimento, seguido pelo óleo de gergelim, que apresentou redução de aproximadamente 74% ao longo da termoxidação.

A composição antioxidante dos óleos influencia diretamente sua estabilidade térmica. O óleo de arroz é rico em γ -orizanol e compostos fenólicos, conhecidos por sua alta capacidade antioxidante e maior estabilidade térmica, o que pode justificar sua superior capacidade de eliminação do radical DPPH• (LI *et al.*, 2014; SHARMA *et al.*, 2023). O óleo de soja também manteve atividade antioxidante relevante, embora sua retenção ao longo do tempo tenha sido inferior à do óleo de arroz, possivelmente devido à degradação térmica de seus antioxidantes primários. Já os óleos de amendoim e gergelim apresentaram as menores capacidades antioxidantes ao final do experimento, o que pode ser explicado pela rápida degradação de tocoferóis e

carotenoides durante o aquecimento (HEMALATHA; GHAFLOORUNISSA, 2007; MBA; DUMONT; NGADI, 2017). Além disso, a oscilação observada no óleo de gergelim pode estar associada à conversão de lignanas em antioxidantes secundários, um fenômeno já relatado na literatura (CHAU; CIOU; WU, 2021).

Estudos recentes, como os de Lin *et al.* (2020), demonstraram que a presença de compostos fenólicos em óleos essenciais pode melhorar significativamente a capacidade antioxidante durante a termoxidação, mesmo sob condições de aquecimento prolongado. Adicionalmente, Gulcin e Alwasel (2023) destacaram que a padronização das condições de medição no ensaio DPPH• é essencial para avaliar com precisão a capacidade antioxidante dos óleos. Esses estudos reforçam que a composição química dos óleos e a metodologia aplicada no ensaio impactam diretamente os resultados.

Entre os óleos compostos, inicialmente SA₁ apresentou a maior capacidade de eliminação do radical DPPH•, seguido por SG₁ e SFA₂, que não diferiram estatisticamente entre si. Isso indica que, inicialmente, essas formulações possuíam maior potencial antioxidante em comparação às demais formulações avaliadas. Em 20 horas de termoxidação, SG₂ demonstrou a maior capacidade de eliminação do radical DPPH•, seguido por SG₁ e SFA₂, que novamente não diferiram estatisticamente entre si. Esse comportamento sugere que as formulações contendo gergelim e farelo de arroz mantiveram melhor sua capacidade antioxidante ao longo do tempo, reforçando sua maior resistência térmica em comparação às outras formulações.

Diferentemente dos demais óleos, que seguiram uma progressão uniforme na capacidade antioxidante, os óleos de G e SG₂ apresentaram comportamento oscilatório. Essa variação sugere que, nas primeiras horas de aquecimento, houve degradação acentuada de antioxidantes primários, reduzindo expressivamente a capacidade de eliminação do radical DPPH•. No entanto, essa capacidade foi parcialmente recuperada ao longo do tempo, possivelmente devido à formação de antioxidantes secundários a partir da degradação térmica de lignanas e outros compostos bioativos presentes no óleo de gergelim (CHAU; CIOU; WU, 2021). Além disso, oscilações na atividade antioxidante podem estar relacionadas a interferências no ensaio DPPH, uma vez que compostos presentes no óleo podem afetar a

absorbância do radical, influenciando a estimativa da capacidade antioxidante (HUANG; OU; PRIOR, 2005).

Os resultados demonstram que a composição dos óleos influencia diretamente sua estabilidade antioxidante durante a termoxidação. O óleo de arroz manteve a maior capacidade antioxidante, enquanto o óleo de soja apresentou boa atividade, embora com menor retenção ao longo do tempo. Em contraste, o óleo de amendoim exibiu a menor eficiência, seguido por gergelim, que apresentou variações ao longo do aquecimento. Entre os óleos compostos, SG₁, SG₂ e SFA₂ mostraram maior estabilidade térmica, destacando-se como formulações promissoras para sistemas sujeitos a temperaturas elevadas.

A Tabela 20 apresenta a capacidade antioxidante dos óleos medida pelo método FRAP, que avalia a capacidade de redução do ferro ($\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$) como indicador da atividade antioxidante. O poder antioxidante de um óleo reflete sua capacidade de doar elétrons e neutralizar radicais livres, sendo influenciado por sua composição química, especialmente pela presença de tocoferóis, carotenoides e compostos fenólicos (MELCHIOR *et al.*, 2023).

Tabela 20 - Poder antioxidante de redução do ferro – FRAP ($\mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Óleos	Tempos de aquecimento (horas)		
	0	10	20
S	113,99 ± 1,44 ^{cG}	125,24 ± 3,38 ^{bE}	164,69 ± 6,84 ^{aA}
A	107,39 ± 0,84 ^{cH}	152,99 ± 0,12 ^{aC}	134,04 ± 0,18 ^{bD}
FA	95,04 ± 0,50 ^{cl}	181,29 ± 2,64 ^{aA}	116,09 ± 1,85 ^{bF}
G	156,09 ± 0,12 ^{aD}	151,89 ± 3,64 ^{bC}	149,04 ± 4,50 ^{bB}
SA₁	131,14 ± 0,72 ^{cE}	152,79 ± 5,44 ^{aC}	141,24 ± 1,62 ^{bC}
SFA₁	171,54 ± 0,02 ^{aB}	154,19 ± 0,40 ^{bC}	130,94 ± 0,98 ^{cDE}
SG₁	110,74 ± 0,80 ^{cGH}	134,89 ± 2,64 ^{bD}	147,34 ± 0,72 ^{aB}
SA₂	122,04 ± 0,32 ^{cF}	149,14 ± 0,20 ^{aC}	132,24 ± 2,42 ^{bD}
SFA₂	165,89 ± 1,80 ^{aC}	149,54 ± 0,18 ^{bC}	126,64 ± 0,02 ^{cE}
SG₂	213,19 ± 5,44 ^{aA}	169,79 ± 0,84 ^{bB}	147,74 ± 0,32 ^{cB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Ao longo da termoxidação, os óleos de soja e SG₁ apresentaram aumento progressivo na capacidade antioxidante, o que pode estar associado à formação de compostos antioxidantes secundários durante a degradação térmica dos compostos primários (GREBENTEUCH *et al.*, 2021). Em contrapartida, os óleos de gergelim, SFA₁, SFA₂ e SG₂ sofreram reduções progressivas, refletindo a degradação contínua de seus antioxidantes primários sem a formação expressiva de antioxidantes secundários (ERICKSON; YEVTUSHENKO; LU, 2023; MELCHIOR *et al.*, 2023). Já os óleos de amendoim, SA₁ e SA₂ apresentaram comportamento oscilatório, sugerindo uma interação dinâmica entre compostos pró-oxidantes e antioxidantes, o que pode levar a uma recuperação momentânea da capacidade antioxidante ao longo do aquecimento (CHELGHOUM *et al.*, 2020).

Inicialmente, SG₂ apresentou a maior capacidade antioxidante de redução do ferro (FRAP), seguido por SFA₁ e SFA₂. No entanto, em 20 horas de termoxidação, o óleo de soja demonstrou a maior atividade antioxidante, enquanto os óleos de gergelim, SG₁ e SG₂ mantiveram-se estáveis, sem diferenças estatísticas significativas entre si. Esse comportamento evidencia que a estabilidade térmica dos antioxidantes pode depender não apenas de sua concentração inicial, mas também da capacidade dos compostos bioativos de resistirem à degradação ou originarem novos antioxidantes durante o aquecimento (LIMA; RAMOS, 2024).

Estudos prévios confirmam que a degradação térmica afeta de forma significativa a estabilidade oxidativa dos óleos. Rabiej-Kozioł *et al.* (2023) relataram que a atividade antioxidante medida pelo FRAP em óleos prensados a frio variou entre 185,36 e 396,63 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g}$, apresentando reduções consideráveis ao longo do aquecimento, o que reforça a importância da estabilidade térmica na preservação da qualidade oxidativa. Song *et al.* (2023b) também relataram que óleos essenciais de *Tadehagi triquetrum* demonstraram atividade antioxidante moderada durante a termoxidação, sugerindo que a resistência antioxidante pode variar de acordo com a composição química dos óleos e seus compostos ativos.

Os resultados do presente estudo destacam a relevância da composição antioxidante para a resistência térmica dos óleos. Em particular, os óleos de gergelim e suas formulações (SG₁ e SG₂) apresentaram elevada capacidade antioxidante em 20 horas de aquecimento, tornando-se adequados para aplicações que demandam maior estabilidade oxidativa. Esse comportamento reforça a importância de

antioxidantes mais estáveis, como lignanas e tocoferóis, que desempenham um papel fundamental na proteção contra a oxidação em temperaturas mais elevadas (FADDA *et al.*, 2022; LIMA; RAMOS, 2024).

5.2. ESTOCAGEM ACELERADA EM ESTUFA

5.2.1. Propriedades físico-químicas

As análises de variância para as análises físico-químicas (ácidos graxos livres, índice de peróxidos, ácidos dienoicos conjugados, *p*-anisidina, valor totox e estabilidade oxidativa) dos óleos submetidos a estocagem acelerada a 60°C estão apresentadas no Apêndice H. Como observado, o teste F foi significativo ($p < 0,01$) para todos os tratamentos, tempos de estocagem e suas interações. Dessa forma, procedeu-se ao desdobramento das interações, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 21-25 e Figura 12.

Na Tabela 21 são apresentados os teores de ácidos graxos livres (expressos em % oleico) dos diferentes óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa ao longo de 21 dias. Os dados indicam um aumento progressivo nos teores desses compostos, reflexo da degradação hidrolítica (EL YAMANI *et al.*, 2022), com variações entre os óleos estudados. Como esse parâmetro é determinante para a qualidade do óleo, há limites regulamentares que asseguram sua segurança alimentar. De acordo com a legislação brasileira e as diretrizes do *Codex Alimentarius* (2023), o limite para óleos e gorduras refinados é de 0,6 mg KOH/g (~0,3%), enquanto para óleos prensados a frio e não refinados, é de 4,0 mg KOH/g (~2,0%) (BRASIL, 2021b).

Observou-se que o óleo de gergelim ultrapassou o limite permitido já no tempo inicial de estocagem, enquanto o óleo de soja atingiu o limite a partir de 7 dias. Portanto, nem todos os óleos puros permaneceram dentro dos parâmetros regulamentares durante o armazenamento. Apesar disso, os resultados revelam que os óleos de arroz e soja apresentaram os menores teores de ácidos graxos livres e não diferiram estatisticamente entre si, demonstrando maior resistência à hidrólise.

A diferença na resistência à degradação hidrolítica entre os óleos pode estar relacionada ao perfil de ácidos graxos e à presença de compostos antioxidantes naturais. Embora o óleo de soja tenha ultrapassado o limite regulamentar a partir do 7º dia, apresentou desempenho superior à maioria dos demais óleos, mantendo teores mais baixos de ácidos graxos livres ao longo da estocagem. Essa estabilidade pode

ser atribuída, em parte, à presença de tocoferóis, especialmente considerando que foi utilizado óleo de soja comercial, que contém naturalmente vitamina E, o que potencializa sua proteção contra degradações oxidativa e hidrolítica (HUANG *et al.*, 2022). De modo semelhante, o óleo de arroz manteve baixos teores de ácidos graxos livres ao longo do armazenamento, possivelmente devido à presença de γ -orizanol e tocoferóis, que auxiliam na proteção contra a degradação hidrolítica (LIU *et al.*, 2023b). Por outro lado, o óleo de amendoim mostrou-se mais suscetível à hidrólise, enquanto o óleo de gergelim, apesar de conter sesamina e sesamolina, sofreu degradação significativa, evidenciando que a hidrólise dos triacilgliceróis ocorre mesmo em óleos ricos em compostos bioativos (ZHAO *et al.*, 2019; OBOULBIGA *et al.*, 2023). A adição de antioxidantes exógenos pode ser uma estratégia viável para prolongar a estabilidade desses óleos durante o armazenamento prolongado (VIANA DA SILVA *et al.*, 2022).

Tabela 21 - Teores de ácidos graxos livres (% oleico) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
S	0,17 ± 0,00 ^{bF}	0,30 ± 0,00 ^{abEF}	0,31 ± 0,00 ^{abEF}	0,33 ± 0,00 ^{aEF}
A	0,48 ± 0,00 ^{bD}	0,78 ± 0,00 ^{aD}	0,79 ± 0,01 ^{aD}	0,83 ± 0,00 ^{aD}
FA	0,20 ± 0,00 ^{bEF}	0,36 ± 0,00 ^{aEF}	0,36 ± 0,00 ^{aEF}	0,31 ± 0,00 ^{abEF}
G	3,04 ± 0,00 ^{cA}	3,19 ± 0,00 ^{ba}	3,23 ± 0,00 ^{abA}	3,35 ± 0,00 ^{aA}
SA₁	0,31 ± 0,00 ^{aDEF}	0,36 ± 0,00 ^{aEF}	0,34 ± 0,00 ^{aEF}	0,37 ± 0,00 ^{aEF}
SFA₁	0,17 ± 0,00 ^{aF}	0,25 ± 0,00 ^{aF}	0,19 ± 0,00 ^{aF}	0,28 ± 0,00 ^{aF}
SG₁	0,78 ± 0,01 ^{bC}	1,19 ± 0,01 ^{aC}	1,18 ± 0,00 ^{aC}	1,20 ± 0,00 ^{aC}
SA₂	0,36 ± 0,00 ^{aDE}	0,44 ± 0,00 ^{aE}	0,47 ± 0,00 ^{aE}	0,47 ± 0,00 ^{aE}
SFA₂	0,19 ± 0,00 ^{aEF}	0,22 ± 0,00 ^{aF}	0,25 ± 0,00 ^{aF}	0,22 ± 0,00 ^{aF}
SG₂	1,25 ± 0,00 ^{dB}	2,01 ± 0,00 ^{CB}	2,71 ± 0,03 ^{BB}	3,00 ± 0,01 ^{AB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Os óleos compostos apresentaram variações nos teores de ácidos graxos livres ao longo do período de armazenamento. A formulação SG₂ apresentou os maiores valores em todos os tempos avaliados, indicando maior degradação hidrolítica,

seguida por SG₁, SA₂ e SA₁. Já as formulações SFA₁ e SFA₂ mantiveram os menores teores de ácidos graxos livres e não diferiram estatisticamente entre si, demonstrando maior resistência à hidrólise.

A degradação hidrolítica dos óleos compostos pode estar relacionada à sua composição química e à presença de antioxidantes naturais. As formulações com soja e amendoim (SA₁ e SA₂) foram mais suscetíveis à degradação hidrolítica, indicando que a adição de óleo de amendoim não melhorou a estabilidade (MANCIBO-CAMPOS; SALVADOR; FREGAPANE, 2022). Por outro lado, as formulações com óleo de arroz (SFA₁ e SFA₂) apresentaram os menores teores de ácidos graxos livres ao longo do armazenamento, indicando maior resistência à hidrólise. Embora os óleos de soja e farelo de arroz também tenham mantido baixos teores, a combinação desses componentes pode ter aprimorado essa estabilidade, sugerindo que uma maior proporção de óleo de arroz poderia potencializar essa resistência.

As formulações contendo gergelim (SG₁ e SG₂) apresentaram os maiores teores de ácidos graxos livres ao longo do armazenamento, demonstrando maior susceptibilidade à degradação hidrolítica. Apesar do óleo de gergelim conter antioxidantes naturais como sesamina e sesamolina, sua composição lipídica pode ter favorecido a degradação, tornando essas misturas menos estáveis (FADDA *et al.*, 2022; ATHANASIADIS *et al.*, 2024).

Os resultados demonstram que a estabilidade dos óleos compostos está diretamente relacionada à interação entre os óleos utilizados na formulação. Misturas contendo óleo de gergelim apresentaram maior degradação hidrolítica, enquanto aquelas com óleo de arroz demonstraram maior resistência ao armazenamento. As formulações contendo amendoim não apresentaram vantagens expressivas na estabilidade, sugerindo que sua adição, sem o uso de antioxidantes, pode não ser suficiente para reduzir a degradação. Esses achados reforçam que a escolha da matéria-prima e a proporção dos óleos na formulação são determinantes para a resistência à degradação hidrolítica, sendo necessário considerar não apenas o perfil de ácidos graxos, mas também a presença de antioxidantes naturais e a possibilidade de aditivos exógenos para otimizar a estabilidade dessas misturas.

O índice de peróxidos é um indicador dos produtos iniciais gerados no processo de oxidação dos óleos, denominados hidroperóxidos, que revelam o grau de deterioração do produto, além de refletir a qualidade da matéria-prima utilizada

(ZHANG *et al.*, 2023a). Como pode ser observado na Tabela 22, no início da estocagem, os índices de peróxidos de todos os óleos puros estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2021b) e pelo *Codex Alimentarius* (2023), tanto para óleos e gorduras refinados (10 meq/kg), quanto para óleos prensados a frio e não refinados (15 meq/kg). Entretanto, ao longo da estocagem, houve aumento significativo para todos os óleos analisados, tanto puros, quanto compostos; o que era esperado devido à aceleração das reações de oxidação sob as condições de temperatura mais elevada (SHARMA; GHOSH; RAMASWAMY, 2019).

Tabela 22 - Índice de peróxidos (meq/kg) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
S	2,78 ± 0,17 ^{dCD}	6,74 ± 0,22 ^{cD}	41,04 ± 0,56 ^{bA}	59,21 ± 0,36 ^{aA}
A	3,98 ± 0,18 ^{cC}	5,67 ± 0,09 ^{cD}	15,82 ± 0,27 ^{bF}	24,06 ± 0,19 ^{aH}
FA	7,56 ± 0,17 ^{dB}	17,74 ± 0,20 ^{cC}	29,48 ± 0,20 ^{bC}	39,08 ± 0,08 ^{aE}
G	14,73 ± 0,00 ^{dA}	25,36 ± 8,20 ^{cA}	36,78 ± 0,51 ^{bB}	48,59 ± 0,07 ^{aBC}
SA₁	1,49 ± 0,8 ^{dD}	6,46 ± 0,10 ^{cD}	30,33 ± 0,53 ^{bC}	37,31 ± 0,15 ^{aE}
SFA₁	3,38 ± 0,02 ^{dCD}	15,66 ± 0,73 ^{cC}	31,59 ± 0,05 ^{bC}	47,28 ± 0,04 ^{aCD}
SG₁	7,92 ± 0,22 ^{dB}	23,47 ± 0,13 ^{cA}	30,37 ± 0,19 ^{bC}	45,51 ± 0,91 ^{aD}
SA₂	2,09 ± 0,32 ^{dCD}	5,97 ± 0,19 ^{cD}	21,72 ± 0,19 ^{bE}	32,66 ± 0,35 ^{aF}
SFA₂	7,43 ± 0,37 ^{dB}	20,21 ± 0,09 ^{cB}	38,53 ± 0,12 ^{bB}	50,82 ± 0,34 ^{aB}
SG₂	6,86 ± 0,34 ^{dB}	16,92 ± 0,63 ^{cC}	25,25 ± 0,70 ^{bD}	28,84 ± 0,30 ^{aG}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

O óleo de soja apresentou aumento de aproximadamente 21 vezes em relação ao seu valor inicial, refletindo sua elevada suscetibilidade à oxidação devido à alta concentração de ácidos graxos poli-insaturados, conforme observado nos estudos de Zhao *et al.* (2019).

O óleo de amendoim exibiu aumento mais moderado, com seu índice cerca de 6 vezes maiores em relação ao valor inicial. Esse comportamento está alinhado com a literatura, que aponta a menor estabilidade oxidativa do óleo de amendoim devido

ao seu perfil de ácidos graxos e proporção de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados (KOCHHAR; HENRY, 2009; GARG *et al.*, 2021).

O óleo de arroz, que inicialmente possuía um dos menores índices de peróxidos, apresentou aumento de aproximadamente 5 vezes ao final dos 21 dias. Esse aumento pode ser atribuído à presença de antioxidantes naturais, como orizanol e tocoferóis, que retardam a formação de hidroperóxidos nos estágios iniciais da oxidação, mas não evitam seu acúmulo ao longo do tempo (HUANG *et al.*, 2022; LIU *et al.*, 2023b).

O óleo de gergelim apresentou o maior valor inicial de peróxidos, destacando-se como o mais suscetível à oxidação no início da estocagem, devido à sua composição rica em ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido linoleico (NGASSAPA; MWAISAKA; NYANDORO, 2017). Ao final da estocagem, seu índice aumentou cerca de 3 vezes, um valor relativamente menor em comparação aos demais óleos puros analisados. Esse comportamento sugere que, embora tenha apresentado alta suscetibilidade à oxidação no início da estocagem, a presença de antioxidantes naturais, como sesamina e sesamolina, contribuiu para retardar parcialmente a formação de hidroperóxidos ao longo do tempo. No entanto, a atuação desses compostos foi limitada, o que reforça a necessidade de estratégias adicionais para prolongar sua estabilidade oxidativa (SARRAMI *et al.*, 2023; LEHNERT *et al.*, 2018).

Nos óleos compostos, SA₁ e SA₂ apresentaram baixos índices de peróxidos até o sétimo dia, mas aumentaram aproximadamente 25 e 15 vezes, respectivamente, em relação aos valores iniciais. Esses valores foram inferiores ao observado para o óleo puro de soja, sugerindo que as formulações compostas promovem maior estabilidade oxidativa, devido ao efeito sinérgico entre os componentes dos diferentes óleos (BAYRAM; DECKER, 2023).

Entre os óleos compostos por soja e arroz, SFA₁ apresentou menor índice inicial de peróxidos em comparação a SFA₂ indicando maior estabilidade oxidativa inicial. Em 21 dias, SFA₁ e SFA₂ aumentaram aproximadamente 14 e 7 vezes, respectivamente. A incorporação do óleo de arroz ao óleo de soja, tanto na proporção de 50% (SFA₂) quanto de 25% (SFA₁), foi eficaz na redução dos índices de peróxidos em comparação ao óleo de soja puro, onde SFA₁ destacou-se por apresentar os menores índices ao longo de toda a estocagem, demonstrando maior eficiência na

redução da oxidação. Os resultados indicam que a adição de óleo de arroz, especialmente na proporção de 25%, pode melhorar a estabilidade oxidativa do óleo de soja, possivelmente devido à ação antioxidante de compostos como γ -orizanól e tocoferóis (LOYPIMAI *et al.*, 2022; MOHAMMED; HASHEM; ABDEL MAKSSOUND, 2024).

As formulações SG₁ e SG₂ apresentaram aumentos de aproximadamente 6 e 4 vezes nos índices de peróxidos, respectivamente. A formulação SG₂ demonstrou maior estabilidade ao final da estocagem, sugerindo que uma menor proporção de óleo de gergelim pode ser mais eficiente na redução da oxidação. Ambas apresentaram índices de peróxidos inferiores aos óleos puros de soja e gergelim, indicando o efeito benéfico dos óleos compostos no controle da oxidação. Estudos mostram que os antioxidantes naturais, como as lignanas presentes no óleo de gergelim, contribuem para a estabilidade oxidativa quando combinados com outros óleos (KIM *et al.*, 2020; ABDALLAH *et al.*, 2022; CHEN *et al.*, 2023).

Os óleos compostos apresentaram menores índices de peróxidos em comparação ao óleo puro de soja, indicando uma menor formação de hidroperóxidos durante a estocagem. Esse comportamento sugere uma maior resistência à oxidação, possivelmente devido ao efeito sinérgico entre os componentes dos óleos. Assim, as formulações demonstraram potencial para retardar a progressão da oxidação, contribuindo para a conservação e aumento da vida útil de produtos alimentícios.

Os ácidos dienoicos conjugados são formados durante o processo de oxidação lipídica, no qual os ácidos graxos insaturados, especialmente aqueles com múltiplas duplas ligações, sofrem rearranjos estruturais na presença de oxigênio. Esses compostos são importantes indicadores da fase inicial da oxidação dos lipídios, refletindo a qualidade e estabilidade do óleo durante o armazenamento (JORGE, 2009; SHIMA; SAKASHITA, 2016).

Com base na análise do índice de ácidos dienoicos conjugados dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa (Tabela 23), observa-se que, ao longo dos 21 dias, os óleos puros e compostos apresentam comportamentos distintos em relação à estabilidade oxidativa. A escolha de óleos com maior teor de ácidos graxos monoinsaturados, como amendoim, arroz e gergelim, deve-se à sua maior resistência relativa à oxidação, o que pode conferir maior estabilidade oxidativa quando

comparados ao óleo de soja, que é predominantemente poli-insaturado (VALI ZADE *et al.*, 2024).

Tabela 23 - Índice de ácidos dienóicos conjugados (%) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
S	0,28 ± 0,00 ^{dEF}	0,32 ± 0,00 ^{cD}	0,52 ± 0,00 ^{bD}	0,63 ± 0,00 ^{aE}
A	0,19 ± 0,00 ^{dG}	0,26 ± 0,00 ^{cE}	0,39 ± 0,00 ^{bF}	0,51 ± 0,00 ^{aF}
FA	0,29 ± 0,00 ^{dDEF}	0,48 ± 0,00 ^{cB}	0,63 ± 0,00 ^{bA}	0,81 ± 0,00 ^{aA}
G	0,64 ± 0,00 ^{bA}	0,56 ± 0,00 ^{dA}	0,60 ± 0,00 ^{cAB}	0,68 ± 0,00 ^{aCD}
SA₁	0,27 ± 0,00 ^{cEF}	0,30 ± 0,00 ^{cDE}	0,47 ± 0,00 ^{bE}	0,84 ± 0,00 ^{aA}
SFA₁	0,31 ± 0,00 ^{dDE}	0,41 ± 0,00 ^{cC}	0,52 ± 0,00 ^{bD}	0,68 ± 0,00 ^{aCD}
SG₁	0,33 ± 0,00 ^{dCD}	0,46 ± 0,00 ^{cB}	0,55 ± 0,00 ^{bCD}	0,71 ± 0,00 ^{aBC}
SA₂	0,26 ± 0,00 ^{cF}	0,27 ± 0,00 ^{cE}	0,43 ± 0,00 ^{bEF}	0,54 ± 0,00 ^{aF}
SFA₂	0,38 ± 0,00 ^{cB}	0,38 ± 0,00 ^{cC}	0,62 ± 0,00 ^{bA}	0,75 ± 0,00 ^{aB}
SG₂	0,36 ± 0,00 ^{dBC}	0,50 ± 0,00 ^{cB}	0,57 ± 0,00 ^{bBC}	0,65 ± 0,00 ^{aDE}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Ao longo da estocagem, os óleos de soja, amendoim e arroz apresentaram aumento progressivo nos índices de ácidos dienóicos conjugados, enquanto o óleo de gergelim teve oscilações ao longo do tempo. Apesar dessas diferenças, todos atingiram seus maiores valores em 21 dias, refletindo a formação de compostos primários da oxidação lipídica. Inicialmente, o óleo de gergelim apresentou o maior índice, seguido pelo de arroz. No entanto, ao final do armazenamento, o óleo de arroz registrou o maior teor, seguido por gergelim, soja e, por último, amendoim. Durante toda a estocagem, o óleo de amendoim manteve os menores índices, enquanto o de soja ficou em nível intermediário. Isso evidencia que o óleo de amendoim demonstrou maior resistência à oxidação lipídica em comparação aos demais óleos puros, reforçando sua estabilidade oxidativa durante o armazenamento prolongado. Esses resultados podem ser atribuídos às diferenças na composição de ácidos graxos e ao conteúdo de antioxidantes naturais, como tocoferóis e polifenóis, que influenciam a estabilidade oxidativa dos óleos vegetais (FADDA *et al.*, 2022).

Para os óleos compostos analisados, as formulações de óleo de soja com óleos de arroz e gergelim na proporção 50:50 p/p (SFA₂ e SG₂) apresentaram os maiores índices iniciais de ácidos dienoicos conjugados, enquanto aquelas na proporção 75:25 p/p (SG₁ e SFA₁) exibiram valores intermediários. Por outro lado, as misturas de soja e amendoim, tanto na proporção 75:25 p/p (SA₁) quanto 50:50 p/p (SA₂), apresentaram os menores teores iniciais. Ao final da estocagem, a formulação SA₁ registrou o maior teor de ácidos dienoicos conjugados, seguida por SFA₂. As formulações SG₁ e SFA₁ mantiveram valores intermediários, enquanto SG₂ e SA₂ apresentaram os menores índices.

A formulação SA₁ demonstrou menor estabilidade oxidativa, indicando que a adição de 25% de óleo de amendoim não foi suficiente para reduzir a formação de dienos conjugados. Em contrapartida, a formulação SA₂ apresentou menor acúmulo desses compostos, mostrando uma melhora na estabilidade oxidativa em relação ao óleo de soja puro. Esses achados sugerem que uma proporção de 50% de óleo de amendoim é mais eficaz para promover a resistência à oxidação lipídica do óleo de soja. Além disso, o desempenho superior da formulação SA₂ indica que a incorporação do óleo de amendoim pode ser uma estratégia eficiente para aumentar a vida útil de óleos compostos, minimizando a formação de compostos oxidativos prejudiciais. Estudos indicam que a combinação de óleos vegetais pode favorecer a estabilidade oxidativa devido à interação entre antioxidantes naturais e diferentes perfis de ácidos graxos (SUMAINAH *et al.*, 2000; LI *et al.*, 2014; DHYANI *et al.*, 2022).

As formulações contendo óleos de arroz (SFA₁ e SFA₂) e gergelim (SG₁ e SG₂) não foram capazes de melhorar significativamente a estabilidade oxidativa do óleo de soja puro. No entanto, SG₂ apresentou desempenho semelhante ao óleo de soja, sugerindo que proporções maiores de óleo de gergelim poderiam contribuir para maior resistência à oxidação lipídica. Isso se deve às propriedades antioxidantes naturais do gergelim, que podem ser mais eficazes em concentrações mais elevadas (CHAU; CIOU; WU, 2021; RAMROUDI *et al.*, 2022).

O impacto do processo de refino também deve ser considerado. O óleo de soja refinado possui níveis reduzidos de compostos pró-oxidantes e antioxidantes naturais devido às etapas de degomagem, branqueamento e desodorização, o que explica seus menores índices de dienos conjugados em comparação aos óleos brutos, como amendoim, arroz e gergelim (SALEH *et al.*, 2013; ROSHNI, 2019).

De maneira geral, os resultados demonstram que os óleos compostos apresentaram desempenhos variáveis em relação à estabilidade oxidativa, com destaque para SA₂, que melhorou a resistência à oxidação do óleo de soja puro. Esse achado reforça que a escolha de proporções adequadas de óleos na formulação pode ser uma estratégia promissora para desenvolver produtos com maior estabilidade oxidativa e vida útil prolongada. Por outro lado, as formulações contendo óleos de arroz e gergelim não apresentaram melhorias na estabilidade, embora SG₂ tenha demonstrado desempenho equivalente ao óleo de soja. Esses dados destacam o potencial dos óleos compostos para a indústria de alimentos, uma vez que permitem ajustes específicos na formulação para atender às exigências de estabilidade oxidativa em diferentes aplicações.

O índice de ρ -anisidina é um parâmetro essencial para avaliar a qualidade oxidativa dos óleos, pois indica a presença de produtos secundários da oxidação, como aldeídos e cetonas (LU *et al.*, 2022). Quando o valor do índice de ρ -anisidina é inferior a 10, o óleo pode ser considerado de boa qualidade (ACHLINA; NURAZIZAH, 2024). Conforme observado na Tabela 24, a maioria dos óleos puros e compostos manteve o índice de ρ -anisidina abaixo desse limite ao longo dos 21 dias de estocagem acelerada, indicando boa estabilidade oxidativa. No entanto, o óleo de gergelim ultrapassou esse limite aos 14 dias de estocagem, enquanto SG₂ apresentou valores superiores apenas ao final do período (21 dias), indicando maior formação de produtos secundários de oxidação nesses óleos (BAZACHI *et al.*, 2024).

Ao longo da estocagem, os óleos apresentaram comportamentos diferentes para o índice de ρ -anisidina. Em relação aos óleos puros, o óleo de soja apresentou queda nos primeiros 7 dias, seguida por um aumento contínuo até o final do armazenamento. O óleo de amendoim também apresentou redução nos primeiros 7 dias, seguida por um aumento gradual ao longo do tempo. O óleo de arroz iniciou com o maior valor, apresentou queda aos sete dias, voltou a subir aos 14 dias e sofreu nova redução ao final da estocagem. O óleo de gergelim começou com o menor teor e aumentou progressivamente ao longo do armazenamento, apresentando o maior índice ao final da estocagem. Entre os óleos compostos, SA₁ e SFA₁ apresentaram comportamento semelhante, com redução nos primeiros 7 dias, seguida por aumento progressivo até o final da estocagem. Um padrão similar foi observado para SG₁, SA₂, SFA₂ e SG₂, que inicialmente apresentaram queda, mas passaram a aumentar

gradualmente a partir dos 14 dias, atingindo os maiores valores ao final do armazenamento.

Tabela 24 - Índice de ρ -anisidina dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
S	3,58 ± 0,00 ^{aDE}	1,03 ± 0,02 ^{dG}	2,29 ± 0,00 ^{cF}	3,16 ± 0,00 ^{bF}
A	2,56 ± 0,00 ^{bG}	0,14 ± 0,00 ^{dH}	1,34 ± 0,00 ^{cH}	3,06 ± 0,01 ^{aF}
FA	7,93 ± 0,00 ^{aA}	4,42 ± 0,00 ^{cC}	5,34 ± 0,00 ^{bC}	4,45 ± 0,19 ^{cD}
G	0,00 ± 0,00 ^{dH}	8,10 ± 0,08 ^{cA}	12,73 ± 0,00 ^{bA}	14,97 ± 0,00 ^{aA}
SA₁	2,85 ± 0,00 ^{bFG}	1,13 ± 0,00 ^{dFG}	1,73 ± 0,00 ^{cGH}	3,63 ± 0,01 ^{aE}
SFA₁	3,44 ± 0,00 ^{bDE}	1,49 ± 0,00 ^{dF}	3,11 ± 0,04 ^{cE}	4,30 ± 0,01 ^{aD}
SG₁	3,73 ± 0,00 ^{cD}	2,53 ± 0,00 ^{dE}	4,22 ± 0,00 ^{bD}	6,22 ± 0,01 ^{aC}
SA₂	3,20 ± 0,00 ^{aEF}	0,53 ± 0,09 ^{cH}	1,96 ± 0,01 ^{bFG}	3,39 ± 0,05 ^{aEF}
SFA₂	4,77 ± 0,00 ^{cC}	3,19 ± 0,00 ^{dD}	5,19 ± 0,00 ^{bC}	6,43 ± 0,00 ^{aC}
SG₂	5,66 ± 0,00 ^{cB}	5,27 ± 0,01 ^{dB}	7,01 ± 0,01 ^{bB}	11,39 ± 0,01 ^{aB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

A comparação dos índices de ρ -anisidina em cada tempo de estocagem revelou mudanças na estabilidade oxidativa dos óleos ao longo do período avaliado. Em relação aos óleos puros, o óleo de arroz apresentou o maior índice de ρ -anisidina no início da estocagem, seguido pelos óleos de soja e amendoim. O óleo de gergelim iniciou com o menor valor, mas, ao final da estocagem, registrou o maior índice, indicando maior formação de produtos secundários de oxidação, seguido pelo óleo de arroz. Os óleos de soja e amendoim não diferiram estatisticamente entre si, sendo os que apresentaram melhor estabilidade oxidativa ao longo do armazenamento.

Entre os óleos compostos, inicialmente, a formulação SG₂ apresentou os maiores índices de ρ -anisidina, seguida pela formulação SFA₂. Os óleos SG₁, SFA₁, SA₂ e SA₁ apresentaram valores decrescentes, com SA₁ registrando o menor índice. Ao final da estocagem, SG₂ manteve-se como o óleo composto com maior índice de ρ -anisidina, evidenciando maior formação de produtos secundários da oxidação, seguido por SFA₂ e SG₁ (sem diferença estatística entre si) e, em seguida, SFA₁. As

formulações SA₁ e SA₂ demonstraram maior resistência à formação de compostos oxidativos, mantendo os menores índices ao final do período.

Embora nenhum óleo composto tenha apresentado estabilidade oxidativa superior ao óleo de soja puro no final da estocagem, a formulação SA₂ (50:50 p/p, soja:amendoim) demonstrou desempenho semelhante ao óleo de soja. Por outro lado, a formulação SA₁ (75:25 p/p, soja:amendoim) apresentou desempenho semelhante apenas à SA₂, sugerindo que sua estabilidade oxidativa foi inferior ao óleo de soja puro. Esses resultados sugerem que a adição de 50% de óleo de amendoim foi mais eficaz para manter a estabilidade oxidativa do óleo de soja em comparação à proporção de 25%. Essa eficácia pode ser atribuída ao maior teor de tocoferóis no óleo de amendoim, que atua como antioxidante, retardando a formação de produtos oxidativos secundários (WU *et al.*, 2024).

Com exceção dos óleos de gergelim e SG₂, os demais óleos compostos apresentaram desempenho satisfatório em termos de estabilidade oxidativa, permanecendo abaixo do limite de 10, indicando que essas combinações podem contribuir para prolongar a vida útil dos óleos e reduzir a formação de compostos oxidativos indesejáveis (KAUR *et al.*, 2021; WU *et al.*, 2024). O impacto da composição antioxidante natural, como tocoferóis no óleo de amendoim (WU *et al.*, 2024), γ -orizanol no óleo de arroz (SENGUPTA; BHOWAL, 2024; TIAN *et al.*, 2024a) e lignanas no óleo de gergelim (CHAU; CIOU; WU, 2021), foi determinante para atenuar a oxidação nos óleos compostos.

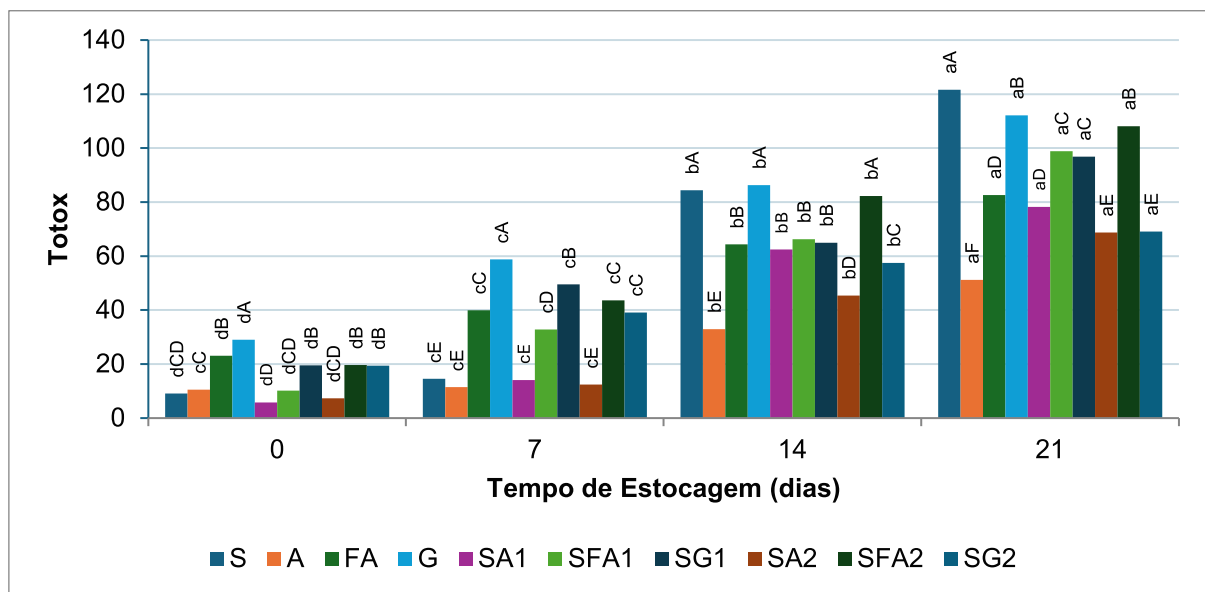
Os resultados reforçam que, embora os óleos compostos não tenham superado o desempenho do óleo de soja puro em estabilidade oxidativa, a formulação SA₂ (50:50 p/p, soja:amendoim) demonstrou potencial para manter uma estabilidade comparável. Assim, a combinação de óleos vegetais pode ser uma estratégia viável para retardar a oxidação e preservar as propriedades nutricionais, desde que as proporções e composições sejam adequadamente ajustadas (ZHANG *et al.*, 2023a).

A oxidação lipídica é amplamente influenciada por condições ambientais, como luz, calor e oxigênio, que são os principais fatores que aceleram a deterioração dos óleos. Esses fatores promovem a auto-oxidação e a foto-oxidação, resultando na formação de peróxidos e produtos secundários da oxidação, que elevam significativamente o valor total de oxidação (Totox). Além disso, as condições de armazenamento, especialmente aquelas que envolvem temperaturas elevadas,

desempenham um papel crucial na aceleração da oxidação lipídica (JAIMEZ-ORDAZ *et al.*, 2019; TURA *et al.*, 2022).

Na Figura 12, observa-se um aumento progressivo nos níveis de Totox para todos os óleos ao longo dos 21 dias de estocagem, evidenciando a degradação oxidativa contínua em todos os tratamentos. No entanto, os óleos compostos, em sua maioria, apresentaram desempenho superior aos óleos puros.

Figura 12 - Valor total de oxidação (Totox) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.



S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Para cada tratamento, as médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Para cada tempo de estocagem, médias seguidas das mesmas letras maiúsculas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Os óleos puros apresentaram diferentes susceptibilidades à oxidação ao longo da estocagem. O óleo de soja exibiu o maior índice de Totox, refletindo sua alta concentração de ácidos graxos poli-insaturados, que o torna mais suscetível à oxidação lipídica (MERRILL *et al.*, 2008; LI *et al.*, 2014). O óleo de gergelim também apresentou elevados valores de Totox ao final do armazenamento, indicando que a presença de antioxidantes naturais, como lignanas e tocoferóis, não foi suficiente para impedir a intensificação da oxidação (YEASMIN *et al.*, 2024). O óleo de arroz, embora tenha iniciado a estocagem com teores mais elevados, apresentou uma taxa de aumento menos acentuada, provavelmente devido ao efeito sinérgico do γ -orizanól e dos tocoferóis na atenuação do processo oxidativo (SENGUPTA; BHOWAL, 2024). O

óleo de amendoim demonstrou a maior estabilidade oxidativa entre os óleos puros, o que pode ser atribuído ao seu alto teor de ácidos graxos monoinsaturados e compostos fenólicos que atuam na prevenção da oxidação (FRANCO *et al.*, 2018).

Os óleos compostos SA₂ e SG₂ apresentaram as menores taxas de oxidação, com reduções de aproximadamente 43% no valor Totox em comparação ao óleo puro de soja. A formulação SA₁ apresentou desempenho intermediário, com redução de 36%. As formulações SFA₁ e SG₁, que não diferiram estatisticamente, reduziram os valores Totox em aproximadamente 18% e 20%, respectivamente. Por outro lado, a formulação SFA₂ demonstrou o menor impacto na redução da oxidação, apresentando apenas 11% de redução em relação ao óleo de soja puro. Esses resultados indicam que as formulações com óleos de amendoim e gergelim apresentaram maior resistência à oxidação ao longo da estocagem. A literatura destaca que óleos ricos em compostos antioxidantes naturais, como tocoferóis e lignanas, tendem a apresentar maior estabilidade oxidativa (GARG *et al.*, 2021; ESU; PYO; CHO, 2024).

Diferentemente dos óleos compostos contendo amendoim e gergelim, as formulações com óleo de arroz (SFA₁ e SFA₂) foram menos eficazes na contenção da oxidação lipídica, embora ainda tenham demonstrado resistência superior ao óleo puro de soja. Essa menor efetividade pode estar associada à limitação da ação antioxidante dos compostos presentes no óleo de arroz, cuja capacidade protetora se reduz ao longo do tempo (HUANG *et al.*, 2022; RAMROUDI *et al.*, 2022).

A evolução dos valores de Totox observados neste estudo confirma tendências relatadas na literatura. Estudos recentes apontam que a padronização dos métodos de análise é essencial para garantir a confiabilidade dos resultados (AMFT *et al.*, 2023), aspecto reforçado pelos achados deste estudo. Os óleos compostos demonstraram ser até 43,47% mais resistentes à degradação oxidativa em comparação com o óleo de soja puro, conforme os valores de Totox observados em 21 dias de estocagem. Esses resultados evidenciam sua viabilidade como alternativa tecnológica para a indústria de alimentos. Dessa forma, as formulações contendo óleos de gergelim e amendoim surgem como alternativas eficazes para reduzir a oxidação total e prolongar a estabilidade oxidativa dos óleos vegetais (TURA *et al.*, 2022; ONWUZURUIKE *et al.*, 2024).

Os resultados deste estudo reforçam a importância dos óleos compostos para aumentar a resistência à oxidação durante o armazenamento. Estudos indicam que

misturas contendo óleos vegetais, especialmente os ricos em ácidos graxos monoinsaturados, como gergelim e amendoim, podem melhorar significativamente os parâmetros oxidativos, incluindo o índice Totox (HOUKETCHANG NDOMOU *et al.*, 2023). No presente estudo, as formulações SA₂ e SG₂ apresentaram as maiores reduções na oxidação, atingindo até 43,47% de redução em relação ao óleo de soja puro, evidenciando sua viabilidade como alternativa tecnológica para a indústria de alimentos.

Além disso, os óleos compostos também apresentam vantagens na formulação de produtos alimentícios. A elevada resistência à oxidação não apenas prolonga a vida útil dos alimentos processados, mas também assegura a preservação das propriedades nutricionais e sensoriais por períodos prolongados. Essa característica é essencial para atender à crescente demanda do mercado por alimentos de alta qualidade e maior estabilidade oxidativa, conforme destacado por Blasi e Cossignani (2020). Assim, a incorporação de óleos compostos surge como uma estratégia para o desenvolvimento de alimentos mais estáveis e nutritivos, alinhados às expectativas de consumidores que buscam qualidade e saúde.

O teste Rancimat é amplamente utilizado para avaliar a estabilidade oxidativa de óleos e gorduras, fornecendo uma estimativa da vida útil do óleo em termos de resistência à oxidação sob condições aceleradas de temperatura e fluxo de ar (GHEONEA *et al.*, 2020). No presente estudo, esse método foi empregado para avaliar o desempenho oxidativo de diferentes óleos ao longo de 21 dias de estocagem acelerada em estufa a 60°C, apresentados na Tabela 25.

Em relação aos óleos puros, o óleo de amendoim apresentou a maior estabilidade oxidativa em todos os períodos de estocagem, destacando-se como o mais resistente à oxidação. Ao final dos 21 dias, o óleo de amendoim foi aproximadamente 27% mais estável que o óleo de soja, cerca de 40% mais estável que o óleo de arroz e aproximadamente 352% mais estável que o óleo de gergelim. Esses resultados evidenciam a superioridade do óleo de amendoim em termos de resistência oxidativa, possivelmente devido à sua composição rica em ácidos graxos monoinsaturados e antioxidantes naturais que retardam os processos de oxidação (PENG *et al.*, 2024).

Tabela 25 - Índice de estabilidade oxidativa (h) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
S	7,14 ± 0,00 ^{aD}	5,06 ± 0,01 ^{bC}	4,09 ± 0,00 ^{cBC}	3,73 ± 0,00 ^{cBC}
A	10,20 ± 0,12 ^{aA}	7,92 ± 0,09 ^{bA}	5,80 ± 0,01 ^{cA}	4,75 ± 0,09 ^{dA}
FA	5,64 ± 0,01 ^{aF}	4,04 ± 0,08 ^{bE}	3,47 ± 0,04 ^{cD}	3,40 ± 0,01 ^{cCD}
G	1,91 ± 0,00 ^{aI}	1,64 ± 0,00 ^{abH}	1,30 ± 0,01 ^{bcG}	1,05 ± 0,00 ^{cH}
SA₁	8,12 ± 0,00 ^{aC}	5,42 ± 0,00 ^{bC}	4,04 ± 0,03 ^{cC}	2,33 ± 0,01 ^{dF}
SFA₁	6,64 ± 0,00 ^{aE}	4,59 ± 0,00 ^{bD}	3,72 ± 0,00 ^{cCD}	2,98 ± 0,02 ^{dDE}
SG₁	4,46 ± 0,00 ^{aG}	3,30 ± 0,05 ^{bF}	2,94 ± 0,01 ^{cE}	2,33 ± 0,01 ^{dF}
SA₂	8,86 ± 0,01 ^{aB}	6,36 ± 0,00 ^{bB}	4,54 ± 0,00 ^{cB}	3,96 ± 0,01 ^{dB}
SFA₂	6,34 ± 0,04 ^{aE}	4,43 ± 0,00 ^{bDE}	3,55 ± 0,00 ^{cD}	2,83 ± 0,03 ^{dE}
SG₂	3,59 ± 0,00 ^{aH}	2,53 ± 0,00 ^{bG}	2,09 ± 0,00 ^{cF}	1,70 ± 0,00 ^{dG}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

O óleo de soja ocupou o segundo lugar em estabilidade oxidativa, o que pode ser atribuído ao processo de refino, que remove compostos pró-oxidantes e promove maior resistência à oxidação durante o armazenamento (CHEW; TAN; NYAM, 2019). O óleo de arroz, embora tenha apresentado melhor estabilidade inicial, foi aproximadamente 9% menos estável que o óleo de soja ao final do armazenamento, sugerindo que a ausência de refino e sua composição de ácidos graxos influenciaram negativamente sua resistência à oxidação (DISSANAYAKE *et al.*, 2023).

Por outro lado, o óleo de gergelim apresentou os menores índices de estabilidade oxidativa ao longo de toda a estocagem, evidenciando sua elevada susceptibilidade à oxidação lipídica (GEBREMESKEL *et al.*, 2022). Em 21 dias, sua estabilidade reduziu em aproximadamente 45% em relação ao valor inicial, indicando que, apesar da presença de antioxidantes naturais, a degradação oxidativa ocorreu de forma expressiva. Esse comportamento pode ser explicado pela alta proporção de ácidos graxos poli-insaturados em sua composição, os quais são mais suscetíveis à peroxidação lipídica. Além disso, embora o óleo de gergelim contenha compostos antioxidantes como lignanas, sesamina e sesamolina, esses antioxidantes podem ter sofrido degradação térmica ou não ter sido suficientemente eficazes para conter a

oxidação durante o teste Rancimat, que expõe os óleos a condições aceleradas de temperatura e fluxo contínuo de oxigênio, intensificando os processos oxidativos (CHAU; CIOU; WU, 2021).

Entre as formulações compostas por soja e amendoim, SA₂ (50:50 p/p) manteve aproximadamente 45% da sua estabilidade inicial, destacando-se como a única capaz de melhorar a estabilidade oxidativa do óleo de soja puro ao longo da estocagem. Essa melhora pode ser atribuída à maior proporção de óleo de amendoim, responsável por aumentar a concentração de tocoferóis e ácidos graxos monoinsaturados, que retardam os processos de oxidação (SZYDŁOWSKA-CZERNIAK; RABIEJ, 2018; ZULU; KAYITESI; OGUNDELE, 2021; WU *et al.*, 2024). Por outro lado, SA₁ (75:25 p/p) não melhorou a estabilidade oxidativa do óleo de soja puro, mas apresentou resistência satisfatória nos primeiros 14 dias, sugerindo que proporções menores de óleo de amendoim podem contribuir para retardar a oxidação em um prazo mais curto.

Os óleos compostos por soja e arroz, SFA₁ (75:25 p/p) e SFA₂ (50:50 p/p), ocuparam posições intermediárias em relação à estabilidade oxidativa, que é influenciada pelo equilíbrio entre antioxidantes naturais e ácidos graxos poli-insaturados. Apesar do γ -orizanol presente no óleo de arroz apresentar forte capacidade antioxidante (SENGUPTA; BHOWAL, 2024), a maior proporção de óleo de arroz na formulação SFA₂ comprometeu sua estabilidade oxidativa devido ao aumento nos níveis de ácidos graxos poli-insaturados, que são mais suscetíveis à oxidação (DISSANAYAKE *et al.*, 2023; PENG *et al.*, 2024). Por outro lado, SFA₁, contendo menor fração de óleo de arroz, mostrou-se mais estável ao final da estocagem, sugerindo que proporções mais baixas desse óleo podem minimizar o impacto da oxidação.

Assim como o óleo puro de gergelim, os compostos por soja e gergelim (SG₁ e SG₂) também apresentaram resistência inferior à oxidação. A formulação SG₂, com maior proporção de óleo de gergelim, perdeu aproximadamente 53% de sua estabilidade inicial em 21 dias, enquanto SG₁ sofreu redução de cerca de 48%, indicando que a presença de antioxidantes naturais no óleo de gergelim não foi suficiente para conter a degradação oxidativa em longo prazo. Apesar dessas diferenças percentuais, não houve diferenças estatísticas significativas entre SG₁ e SA₁ (soja e amendoim, 75:25 p/p), sugerindo que a presença de gergelim na mistura

não conferiu melhorias adicionais na estabilidade oxidativa em comparação ao óleo de soja puro. Isso reflete a complexidade da composição de óleos brutos, onde mesmo óleos ricos em ácidos graxos monoinsaturados, como o gergelim, podem apresentar menor estabilidade oxidativa sob certas condições de estocagem acelerada, possivelmente devido à degradação térmica dos compostos antioxidantes ou à presença de constituintes pró-oxidantes (BORDÓN *et al.*, 2019).

Os resultados demonstraram que a formulação SA₂ (50:50 p/p, soja:amendoim) foi a única a conferir maior estabilidade ao óleo de soja puro, evidenciando a importância de ajustar as proporções dos componentes nas misturas. As demais formulações não apresentaram desempenho superior ao óleo de soja puro, reforçando a necessidade de estratégias adicionais para otimizar a estabilidade oxidativa, como o uso de antioxidantes ou ajustes das condições de armazenamento, especialmente temperatura e exposição ao oxigênio.

As análises de variância para compostos fenólicos e carotenoides dos óleos submetidos a estocagem acelerada a 60°C estão apresentadas no Apêndice I. Como observado, o teste F foi significativo ($p < 0,01$) para todos os tratamentos, tempos de estocagem e suas interações. Dessa forma, procedeu-se ao desdobramento das interações, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 26 e 27.

A Tabela 26 apresenta os teores de compostos fenólicos totais (mg/kg) dos diferentes óleos, bem como de seus óleos compostos, ao longo de 21 dias de estocagem acelerada em estufa. Esses compostos atuam na prevenção da oxidação lipídica, funcionando como antioxidantes que inibem a formação de radicais livres e interrompem reações oxidativas em cadeia, preservando a qualidade dos óleos (SAKURAI *et al.*, 2022). O comportamento dos óleos ao longo do tempo apresentou variações, refletindo diferenças na preservação dos compostos fenólicos. Essa variação pode ser influenciada tanto pela composição inicial dos óleos quanto pelas interações entre seus compostos bioativos ao longo do armazenamento.

Em relação aos óleos puros, o óleo de gergelim apresentou os maiores teores iniciais de compostos fenólicos totais, seguido pelos óleos de amendoim, soja e arroz, este último com os menores valores. Essa superioridade inicial do óleo de gergelim pode ser atribuída à presença de lignanas, como sesamina e sesamolina, e ao elevado teor de tocoferóis, compostos conhecidos por sua forte ação antioxidante e papel na estabilidade oxidativa (CHAU; CIOU; WU, 2021; OBOULBIGA *et al.*, 2023). Ao longo

da estocagem, o óleo de gergelim manteve os maiores teores de compostos fenólicos, com retenção final de 99%. Já o óleo de amendoim apresentou comportamento estatisticamente semelhante ao de gergelim ao final dos 21 dias, com retenção de 118%, apesar das flutuações durante a estocagem.

Tabela 26 - Compostos fenólicos totais (mg/kg) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
S	122,69 ± 12,50 ^{aD}	97,06 ± 3,12 ^{bF}	100,81 ± 9,42 ^{bE}	106,75 ± 9,59 ^{bD}
A	136,12 ± 9,55 ^{cC}	174,56 ± 7,03 ^{aB}	160,19 ± 3,12 ^{bC}	160,81 ± 0,78 ^{bB}
FA	89,56 ± 0,78 ^{bE}	74,56 ± 0,78 ^{cG}	98,62 ± 9,55 ^{abE}	105,50 ± 8,71 ^{aD}
G	175,19 ± 3,12 ^{bB}	197,37 ± 13,80 ^{aA}	196,43 ± 11,70 ^{aA}	173,31 ± 10,32 ^{bB}
SA₁	147,37 ± 0,20 ^{aC}	103,94 ± 3,12 ^{bEF}	89,25 ± 10,91 ^{cE}	112,69 ± 3,12 ^{bD}
SFA₁	110,18 ± 7,03 ^{aD}	96,75 ± 10,61 ^{bF}	101,12 ± 12,80 ^{abE}	110,50 ± 15,79 ^{aD}
SG₁	173,00 ± 0,19 ^{aB}	118,94 ± 3,12 ^{cD}	183,00 ± 1,77 ^{aB}	147,68 ± 9,12 ^{bC}
SA₂	121,75 ± 0,19 ^{aD}	103,62 ± 7,93 ^{bEF}	94,56 ± 0,78 ^{bE}	118,31 ± 7,03 ^{aD}
SFA₂	224,25 ± 4,87 ^{aA}	113,94 ± 3,12 ^{bDE}	119,87 ± 9,60 ^{bD}	86,75 ± 1,77 ^{cE}
SG₂	143,00 ± 1,77 ^{cC}	151,44 ± 3,12 ^{bcC}	156,75 ± 0,19 ^{bC}	194,87 ± 1,75 ^{aA}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Por outro lado, os óleos de soja e arroz exibiram comportamento distinto, sem diferenças estatísticas entre si. As oscilações observadas nesses óleos podem estar relacionadas à instabilidade de determinados antioxidantes ou à degradação de compostos fenólicos sob condições de estocagem acelerada. A retenção dos compostos fenólicos nesses óleos foi de 87% e 118%, respectivamente. O aumento relativo observado nos óleos de amendoim e arroz pode estar relacionado a reações secundárias entre compostos antioxidantes ou a interferências do método Folin-Ciocalteu, que pode superestimar os teores de fenólicos (PENG *et al.*, 2024). Embora os teores iniciais sejam elevados, o declínio ao longo do tempo é inevitável, especialmente sob estocagem acelerada. Estudos indicam que compostos fenólicos em óleos vegetais tendem a diminuir progressivamente em condições oxidativas, impactando sua estabilidade e qualidade (LOBO-PRIETO *et al.*, 2023).

Nos óleos compostos, SFA₂ apresentou inicialmente o maior teor de compostos fenólicos totais, seguido por SG₁, enquanto SA₁ e SG₂ não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Por fim, SFA₁ e SA₂ exibiram os menores teores iniciais. Esse comportamento pode ser explicado pela sinergia entre os componentes antioxidantes dos óleos compostos, que potencializam a capacidade antioxidante e resultam em maior retenção inicial dos compostos fenólicos (SKROZA *et al.*, 2022; BAYRAM; DECKER, 2023).

Ao final do período de estocagem, SG₂ demonstrou a melhor preservação de compostos fenólicos totais, alcançando o maior teor final entre todos os óleos avaliados, com retenção de 136%. A formulação SG₁ apresentou retenção de 85%, enquanto SA₁, SFA₁ e SA₂ não apresentaram diferenças estatísticas significativas, com retenções cerca de 76%, 100% e 97%, respectivamente. Por outro lado, SFA₂ exibiu a maior degradação, com retenção de apenas 39%, o que sugere que a composição do óleo de arroz impactou negativamente sua estabilidade oxidativa. Segundo Dissanayake *et al.* (2023) e Peng *et al.* (2024), a composição rica em ácidos graxos poli-insaturados pode reduzir a estabilidade oxidativa, comprometendo a preservação de compostos bioativos, mesmo na presença de antioxidantes naturais, como o γ -orizanol.

Contudo, em 21 dias de estocagem, os óleos compostos SA₁, SFA₁ e SA₂ apresentaram valores de compostos fenólicos totais estatisticamente semelhantes aos dos óleos puros de soja e arroz. Essa tendência de convergência ao longo do tempo sugere que a degradação oxidativa atinge um equilíbrio, reduzindo as diferenças iniciais entre os óleos puros e compostos. Majetić Germek *et al.* (2024) identificaram padrões similares de interação entre compostos fenólicos, indicando que essas interações podem reduzir as diferenças na retenção de compostos bioativos. Resultados semelhantes foram reportados por Lerma-García *et al.* (2009), que observaram que a preservação de compostos fenólicos tende a se igualar entre óleos compostos e puros ao longo do tempo em condições de estocagem acelerada. Esse comportamento foi relatado por Castelo-Branco *et al.* (2016), que destacaram que a capacidade antioxidante pode ser utilizada como um indicador de estabilidade, refletindo mecanismos oxidativos semelhantes, independentemente da composição inicial.

Esses achados indicam que, embora os óleos compostos possam apresentar uma preservação superior de compostos fenólicos nos estágios iniciais da estocagem, essa vantagem tende a desaparecer ao longo do tempo. Portanto, estratégias como o enriquecimento com compostos fenólicos ou o ajuste das proporções de óleos na formulação podem ser fundamentais para otimizar a estabilidade oxidativa durante o armazenamento (FOTIADOU *et al.*, 2024; VENDRELL CALATAYUD *et al.*, 2024). Além disso, destaca-se a importância de considerar o tempo de estocagem ao avaliar a eficácia dos óleos compostos na manutenção de compostos bioativos e na preservação da estabilidade oxidativa.

A Tabela 27 apresenta os teores de carotenoides ($\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$) dos diferentes óleos, bem como de seus óleos compostos, ao longo de 21 dias de estocagem acelerada. Os carotenoides desempenham papel essencial na proteção contra degradação oxidativa devido às suas propriedades antioxidantes, amplamente reconhecidas na literatura (ARSLANSOY; FIDAN, 2024). No entanto, esses compostos são altamente suscetíveis à degradação quando expostos a altas temperaturas e oxigênio, resultando em reduções significativas ao longo do tempo (PAN *et al.*, 2019).

Os teores de carotenoides totais nos óleos puros apresentaram variações ao longo da estocagem, evidenciando a degradação térmica e oxidativa desses compostos. Inicialmente, o óleo de amendoim apresentou o maior teor, seguido pelos óleos de arroz e gergelim, enquanto o óleo de soja apresentou a menor concentração. No entanto, ao final da estocagem, o óleo de gergelim passou a exibir os maiores teores, enquanto os óleos de soja, amendoim e arroz apresentaram valores estatisticamente equivalentes. Isso sugere que a degradação dos carotenoides não ocorreu de maneira uniforme entre os óleos, possivelmente devido às diferenças na composição antioxidante e à interação desses compostos com os ácidos graxos de cada matriz lipídica.

Nos óleos compostos, também foram observadas variações nos teores de carotenoides durante o armazenamento, refletindo a influência das misturas na estabilidade dos pigmentos. No tempo zero, SG₁ e SA₂ apresentaram os maiores teores, seguidos por SG₂ e SFA₂. Aos 21 dias, SG₁ manteve-se com os maiores teores, seguido por SFA₁, SA₂ e SG₂ que não diferiram estatisticamente entre si. Esses resultados indicam que a preservação dos carotenoides foi modulada tanto pela

composição individual dos óleos quanto pela proporção dos componentes na mistura, influenciando sua estabilidade antioxidante.

Tabela 27 - Carotenoides ($\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C .

Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
S	5,69 \pm 0,18 ^{cE}	17,82 \pm 0,86 ^{bF}	45,55 \pm 5,58 ^{aD}	42,59 \pm 0,10 ^{aC}
A	57,31 \pm 2,83 ^{bB}	47,69 \pm 1,62 ^{cC}	63,71 \pm 1,02 ^{aA}	42,88 \pm 0,92 ^{dC}
FA	49,88 \pm 3,48 ^{aC}	48,13 \pm 1,80 ^{abC}	44,81 \pm 0,54 ^{bcD}	42,53 \pm 0,10 ^{cC}
G	17,82 \pm 0,01 ^{dD}	40,57 \pm 5,64 ^{cD}	46,43 \pm 1,66 ^{bD}	55,06 \pm 1,80 ^{aB}
SA₁	58,38 \pm 0,90 ^{aB}	5,76 \pm 0,07 ^{dH}	30,49 \pm 1,04 ^{cF}	43,24 \pm 1,66 ^{bC}
SFA₁	56,37 \pm 1,81 ^{aB}	54,63 \pm 0,91 ^{abAB}	21,90 \pm 1,48 ^{cG}	50,94 \pm 0,72 ^{bB}
SG₁	69,18 \pm 4,87 ^{aA}	51,43 \pm 0,45 ^{cBC}	54,25 \pm 3,81 ^{cB}	61,28 \pm 1,79 ^{bA}
SA₂	70,04 \pm 2,81 ^{aA}	11,33 \pm 0,28 ^{cG}	53,00 \pm 0,10 ^{bBC}	51,65 \pm 0,44 ^{bB}
SFA₂	58,43 \pm 8,61 ^{aB}	33,95 \pm 1,79 ^{cE}	37,40 \pm 0,18 ^{bcE}	40,94 \pm 0,01 ^{bC}
SG₂	60,39 \pm 5,20 ^{aB}	58,50 \pm 2,55 ^{aA}	49,15 \pm 0,01 ^{bCD}	50,51 \pm 0,17 ^{bB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias \pm desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

As formulações contendo amendoim (SA₁ e SA₂) apresentaram retenções de aproximadamente 74%. No entanto, apenas SA₂ manteve teores superiores ao óleo de soja puro, demonstrando maior eficiência na preservação dos carotenoides ao longo do armazenamento. Esse resultado reforça estudos anteriores que indicam a presença de compostos antioxidantes lipofílicos no óleo de amendoim, como os próprios carotenoides residuais e os tocoferóis, os quais atuam na proteção contra a degradação térmica e oxidativa desses pigmentos (OLMEDO; RIBOTTA; GROSSO, 2018; JIA *et al.*, 2021; RAMROUDI *et al.*, 2022). A formulação SA₁, por outro lado, apresentou retenção semelhante à do óleo de soja, sugerindo que a proporção de amendoim utilizada pode não ter sido suficiente para melhorar significativamente a estabilidade dos carotenoides.

Os óleos compostos contendo arroz (SFA₁ e SFA₂) apresentaram retenções de aproximadamente 90% e 70%, respectivamente. A formulação SFA₁ destacou-se por apresentar teores superiores ao óleo de soja puro, comprovando sua capacidade de

melhorar a estabilidade antioxidante. Por outro lado, SFA₂ não apresentou vantagem estatística sobre o óleo de soja puro, sugerindo que sua composição pode não ter sido ideal para a preservação dos carotenoides. É importante destacar que o óleo de soja utilizado neste estudo é refinado, e, portanto, possui teores naturalmente reduzidos de carotenoides, uma vez que grande parte desses compostos é removida durante o processo de refino. A preservação observada pode estar associada à presença de γ -orizanol e tocoferóis, compostos antioxidantes do farelo de arroz com reconhecido potencial na proteção de pigmentos como os carotenoides (DUANGSA *et al.*, 2024; NUGRAHANI *et al.*, 2024).

As formulações contendo gergelim (SG₁ e SG₂) também demonstraram boa retenção de carotenoides, com aproximadamente 88% e 84%, respectivamente. O óleo composto SG₁ apresentou os maiores teores ao final da estocagem, enquanto SG₂ também superou o óleo de soja puro, evidenciando o efeito protetor do óleo de gergelim na estabilização dos carotenoides. Estudos como os de Al Amin *et al.* (2023), demonstrou que o óleo de gergelim pode reduzir significativamente a degradação oxidativa quando combinado com óleo de soja, enquanto Li *et al.* (2014) e Khakbaz Heshmati *et al.* (2022), evidenciaram seu papel em oferecer proteção adicional em formulações compostas.

Os resultados indicam que as formulações SFA₁, SG₁, SA₂ e SG₂ apresentaram teores de carotenoides superiores ao óleo de soja puro, que apresentou apenas teores residuais devido à remoção desses compostos durante o processamento, demonstrando maior capacidade de preservação dos compostos bioativos. Essas formulações confirmam o potencial dos óleos compostos para ampliar a estabilidade dos carotenoides e, conseqüentemente, melhorar sua funcionalidade antioxidante. Por outro lado, SA₁ e SFA₂ apresentaram retenções satisfatórias, não se destacaram em relação ao óleo de soja e seus respectivos óleos puros, sugerindo a necessidade de ajustes na composição para potencializar a proteção dos pigmentos ao longo do armazenamento.

As análises de variância para tocoferóis e vitamina E dos óleos submetidos a estocagem acelerada a 60°C estão apresentadas no Apêndice J. Como observado, o teste F foi significativo ($p < 0,01$) para todos os tratamentos, tempos de estocagem e sua interação. Dessa forma, procedeu-se ao desdobramento das interações, cujos resultados encontram-se na Tabela 28 e Figura 13.

Tabela 28 - Teores de tocoferóis (mg/kg) e vitamina E (mg/kg) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

(continua)

Tocoferóis/ Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
α-tocoferol				
S	47,00 ± 0,01 ^{aJ}	45,68 ± 0,01 ^{bl}	41,55 ± 0,00 ^{cl}	37,19 ± 0,03 ^{dH}
A	70,40 ± 0,00 ^{aE}	70,39 ± 0,01 ^{aE}	53,46 ± 0,02 ^{bE}	45,27 ± 0,03 ^{cF}
FA	96,73 ± 0,00 ^{aD}	95,61 ± 0,03 ^{bD}	91,49 ± 0,04 ^{cD}	72,53 ± 0,02 ^{dD}
G	976,07 ± 0,01 ^{aA}	830,91 ± 0,00 ^{bA}	819,56 ± 0,12 ^{cA}	777,86 ± 1,02 ^{dA}
SA ₁	54,26 ± 0,01 ^{al}	44,10 ± 0,05 ^{bj}	44,06 ± 0,01 ^{bH}	36,27 ± 0,01 ^{chI}
SFA ₁	60,46 ± 0,04 ^{aG}	57,52 ± 0,01 ^{bG}	47,35 ± 0,15 ^{cG}	35,80 ± 0,00 ^{dl}
SG ₁	267,48 ± 0,01 ^{aC}	266,20 ± 0,03 ^{bC}	264,73 ± 0,00 ^{cC}	241,09 ± 0,01 ^{dC}
SA ₂	57,93 ± 0,00 ^{aH}	54,67 ± 0,00 ^{bH}	43,93 ± 0,01 ^{ch}	43,53 ± 0,04 ^{cG}
SFA ₂	66,35 ± 0,02 ^{aF}	66,44 ± 0,04 ^{aF}	49,57 ± 0,00 ^{bF}	46,58 ± 0,04 ^{cE}
SG ₂	531,62 ± 0,06 ^{aB}	529,92 ± 1,01 ^{bB}	491,40 ± 0,12 ^{cB}	445,35 ± 0,16 ^{dB}
γ-tocoferol				
S	186,95 ± 0,45 ^{aD}	179,32 ± 0,00 ^{bD}	179,25 ± 0,01 ^{bD}	178,96 ± 0,02 ^{bD}
A	127,01 ± 0,00 ^{al}	126,37 ± 0,00 ^{aH}	108,30 ± 0,00 ^{bj}	105,38 ± 0,12 ^{cJ}
FA	111,28 ± 0,00 ^{aJ}	111,26 ± 0,00 ^{al}	110,31 ± 0,10 ^{bl}	109,54 ± 0,03 ^{cl}
G	2254,76 ± 0,01 ^{aA}	2001,5 ± 0,01 ^{bA}	1995,16 ± 0,03 ^{cA}	1906,81 ± 0,38 ^{dA}
SA ₁	169,38 ± 0,11 ^{aE}	140,65 ± 0,01 ^{bF}	140,13 ± 0,00 ^{bF}	139,41 ± 0,00 ^{cE}
SFA ₁	161,96 ± 0,03 ^{aF}	151,60 ± 0,16 ^{bE}	143,42 ± 0,29 ^{cE}	127,80 ± 0,07 ^{dF}
SG ₁	698,36 ± 0,01 ^{aC}	698,33 ± 0,00 ^{aC}	685,54 ± 0,00 ^{bC}	620,27 ± 0,06 ^{cC}
SA ₂	149,54 ± 0,16 ^{aG}	140,30 ± 0,06 ^{bF}	124,10 ± 0,01 ^{cG}	124,46 ± 0,12 ^{cG}
SFA ₂	132,47 ± 0,19 ^{aH}	131,95 ± 0,02 ^{aG}	113,59 ± 0,02 ^{bH}	113,40 ± 0,04 ^{bH}
SG ₂	1221,41 ± 0,08 ^{aB}	1220,20 ± 0,04 ^{bB}	1219,61 ± 0,06 ^{bB}	1134,93 ± 0,03 ^{cB}
δ-tocoferol				
S	52,23 ± 0,00 ^{aA}	50,45 ± 0,01 ^{bA}	49,89 ± 0,00 ^{cA}	49,92 ± 0,00 ^{cA}
A	34,77 ± 0,00 ^{aH}	34,17 ± 0,04 ^{bF}	30,42 ± 0,07 ^{ch}	28,61 ± 0,01 ^{dF}
FA	37,19 ± 0,01 ^{aG}	36,49 ± 0,00 ^{bE}	33,58 ± 0,02 ^{cG}	32,95 ± 0,01 ^{dE}
G	nd	nd	nd	nd
SA ₁	47,22 ± 0,01 ^{aC}	40,43 ± 0,03 ^{bC}	40,12 ± 0,01 ^{bC}	38,94 ± 0,01 ^{cC}
SFA ₁	48,92 ± 0,00 ^{aB}	44,17 ± 0,03 ^{bB}	42,40 ± 0,19 ^{cB}	39,72 ± 0,06 ^{dB}
SG ₁	38,39 ± 0,00 ^{aF}	37,46 ± 0,00 ^{bD}	34,88 ± 0,04 ^{cF}	33,10 ± 0,01 ^{dE}

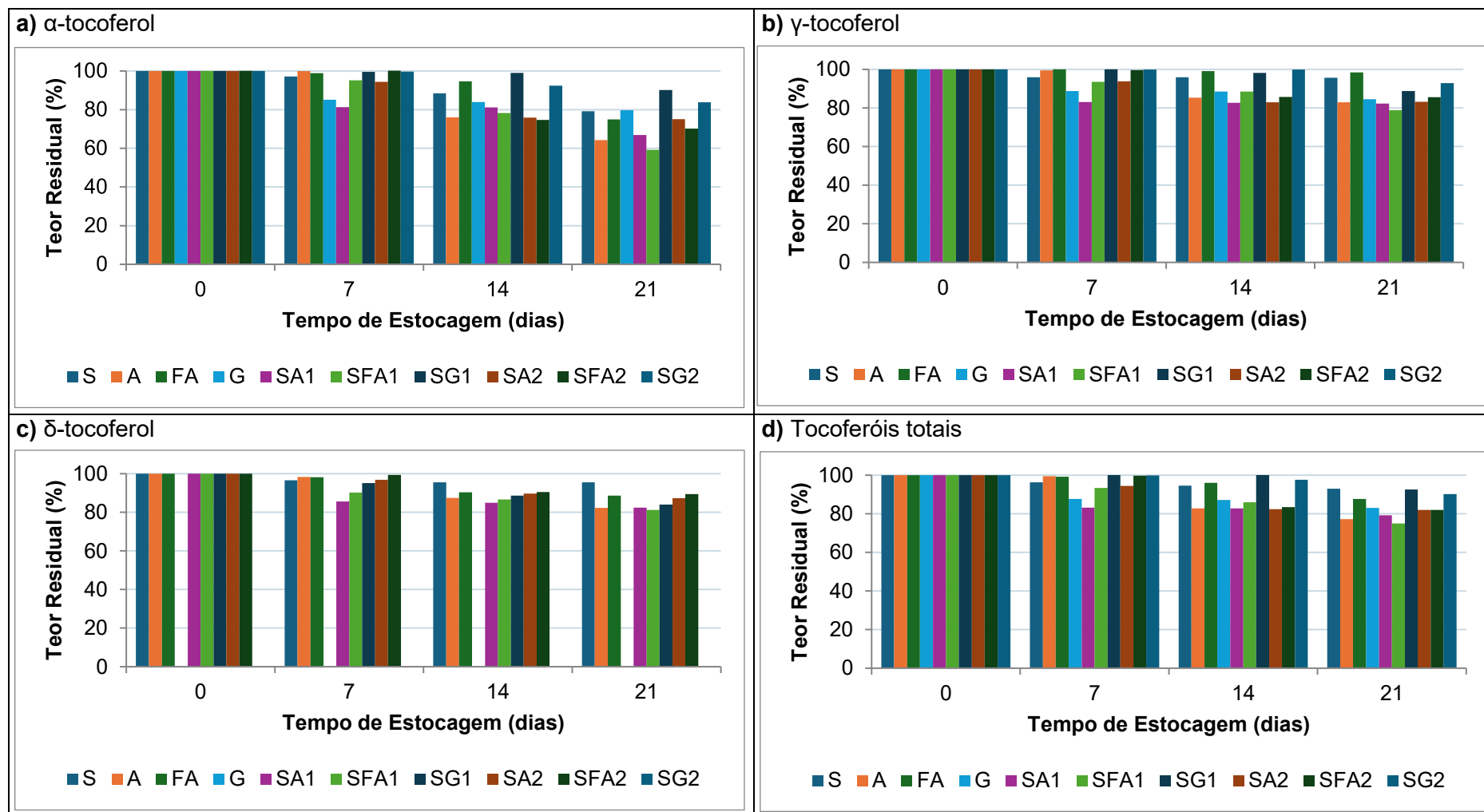
Tabela 28 - Teores de tocoferóis (mg/kg) e vitamina E (mg/kg) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

(continuação)

Tocoferóis/ Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
δ-tocoferol				
SA ₂	41,70 ± 0,03 ^{aD}	40,37 ± 0,03 ^{bC}	37,40 ± 0,06 ^{cD}	36,39 ± 0,08 ^{dD}
SFA ₂	40,34 ± 0,02 ^{aE}	40,10 ± 0,00 ^{aC}	36,53 ± 0,05 ^{bE}	36,10 ± 0,00 ^{bD}
SG ₂	nd	nd	nd	nd
Totais				
S	286,19 ± 0,67 ^{aD}	275,45 ± 0,02 ^{bD}	270,70 ± 0,03 ^{cD}	266,07 ± 0,08 ^{dD}
A	232,18 ± 0,00 ^{aI}	230,94 ± 0,00 ^{bI}	192,19 ± 0,23 ^{cJ}	179,27 ± 0,01 ^{dH}
FA	245,20 ± 0,01 ^{aG}	243,36 ± 0,02 ^{bF}	235,39 ± 0,07 ^{cE}	215,02 ± 0,04 ^{dE}
G	3230,83 ± 0,04 ^{aA}	2832,46 ± 0,04 ^{bA}	2814,72 ± 0,04 ^{cA}	2684,68 ± 2,64 ^{dA}
SA ₁	270,86 ± 0,09 ^{aE}	225,19 ± 0,10 ^{bJ}	224,32 ± 0,00 ^{bG}	214,63 ± 0,07 ^{cE}
SFA ₁	271,35 ± 0,00 ^{aE}	253,30 ± 0,42 ^{bE}	233,18 ± 0,24 ^{cF}	203,32 ± 0,30 ^{dF}
SG ₁	1004,23 ± 0,05 ^{aC}	1002,00 ± 0,01 ^{bC}	985,15 ± 0,04 ^{cC}	894,46 ± 0,00 ^{dC}
SA ₂	249,18 ± 0,34 ^{aF}	235,35 ± 0,12 ^{bH}	205,43 ± 0,19 ^{cH}	204,39 ± 0,08 ^{cF}
SFA ₂	239,16 ± 0,19 ^{aH}	238,50 ± 0,00 ^{aG}	199,70 ± 0,17 ^{bI}	196,09 ± 0,14 ^{cG}
SG ₂	1753,04 ± 0,00 ^{aB}	1750,12 ± 0,66 ^{bB}	1711,01 ± 0,01 ^{cB}	1580,29 ± 0,34 ^{dB}
Vitamina E*				
S	72,97 ± 0,04 ^{aH}	70,59 ± 0,01 ^{bI}	66,45 ± 0,00 ^{cEF}	62,05 ± 0,03 ^{dE}
A	88,03 ± 0,00 ^{aE}	87,93 ± 0,01 ^{aE}	68,51 ± 0,02 ^{bE}	59,90 ± 0,02 ^{cF}
FA	112,24 ± 0,00 ^{aD}	111,11 ± 0,03 ^{aD}	106,84 ± 0,02 ^{bD}	87,76 ± 0,03 ^{cD}
G	1283,54 ± 0,01 ^{aA}	1106,35 ± 13,00 ^{bA}	1091,62 ± 0,11 ^{cA}	1037,88 ± 1,20 ^{dA}
SA ₁	77,79 ± 0,02 ^{aG}	63,65 ± 0,04 ^{bJ}	63,53 ± 0,01 ^{bG}	55,64 ± 0,01 ^{cG}
SFA ₁	82,99 ± 0,04 ^{aF}	78,60 ± 0,02 ^{bG}	67,29 ± 0,21 ^{cEF}	53,59 ± 0,00 ^{dG}
SG ₁	363,06 ± 0,01 ^{aC}	361,77 ± 0,03 ^{aC}	358,53 ± 0,00 ^{bC}	325,97 ± 0,00 ^{cC}
SA ₂	78,70 ± 0,00 ^{aG}	74,17 ± 0,00 ^{bH}	61,19 ± 0,01 ^{cH}	60,83 ± 0,06 ^{cEF}
SFA ₂	84,78 ± 0,04 ^{aF}	84,80 ± 0,03 ^{aF}	65,40 ± 0,00 ^{bFG}	62,37 ± 0,05 ^{cE}
SG ₂	698,18 ± 0,04 ^{aB}	696,31 ± 0,95 ^{bB}	657,94 ± 0,00 ^{cB}	600,12 ± 0,18 ^{dB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). nd: não detectado ($\alpha \leq 3,15$ mg/kg, $\gamma \leq 8,65$ mg/kg e $\delta \leq 2,30$ mg/kg.). *expressa como alfa tocol. Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Figura 13 - Retenção (%) de tocoferóis totais e seus homólogos dos óleos ao final da estocagem acelerada a 60°C.



S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). nd: não detectado ($\alpha \leq 3,15$ mg/kg, $\gamma \leq 8,65$ mg/kg e $\delta \leq 2,30$ mg/kg).

Os cromatogramas dos perfis de tocoferóis encontram-se nos Apêndices D-F. Como esperado, todos os óleos apresentaram degradação dos tocoferóis ao longo do tempo, efeito associado à exposição a temperaturas mais elevadas e presença de oxigênio, conforme amplamente relatado na literatura (RÉBLOVÁ; TICHOVSKÁ; DOLEŽAL, 2009; KMIECIK *et al.*, 2019).

A interpretação dos teores absolutos de tocoferóis ao longo do tempo deve considerar que concentrações mais elevadas em qualquer fase da estocagem não garantem maior retenção. A degradação desses compostos depende do perfil de ácidos graxos, da presença de antioxidantes naturais e da suscetibilidade à oxidação lipídica (ZAUNSCHIRM *et al.*, 2018). Óleos com alto teor de tocoferóis podem sofrer maior degradação devido à instabilidade oxidativa dos ácidos graxos poli-insaturados, enquanto óleos com teores iniciais mais baixos podem preservar melhor esses compostos ao longo da estocagem (MBA; DUMONT; NGADI, 2017; LIU *et al.*, 2022; GHEONEA *et al.*, 2020). Assim, a retenção não depende apenas do teor absoluto, mas da composição lipídica, da ação antioxidante da matriz oleosa e do impacto dos processos oxidativos ao longo do tempo (FRANK; KAMAL-ELDIN; TRABER, 2004; KMIECIK *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2023).

O α -tocoferol, reconhecido por sua alta atividade antioxidante, mas baixa estabilidade térmica (TRABER, 2023; TIAN *et al.*, 2024b), apresentou os maiores teores iniciais no óleo de gergelim, seguido pelas formulações SG₂ e SG₁. No entanto, ao final de 21 dias de estocagem, as formulações SG₁ e SG₂ demonstraram maior retenção (90% e 84%), superando tanto o óleo de gergelim (80%) quanto o óleo de soja (79%). Esse resultado evidencia o papel dos óleos compostos na preservação do α -tocoferol, possivelmente devido a interações sinérgicas entre compostos bioativos, como lignanas do gergelim e antioxidantes naturais do óleo de soja (LI *et al.*, 2014; GARG *et al.*, 2021).

Os óleos compostos contendo óleo de amendoim (SA₁ e SA₂) apresentaram retenções inferiores (67% e 75%), enquanto as formulações com óleo de arroz (SFA₁ e SFA₂), mantiveram 59% e 70%, demonstrando um efeito intermediário na estabilização do α -tocoferol (Figura 9). Esses resultados evidenciam o efeito benéfico das combinações de óleos na proteção antioxidante, com destaque para o papel do óleo de gergelim como o componente mais eficiente nesse contexto. Além disso, a rápida degradação do α -tocoferol em condições oxidativas, observada neste estudo,

corroborar amplamente as conclusões da literatura (KREPS *et al.*, 2017a; SYAMILA *et al.*, 2019; CAÑO-OCHOA; RUIZ-ARACAMA; GUILLÉN, 2022). A superioridade dos óleos compostos em relação ao óleo de soja puro indica um potencial promissor para aplicações industriais, especialmente onde a estabilidade oxidativa prolongada é essencial.

No caso do γ -tocoferol, o óleo de gergelim se destacou novamente, apresentando níveis iniciais e finais mais elevados, seguido pelos óleos compostos SG₂ e SG₁. No entanto, as maiores retenções foram observadas nas formulações SG₂ (93%) e SG₁ (89%), superando o óleo de gergelim puro (85%). Este comportamento está alinhado com estudos que indicam o γ -tocoferol como o isômero predominante e mais resistente à degradação oxidativa, especialmente em óleos ricos em antioxidantes naturais como o gergelim (BAŠKIROVS *et al.*, 2024). Já os óleos compostos contendo amendoim (SA₁ e SA₂) e arroz (SFA₁ e SFA₂) apresentaram retenções inferiores (entre 79-85%), indicando que, embora possuam potencial antioxidante, são menos eficazes na proteção do γ -tocoferol do que as formulações com gergelim. O desempenho superior das formulações SG₁ e SG₂ reforça a influência do óleo de gergelim na estabilização do γ -tocoferol durante a estocagem acelerada.

Dentre os isômeros avaliados, o δ -tocoferol apresentou maior teor inicial no óleo de soja, enquanto o óleo de gergelim e sua formulação SG₂ não apresentaram valores detectáveis. A ausência de δ -tocoferol nesses óleos pode ser atribuída à própria composição natural do óleo de gergelim (KIM *et al.*, 2002). Além disso, estudos sugerem que a presença de lignanas no óleo de gergelim pode modular a retenção e o metabolismo dos tocoferóis, favorecendo a preservação do γ -tocoferol em detrimento do δ -tocoferol (FRANK; KAMAL-ELDIN; TRABER, 2004; COMINI; RUBIALES; REVEGLIA, 2023; MAJDALAWIEH *et al.*, 2023). Os óleos compostos SA₁ e SFA₁ demonstraram os melhores índices de preservação do δ -tocoferol (82% e 81%), enquanto os demais óleos apresentaram valores inferiores. A elevada preservação observada nessas formulações pode ser atribuída à presença de ácidos graxos monoinsaturados e antioxidantes naturais, que podem atuar na estabilização dos tocoferóis durante a estocagem (ZHANG *et al.*, 2023b; EGESSA *et al.*, 2024).

Os maiores teores iniciais e finais de tocoferóis totais foram observados no óleo de gergelim, seguido pelas formulações SG₂ e SG₁. No entanto, ao final de 21 dias de

estocagem, SG₂ e SG₁ apresentaram as maiores retenções (90% e 89%), enquanto o óleo de gergelim puro apresentou retenção inferior (83%). Os óleos compostos contendo amendoim (SA₁ e SA₂) e arroz (SFA₁ e SFA₂) apresentaram retenções finais entre 75-82%, indicando um desempenho intermediário. Esses achados indicam que, embora os teores de tocoferóis nesses óleos tenham sido menores do que do gergelim puro e suas formulações, sua capacidade antioxidante foi suficiente para manter níveis satisfatórios de retenção ao longo do armazenamento (FRANK *et al.*, 2008; LI *et al.*, 2014; KREPS *et al.*, 2017b; SYAMILA *et al.*, 2019).

Em relação à vitamina E, os maiores teores iniciais e finais foram observados novamente nos óleos de gergelim seguido pelas formulações SG₂ e SG₁. Em 21 dias, as maiores retenções foram observadas nos óleos compostos SG₁ (90%) e SG₂ (86%), superando a retenção dos óleos puros de gergelim (81%) e soja (85%). As formulações contendo óleo de amendoim apresentaram retenções de 72% (SA₁) e 77% (SA₂), enquanto as formulações contendo óleo de arroz apresentaram 64% (SFA₁) e 73% (SFA₂), confirmando efeito intermediário de proteção antioxidante. Embora inferiores às formulações com gergelim, esses óleos compostos demonstraram desempenho significativo frente às condições aceleradas de estocagem, o que reforça seu potencial para aplicações industriais onde a estabilidade oxidativa é um fator crítico (GHEONEA *et al.*, 2020; MA *et al.*, 2023).

Os resultados deste estudo demonstram que as formulações SG₁ e SG₂ apresentaram as maiores retenções de α -tocoferol e vitamina E, superando os óleos de gergelim e soja puros. Para γ -tocoferol e tocoferóis totais, os óleos compostos com gergelim apresentaram maior retenção que o óleo de gergelim puro, mas menor que o óleo de soja refinado, o que pode estar relacionado ao efeito do refinamento na remoção de compostos pró-oxidantes, reduzindo a taxa de degradação dos tocoferóis. Com exceção do δ -tocoferol, os óleos compostos com gergelim demonstraram desempenho superior ao óleo de gergelim puro. Esses achados evidenciam que a elaboração de óleos compostos é uma estratégia viável e eficaz para otimizar a estabilidade oxidativa, combinando perfis lipídicos complementares e antioxidantes naturais que atuam sinergicamente na proteção dos tocoferóis. Além disso, os resultados intermediários das formulações contendo óleos de amendoim e arroz sugerem que ajustes na composição ou na proporção desses óleos podem potencializar sua proteção antioxidante. Dessa forma, os óleos compostos surgem

como alternativas para aplicações industriais, equilibrando estabilidade oxidativa, valor nutricional e viabilidade tecnológica na indústria de alimentos.

5.2.2. Atividade antioxidante

As análises de variância para a atividade antioxidante dos óleos submetidos a estocagem acelerada a 60°C estão apresentadas no Apêndice K. Como observado, o teste F foi significativo ($p < 0,01$) para a capacidade de eliminação do radical DPPH• e poder antioxidante de redução do ferro (FRAP) e para todos os tratamentos, tempos de estocagem e suas interações. Dessa forma, procedeu-se ao desdobramento das interações, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 29 e 30.

A capacidade de eliminação do radical DPPH• é amplamente utilizada para avaliar a atividade antioxidante em óleos vegetais. Esse método se baseia na capacidade dos antioxidantes presentes nos óleos em neutralizar o radical DPPH•, resultando em uma diminuição na absorbância, que é quantitativamente relacionada à capacidade antioxidante do óleo (YEO; SHAHIDI, 2019). Estudos recentes confirmam a eficácia do método DPPH na avaliação da atividade antioxidante de óleos vegetais e essenciais, destacando seu potencial como uma ferramenta confiável para medir a estabilidade oxidativa durante o armazenamento (FATIHA; ABDELKADER, 2019; WANG *et al.*, 2020; TOMAZZOLI *et al.*, 2021; SAEED *et al.*, 2022; NORIEGA *et al.*, 2023). Os resultados obtidos neste estudo encontram-se na Tabela 29 e indicam diferenças na capacidade antioxidante dos óleos puros e compostos ao longo dos 21 dias de estocagem acelerada.

No início do experimento, o óleo de arroz apresentou a maior capacidade antioxidante entre os óleos puros, seguido pelos óleos de soja e amendoim, que apresentaram atividades intermediárias. O óleo de gergelim obteve o menor desempenho inicial. Em 21 dias de estocagem, o óleo de arroz manteve 102% de sua atividade antioxidante inicial, demonstrando alta estabilidade ao longo do tempo. O óleo de amendoim preservou 97%, reforçando sua resistência à degradação. Em contrapartida, o óleo de soja perdeu praticamente toda sua atividade antioxidante (99,5%), apresentando o maior declínio entre os óleos analisados, seguido pelo óleo de gergelim, que sofreu redução de 57%.

Esses achados corroboram estudos que indicam que óleos ricos em ácidos graxos monoinsaturados, como arroz e amendoim, tendem a ser mais estáveis

oxidativamente do que óleos ricos em ácidos graxos poli-insaturados, como a soja (ALAM; MAJUMDAR; ALAM, 2021). Embora o óleo de gergelim também seja rico em ácidos graxos monoinsaturados, a maior suscetibilidade de seus compostos fenólicos e carotenoides à degradação durante o armazenamento pode ter reduzido sua capacidade antioxidante ao longo do tempo (SYMONIUK *et al.*, 2022b).

Tabela 29 - Capacidade de eliminação do radical DPPH• (%) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
S	82,39 ± 2,02 ^{bAB}	85,77 ± 0,02 ^{aB}	84,78 ± 0,45 ^{aB}	0,43 ± 0,02 ^{cG}
A	76,86 ± 2,93 ^{bD}	80,47 ± 0,20 ^{aC}	74,81 ± 0,05 ^{bcD}	74,52 ± 0,37 ^{cC}
FA	84,25 ± 0,86 ^{bcA}	90,98 ± 0,00 ^{aA}	82,44 ± 0,14 ^{cBC}	86,03 ± 0,46 ^{bA}
G	70,22 ± 0,32 ^{aE}	60,56 ± 3,51 ^{bD}	40,88 ± 0,05 ^{cF}	30,19 ± 0,09 ^{dF}
SA₁	83,05 ± 0,40 ^{aAB}	84,13 ± 0,05 ^{aB}	83,08 ± 2,49 ^{aB}	82,12 ± 0,00 ^{aB}
SFA₁	63,73 ± 0,00 ^{cF}	91,03 ± 0,00 ^{aA}	84,09 ± 0,36 ^{bB}	83,94 ± 0,37 ^{bAB}
SG₁	80,58 ± 1,30 ^{aBC}	79,35 ± 0,27 ^{aC}	75,71 ± 0,81 ^{bD}	68,73 ± 1,46 ^{cD}
SA₂	77,61 ± 0,62 ^{bcD}	84,92 ± 0,02 ^{aB}	79,74 ± 0,20 ^{bC}	76,28 ± 0,01 ^{cC}
SFA₂	80,58 ± 1,64 ^{cBC}	90,23 ± 0,20 ^{aA}	88,39 ± 0,00 ^{aA}	84,10 ± 0,98 ^{bAB}
SG₂	79,22 ± 1,46 ^{aCD}	78,02 ± 0,20 ^{aC}	58,85 ± 1,43 ^{bE}	52,68 ± 1,12 ^{cE}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias ± desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).

Entre os óleos compostos, inicialmente, a formulação SA₁ apresentou a maior capacidade de eliminação do radical DPPH•, seguida por SG₁ e SFA₂, que não diferiram estatisticamente entre si. O óleo SG₂ obteve desempenho intermediário, enquanto SA₂ e SFA₁ registraram as menores capacidades antioxidantes no início da estocagem. Em 21 dias, as formulações SFA₂ e SFA₁ apresentaram a maior capacidade de eliminação do radical DPPH•, mantendo 105% e 132%, respectivamente, evidenciando um efeito positivo da presença do óleo de arroz na capacidade antioxidante dessas misturas. O óleo SA₁ apresentou retenção de 99%, demonstrando alta estabilidade. Em seguida, SA₂ manteve 98% de sua capacidade antioxidante. O óleo SG₁ preservou 85% de sua atividade antioxidante inicial,

enquanto SG₂ exibiu a maior perda entre os óleos compostos, retendo apenas 66% de sua atividade inicial.

Apesar dessa maior degradação na atividade antioxidante, as formulações contendo óleo de gergelim demonstraram boa retenção de tocoferóis, em especial o γ -tocoferol. A presença de lignanas, como sesamina e sesamolina, pode ter favorecido a preservação desses compostos, reduzindo a taxa de oxidação dos tocoferóis e compensando parcialmente a perda de outros antioxidantes, como fenólicos e carotenoides (LIU *et al.*, 2021; OBOULBIGA *et al.*, 2023; SYMONIUK *et al.*, 2022b).

As retenções superiores a 100% observadas para algumas formulações podem estar associadas à liberação de compostos antioxidantes durante a estocagem. Esse fenômeno já foi relatado na literatura e pode estar relacionado à liberação de compostos fenólicos ligados à matriz lipídica ou à formação de produtos de oxidação secundários com atividade antioxidante residual (JAVANI-SERAJI; BAZARGANI-GILANI; AGHAJANI, 2023).

Pode-se concluir que ao término do período de estocagem, todos os óleos compostos apresentaram maior capacidade de eliminação do radical DPPH• em comparação ao óleo de soja puro, que exibiu o menor desempenho antioxidante. Esses achados confirmam que os óleos compostos melhoram a estabilidade antioxidante e reduzem a perda da atividade antioxidante ao longo do armazenamento.

A capacidade antioxidante dos óleos vegetais, medida pelo método FRAP (Poder Antioxidante de Redução do Ferro), é uma ferramenta essencial para avaliar a estabilidade oxidativa dos óleos durante o armazenamento. Esse método baseia-se na capacidade dos antioxidantes presentes nos óleos em reduzir o íon férrico (Fe^{3+}) a íon ferroso (Fe^{2+}), resultando em um complexo colorido que pode ser medido espectrofotometricamente (FATIHA; ABDELKADER, 2019; AVELINO, 2024). Esse processo é especialmente relevante para monitorar a eficiência antioxidante dos óleos sob condições de estocagem prolongada, permitindo identificar formulações mais estáveis ao longo do tempo.

Ao analisar a Tabela 30, pode-se observar que, no início do experimento, entre os óleos puros, o óleo de gergelim apresentou o maior poder antioxidante de redução do ferro (FRAP), seguido pelo óleo de soja, que obteve um desempenho intermediário. Já os óleos de amendoim e arroz apresentaram os menores teores iniciais. Em 21

dias de estocagem, o óleo de gergelim manteve 94% de sua capacidade antioxidante, demonstrando maior teor entre os óleos puros, seguido pelos óleos de soja (103%) e arroz (100%). Por outro lado, o óleo de amendoim exibiu a menor retenção (69%), evidenciando maior degradação oxidativa ao longo do armazenamento.

Tabela 30 - Poder antioxidante de redução do ferro - FRAP ($\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g}$) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C .

Óleos	Tempos de estocagem (dias)			
	0	7	14	21
S	113,99 \pm 1,44 ^{abG}	106,24 \pm 7,22 ^{cC}	110,64 \pm 1,28 ^{bCD}	117,54 \pm 0,32 ^{aC}
A	107,39 \pm 0,84 ^{bH}	103,24 \pm 0,18 ^{cCD}	113,34 \pm 0,32 ^{aC}	74,34 \pm 2,48 ^{dG}
FA	95,04 \pm 0,50 ^{bl}	101,39 \pm 0,00 ^{aDE}	59,44 \pm 0,08 ^{cG}	95,44 \pm 2,88 ^{bE}
G	156,09 \pm 0,12 ^{aD}	130,34 \pm 0,18 ^{dA}	151,64 \pm 1,62 ^{bA}	147,44 \pm 0,50 ^{cA}
SA₁	131,14 \pm 0,72 ^{aE}	100,14 \pm 0,08 ^{cDE}	86,99 \pm 5,44 ^{dF}	111,89 \pm 0,00 ^{bD}
SFA₁	171,54 \pm 0,00 ^{aB}	97,54 \pm 0,18 ^{dE}	102,39 \pm 0,00 ^{cE}	109,34 \pm 1,62 ^{bD}
SG₁	110,74 \pm 0,80 ^{cGH}	115,24 \pm 0,50 ^{bB}	135,34 \pm 2,12 ^{aB}	138,64 \pm 0,00 ^{aB}
SA₂	122,04 \pm 0,32 ^{aF}	106,54 \pm 0,50 ^{bC}	108,54 \pm 0,02 ^{bD}	108,04 \pm 2,00 ^{bD}
SFA₂	165,89 \pm 1,80 ^{aC}	84,49 \pm 0,40 ^{bF}	83,24 \pm 0,18 ^{bF}	86,74 \pm 0,50 ^{bF}
SG₂	213,19 \pm 5,44 ^{aA}	133,79 \pm 1,44 ^{cA}	131,04 \pm 2,00 ^{cB}	141,59 \pm 3,12 ^{bB}

S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim, SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p), SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). Médias \pm desvios padrões seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Esses achados estão alinhados com os resultados de DPPH, nos quais os óleos de amendoim e gergelim também apresentaram perdas significativas da capacidade antioxidante. No entanto, a maior estabilidade do óleo de soja em FRAP pode estar relacionada à regeneração de tocoferóis, conforme já descrito em estudos sobre sua interação com espécies reativas de oxigênio (PAZZOTTI *et al.*, 2018; GARG *et al.*, 2021).

Entre os óleos compostos, inicialmente SG₂ apresentou o maior poder antioxidante de redução do ferro (FRAP), seguido por SFA₁ e SFA₂. As formulações SA₁ e SA₂ mostraram atividade intermediária, enquanto SG₁ apresentou os menores valores iniciais entre os óleos compostos. Em 21 dias de armazenamento, SG₁ e SG₂ apresentaram os maiores teores de FRAP, com retenções de aproximadamente 125% e 66%, respectivamente. A manutenção da atividade antioxidante nessas formulações

pode ser atribuída à presença de lignanas do óleo de gergelim, que demonstram efeito protetor sobre os tocoferóis e podem regenerar parte de sua atividade antioxidante ao longo do tempo (GARG *et al.*, 2021; GUO *et al.*, 2023). As formulações SA₁, SFA₁ e SA₂ exibiram teores intermediários com retenções de 85%, 64% e 88%, respectivamente, indicando redução mais expressiva da atividade antioxidante.

No caso das formulações SFA₁ e SFA₂, que continham óleo de arroz, a degradação foi mais acentuada, refletindo a instabilidade oxidativa desse óleo já observada em outras análises, como DPPH e compostos fenólicos. A formulação SFA₂ apresentou a menor retenção antioxidante entre os óleos compostos, com apenas 52%, evidenciando maior suscetibilidade à degradação oxidativa (ROSA *et al.*, 2019).

O fato de alguns óleos apresentarem retenções superiores a 100%, como observado em SG₁ (125%) e soja (103%), pode estar associado à regeneração de compostos antioxidantes durante o armazenamento. Esse fenômeno ocorre devido à liberação de antioxidantes secundários ou à regeneração de compostos como tocoferóis e lignanas em resposta ao estresse oxidativo (YEO; SHAHIDI, 2019; GARG *et al.*, 2021). Esse comportamento foi particularmente evidente nas formulações contendo óleo de gergelim, cujas lignanas atuam tanto na proteção antioxidante quanto na estabilização dos tocoferóis, prolongando sua funcionalidade durante o armazenamento.

De maneira geral, entre os óleos compostos, apenas as formulações contendo óleo de gergelim (SG₁ e SG₂) apresentaram maior poder antioxidante de redução do ferro (FRAP) do que o óleo de soja puro. Além disso, SG₁ exibiu retenção superior a 100%, sugerindo possível regeneração antioxidante durante a estocagem. Esses achados evidenciam que a composição das formulações influencia diretamente sua estabilidade, com destaque para o gergelim na preservação da atividade antioxidante.

6. CONCLUSÕES

A formulação de óleos compostos mostrou-se uma estratégia viável para aprimorar a estabilidade oxidativa do óleo de soja, reduzindo sua suscetibilidade à oxidação e contribuindo para a preservação de compostos bioativos. De modo geral, as formulações com proporção 50:50 (p/p) apresentaram maior estabilidade antioxidante em relação às de 75:25 (p/p).

No ensaio de termoxidação, o óleo composto SA₂ (soja:amendoim 50:50 p/p) destacou-se por sua maior estabilidade térmica, preservando maiores concentrações de tocoferóis, carotenoides e compostos fenólicos em comparação ao óleo de soja puro, conferindo maior resistência à degradação oxidativa. Em contrapartida, o óleo de soja apresentou maior formação de compostos oxidativos, como indicado pelos índices de peróxidos e *p*-anisidina, além de valores elevados de Totox e compostos polares totais, refletindo sua menor estabilidade térmica.

Durante a estocagem acelerada, os óleos compostos também exibiram desempenho superior em comparação ao óleo de soja puro. A formulação SG₂ (soja:gergelim 50:50 p/p) apresentou as maiores retenções de tocoferóis e compostos fenólicos, enquanto a formulação SFA₂ (soja:arroz 50:50 p/p) demonstrou efeito protetor sobre os tocoferóis. O óleo de soja, por sua vez, apresentou maior degradação, com perda significativa de compostos bioativos e aumento da formação de produtos da oxidação.

Os achados deste estudo confirmam a viabilidade dos óleos compostos para a indústria de alimentos, com destaque para sua capacidade de prolongar a vida útil dos produtos, reduzir a necessidade de aditivos sintéticos e preservar a qualidade nutricional. A combinação de óleos ricos em ácidos graxos monoinsaturados e antioxidantes naturais demonstrou-se eficaz na proteção contra a oxidação, consolidando os óleos compostos como uma alternativa promissora para formulações tecnológicas e nutricionalmente equilibradas.

REFERÊNCIAS

- ABDO, E. M.; SHALTOUT, O. E.; MANSOUR, H. M. M. Natural antioxidants from agro-wastes enhanced the oxidative stability of soybean oil during deep-frying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 173, p. 114321, 2023.
- ABRIL, D.; MIRABAL-GALLARDO, Y.; GONZÁLEZ, A.; MARICAN, A.; DURÁN-LARA, E. F.; SILVA SANTOS, L.; VALDÉS, O. Comparison of the oxidative stability and antioxidant activity of extra-virgin olive oil and oils extracted from seeds of *Colliguaya integerrima* and *Cynara cardunculus* under normal conditions and after thermal treatment. **Antioxidants**, v. 8, n. 10, p. 470, 2019.
- ACHLINA, D. N.; NURAZIZAH, A. Quality test of cooking oil used by fried chicken sellers in the ciamis market based on peroxide value. **Ad-Dawaa: Journal of Pharmacy**, v. 2, n. 1, p. 18–26, 2024.
- ADEYANJU, M. M.; SAHEED, I. A.; OYELEKAN, O. I.; DELE-OSIBANJO, T. A.; ADELEGAN, A. A.; RAIMI, A. J.; OLALEKAN, S. O.; ALABI, O. S.; ALLI, K. M. *Sesamum indicum* diet prevents hyperlipidemia in experimental rats. **Food Chemistry: Molecular Sciences**, v. 4, p. 100092, 2022.
- AKSOYLU ÖZBEK, Z.; YILDIZ, K.; GÜNÇ ERGÖNÜL, P.; İYILIKEDEN, E.; UZLAŞIR, T. Comparison of the effects of oven- and microwave-roasting on the physicochemical properties and bioactive compounds of tomato seeds and oils. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 125, n. 10, 2023.
- AKSUN TÜMERKAN, E. T. The novel antioxidant active packaging approach: a combination of aquafaba and essential oils to prevent lipid oxidation in fish. **Biology and Life Sciences Forum**, Basel Switzerland, v. 26, p. 121, 2023.
- AL AMIN, M.; ALI, M. A.; ALAM, M. S.; NAHAR, A. Oxidative degradation of sunflower oil blended with roasted sesame oil during heating at frying temperature. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 34–42, 2023.
- ALAM, A.; MAJUMDAR, R. S.; ALAM, P. Development of HPTLC method for determination of α -terpinyl acetate, and evaluation of antioxidant properties of essential oils in *Elettaria cardamomum*. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 18, n. 10, p. 2139–2145, 2021.
- AL-SHIBLI, M. A.; AL-ALI, R. M.; HASHIM, A. Z.; ALTEMIMI, A. B.; ELSAYED, N.; ABDELMAKSOUUD, T. G. Evaluation of meat and meat product oxidation and off-flavor formation: managing oxidative changes. **Theory and practice of meat processing**, v. 8, n. 4, p. 302–315, 2024.
- ALY, A. A.; ALI, H. G. M.; ABDELDAIEM, M. Improvement of the sunflower oil stability by blending with moringa or sesame oils. **Food Chemistry**, v. 344, p. 128648, 2021.
- AMFT, J.; MEISSNER, P. M.; STEFFEN-HEINS, A.; HASLER, M.; STÖCKMANN, H.; MEYNIER, A.; BIRAULT, L.; VELASCO, J.; VERMOESEN, A.; PEREZ-PORTABELLA, I.; PRIÓ, B.; PORCELLANA, T.; FORTE, E.; YESILTAS, B.; MERKX, D.;

HENNEBELLE, M.; WANG, J.; VAN DUYNHOVEN, J.; LOSADA-BARREIRO, S.; BRAVO-DIAZ, C.; BERNAL, C.; ABRAMOVIČ, H.; MANZANOS, M. J.; MARTÍNEZ-YUSTA, A.; NIEVA-ECHEVARRÍA, B.; GUILLÉN, M. D.; FRÜHWIRTH, S.; PIGNITTER, M.; WOŁOSIAK, R.; DEREWIAKA, D.; COSTA, M.; PAIVA-MARTINS, F.; JACOBSEN, C.; SCHWARZ, K. Interlaboratory study on lipid oxidation during accelerated storage trials with rapeseed and sunflower oil analyzed by conjugated dienes as primary oxidation products. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 125, n. 10, 2023.

ANANTH, D. A.; DEVIRAM, G.; MAHALAKSHMI, V.; SIVASUDHA, T.; TIETEL, Z. Phytochemical composition and antioxidant characteristics of traditional cold pressed seed oils in South India. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 17, p. 416–421, 2019.

ANDARGIE, M.; VINAS, M.; RATHGEB, A.; MÖLLER, E.; KARLOVSKY, P. Lignans of sesame (*Sesamum indicum* L.): a comprehensive review. **Molecules**, v. 26, n. 4, p. 883, 2021.

ANGELI, L.; MOROZOVA, K.; SCAMPICCHIO, M. A kinetic-based stopped-flow DPPH• method. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 7621, 2023.

AOCS. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society**. 6. ed. Champaign: AOCS Press, 2009.

ARAB, R.; CASAL, S.; PINHO, T.; CRUZ, R.; FREIDJA, M. L.; LORENZO, J. M.; HANO, C.; MADANI, K.; BOULEKBACHE-MAKHLLOUF, L. Effects of seed roasting temperature on sesame oil fatty acid composition, lignan, sterol and tocopherol contents, oxidative stability and antioxidant potential for food applications. **Molecules**, v. 27, n. 14, p. 4508, 2022.

ARSLANSOY, N.; FIDAN, O. Carotenoids and their antioxidant power. In: **The power of antioxidants - unleashing nature's defense against oxidative stress**. IntechOpen, 2024.

ARYA, S. S.; SALVE, A. R.; CHAUHAN, S. Peanuts as functional food: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 31–41, 2016.

ASLAM, M.; SHABBIR, M. A.; PASHA, I.; SHUKAT, R.; SIDDIQUE, U.; MANZOOR, M. F.; AYUB, F. Protective effect of sesame (*Sesamum indicum*) seed oil against hypercholesterolemic in Sprague-Dawley male rats. **Food Science and Technology**, v. 41, suppl. 2, p. 741–745, 2021.

ATHANASIADIS, V.; CHATZIMITAKOS, T.; KALOMPATSIOS, D.; PALAIOGIANNIS, D.; MAKRYGIANNIS, I.; BOZINO, E.; LALAS, S. I. Evaluation of the efficacy and synergistic effect of α - and δ -tocopherol as natural antioxidants in the stabilization of sunflower oil and olive pomace oil during storage conditions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 2, p. 1113, 2023.

ATHANASIADIS, V.; KALOMPATSIOS, D.; MANTINIOTOU, M.; LALAS, S. I. Investigation into the reduction of palm oil in foods by blended vegetable oils through

response surface methodology and oxidative stability tests. **Antioxidants**, v. 13, n. 8, p. 929, 2024.

AVELINO, F. FRAP. **Antioxidant methods**, p. 203–221, 2024.

AYYILDIZ, H. F.; TOPKAFA, M.; SHERAZI, S. T. H.; MAHESAR, S. A.; KARA, H. Investigation of the chemical characteristics and oxidative stability of some commercial cold-pressed oils. **Konya Journal of Engineering Sciences**, v. 9, n. 4, p. 904–916, 2021.

BANZATO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 2006.

BAO, Y.; PIGNITTER, M. Mechanisms of lipid oxidation in water-in-oil emulsions and oxidomics-guided discovery of targeted protective approaches. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 22, n. 4, p. 2678–2705, 2023.

BARANI, M.; BONETTI, R.; PARKER, W. O. Thermal oxidation of model molecules to reveal vegetable oil polymerization studied by NMR spectroscopy and self-diffusion. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 100, n. 7, p. 551–560, 2023.

BARZAN, G.; SACCO, A.; GIOVANNOZZI, A. M.; PORTESI, C.; SCHIAVONE, C.; SALAFRANCA, J.; WRONA, M.; NERÍN, C.; ROSSI, A. M. Development of innovative antioxidant food packaging systems based on natural extracts from food industry waste and *Moringa oleifera* leaves. **Food Chemistry**, v. 432, p. 137088, 2024.

BAŠKIROVS, G.; DUKURS, K.; SOLIVEN, A.; GÓRNAŚ, P. Evaluation of RPLC stationary phases for tocopherol and tocotrienol positional isomer separation: method development and profiling. **Talanta**, v. 277, p. 126360, 2024.

BAYRAM, I.; DECKER, E. A. Underlying mechanisms of synergistic antioxidant interactions during lipid oxidation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 133, p. 219–230, 2023.

BAZACHI, A.; ASTRATH, N. G. C.; SAVI, E. L.; MALACARNE, L. C.; BAESSO, M. L.; TORQUATO, A. S.; RODRIGUES, A. C.; LUKASIEVICZ, G. V. B.; HERCULANO, L. S. Spectroscopic and chemometric analysis and oil stability index characterization of thermo-oxidized edible vegetable oils. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 2024.

BEZERRA, C. V.; RODRIGUES, A. M. C.; OLIVEIRA, P. D.; SILVA, D. A.; SILVA, L. H. Technological properties of amazonian oils and fats and their applications in the food industry. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1466–1473, 2017.

BIELECKA, M.; ZIAJKA, J.; STANIEWSKI, B.; NOWAK, H. Oxidative stability and health-related indices of anhydrous milk fat and vegetable oil blends. **International Dairy Journal**, v. 137, p. 105529, 2023.

BLASI, F.; COSSIGNANI, L. An overview of natural extracts with antioxidant activity for the improvement of the oxidative stability and shelf life of edible oils. **Processes**, v. 8, n. 8, p. 956, 2020.

BORDÓN, M. G.; MERILES, S. P.; RIBOTTA, P. D.; MARTINEZ, M. L. Enhancement of composition and oxidative stability of chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil by blending with specialty oils. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 5, p. 1035–1044, 2019.

BORGES, C. **Planta soja livre de transgênicos**. 2021. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/planta-soja-livre-de-transgenicos/>>. Acesso em: 09 jan. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Informe Técnico n.º 11, de 5 de outubro de 2004. Dispõe sobre os limites máximos permitidos para compostos polares totais em óleos aquecidos. Disponível em: <http://bit.ly/3VYUArI>. Acesso em: 19 jun. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa n.º 87, de 14 de dezembro de 2021. Estabelece padrões para óleos e gorduras vegetais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 dez. 2021. b.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.º 481, de 15 de março de 2021. a. Dispõe sobre os requisitos sanitários para óleos e gorduras vegetais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mar. 2021. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br>. Acesso em: 4 fev. 2023.

BREWER, D. R.; FRANCO, J. M.; GARCIA-ZAPATEIRO, L. A. Rheological properties of oil-in-water emulsions prepared with oil and protein isolates from sesame (*Sesamum Indicum*). **Food Science and Technology**, v. 36, n. 1, p. 64–69, 2016.

BRUSCATTO, M. H.; PESTANA-BAUER, V. R.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Effects of heating temperature on the tocopherol contents of chemically and physically refined rice bran oil. **Grasas y Aceites**, v. 70, n. 1, p. 294, 2019.

CAÑO-OCHOA, S. D.; RUIZ-ARACAMA, A.; GUILLÉN, M. D. Alpha-tocopherol, a powerful molecule, leads to the formation of oxylipins in polyunsaturated oils differently to the temperature increase: a detailed study by proton nuclear magnetic resonance of walnut oil oxidation. **Antioxidants**, v. 11, n. 4, p. 604, 2022.

CAO, Z. H.; GREEN-JOHNSON, J. M.; BUCKLEY, N. D.; LIN, Q. Y. Bioactivity of soy-based fermented foods: a review. **Biotechnology Advances**, v. 37, n. 1, p. 223–238, 2019.

CASTELO-BRANCO, V. N.; SANTANA, I.; DI-SARLI, V. O.; FREITAS, S. P.; TORRES, A. G. Antioxidant capacity is a surrogate measure of the quality and stability of vegetable oils. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 118, n. 2, p. 224–235, 2016.

CASTRO, P. D. Novas moléculas ajudam a entender o papel das proteínas da planta de arroz. **Jornal da Unicamp**, 2022.

CHAU, C.-F.; CIOU, J.-Y.; WU, C.-L. Commercialized sesame oil analysis: quality characterization and oxidative stability of blended sesame oil. **ACS Food Science & Technology**, v. 1, n. 7, p. 1222–1227, 2021.

CHELGHOU, M.; GUENANE, H.; HARRAT, M.; YOUSFI, M. Total tocopherols, carotenoids, and fatty acids content variation of *pistacia atlantica* from different organs' crude oils and their antioxidant activity during development stages. **Chemistry & Biodiversity**, v. 17, n. 9, 2020.

CHEN, J.; ZHANG, L.; LI, Y.; ZHANG, N.; GAO, Y.; YU, X. The formation, determination and health implications of polar compounds in edible oils: current status, challenges and perspectives. **Food Chemistry**, v. 364, p. 130451, 2021.

CHEN, L. Y.; CHENG, C. W.; LIANG, J. Y. Effect of esterification condensation on the Folin-Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols. **Food Chemistry**, v. 170, p. 10–15, 2015.

CHEN, X.; SUN, S. Color reversion of refined vegetable oils: a review. **Molecules**, v. 28, n. 13, p. 5177, 2023.

CHERIF, A.; SLAMA, A. Stability and change in fatty acids composition of soybean, corn, and sunflower oils during the heating process. **Journal of Food Quality**, v. 2022, p. 1–17, 2022.

CHEW, S. C.; TAN, C. P.; NYAM, K. L. Oxidative stability of crude and refined kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil during accelerated storage. **Sains Malaysiana**, v. 48, n. 2, p. 329–335, 2019.

CHOE, E.; MIN, D. B. Mechanisms of antioxidants in the oxidation of foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 8, n. 4, p. 345–358, 2009.

ÇIFTÇI, S.; SUNA, G. Functional components of peanuts (*Arachis Hypogaea* L.) and health benefits: a review. **Future Foods**, v. 5, p. 100140, 2022.

CIOU, J.-Y.; CHEN, H.-C.; CHEN, C.-W.; YANG, K.-M. Relationship between antioxidant components and oxidative stability of peanut oils as affected by roasting temperatures. **Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 300, 2021.

CODEX ALIMENTARIUS. **Codex Alimentarius: Standard for named vegetable oils (CXS 210-1999)**. Alterado em 2023. Rome: FAO, 2023. v. 8.

COMINI, E.; RUBIALES, D.; REVEGLIA, P. Variability of fatty acid composition and lignan content in sesame germplasm, and effect of roasting. **ACS - Food Science & Technology**, v. 3, n. 10, p. 1747–1758, 2023.

CORBU, A. R.; ROTARU, A.; NOUR, V. Edible vegetable oils enriched with carotenoids extracted from by-products of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*): the investigation of some characteristic properties, oxidative stability and the effect on thermal behaviour. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 142, n. 2, p. 735–747, 2020.

CUI, F.; LIU, M.; LI, X.; WANG, D.; MA, F.; YU, L.; HU, C.; LI, P.; ZHANG, L. Gas chromatography ion mobility spectroscopy: a rapid and effective tool for monitoring oil oxidation. **Food Research International**, v. 176, p. 113842, 2024.

DA SILVA, C. C. F. **Qualidade de rapaduras enriquecidas com farelo de arroz extrusado e amêndoas de baru/amendoim torrados**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

DAR, A. A.; ARUMUGAM, N. Lignans of sesame: purification methods, biological activities and biosynthesis - a review. **Bioorganic Chemistry**, v. 50, p. 1–10, 2013.

DAVIS, J. P.; DEAN, L. L. Peanut composition, flavor and nutrition. In: **Peanuts: Genetics, Processing, and Utilization**. Elsevier, 2016. p. 289–345.

DE CARVALHO, L. G. E.; DA SILVA, A. C.; DOVICH, S. S. Evaluation of the lard oxidative stability added with rosemary extract and rosemary essential oil. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 1, p. 112, 2019.

DE PAULA, I. S. M. **Avaliação da influência da altura de planta na composição físico-química dos grãos de soja**. 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021.

DE PRETTO, C.; GIORDANO, R. L. C.; TARDIOLI, P. W.; COSTA, C. B. B. Possibilities for producing energy, fuels, and chemicals from soybean: a biorefinery concept. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, n. 10, p. 1703–1730, 2018.

DESHMUKH, S. N.; KOLHE, P. N.; KALE, M. R.; VARNE, M. D.; PAWAR, K. Evaluation of drought effect on soybean genotypes mediated through PEG-6000 (polyethylene glycol). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n. 9, p. 726–734, 2020.

DEVARAJAN, S.; CHATTERJEE, B.; URATA, H.; ZHANG, B.; ALI, A.; SINGH, R.; GANAPATIA, S. A blend of sesame and rice bran oils lowers hyperglycemia and improves the lipids. **The American Journal of Medicine**, v. 129, n. 7, p. 731–739, 2016b.

DEVARAJAN, S.; SINGH, R.; CHATTERJEE, B.; ZHANG, B.; ALI, A. A blend of sesame oil and rice bran oil lowers blood pressure and improves the lipid profile in mild-to-moderate hypertensive patients. **Journal of Clinical Lipidology**, v. 10, n. 2, p. 339–349, 2016a.

DHYANI, A.; SINGH, P. K.; CHOPRA, R.; GARG, M. Enhancement of oxidative stability of perilla seed oil by blending it with other vegetable oils. **Journal of Oleo Science**, v. 71, n. 8, p. 1135–1144, 2022.

DIJKSTRA, A. J.; VAN DUIJN, G. Vegetable oils: oil production and processing. In: **Encyclopedia of Food and Health**. Elsevier, 2016. p. 373–380.

DISSANAYAKE, K.; RIFKY, M.; JESFAR, M.; MAKHMAYOROV, J.; RAKHIMKULOV, S.; ABDULLAYEV, B. Technology development to measure chemical and oxidative stability of edible oils using Fourier transform-infrared spectroscopy. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1275, n. 1, p. 012007, 2023.

DOSSOU, S. S. K.; XU, F.; DOSSA, K.; ZHOU, R.; ZHAO, Y.; WANG, L. Antioxidant lignans sesamin and sesamol in sesame (*Sesamum indicum* L.): a comprehensive review and future prospects. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 22, n. 1, p. 14–30, 2023.

DROZDOWSKI, B.; SZUKALSKA, E. A rapid instrumental method for the evaluation of the stability of fats. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 64, n. 7, p. 1008–1011, 1987.

DUANGSA, B.; RODPON, P.; KHONGLA, C.; MUSIKA, S.; RATTANAJUN, P.; KHUMPUMUANG, P.; JANGKLOY, U.; JAMPATECH, S.; THIAMJITE, P.; SAWISIT, A. Gamma-oryzanol, physicochemical and antioxidant properties of stabilized rice bran oil from dough and mature grain stages. **Current Applied Science and Technology**, p. e0260012, 2024.

DUN, Q.; YAO, L.; DENG, Z.; LI, H.; LI, J.; FĀ, Y.; ZHANG, B. Effects of hot and cold-pressed processes on volatile compounds of peanut oil and corresponding analysis of characteristic flavor components. **LWT - Food Science and Technology**, v. 112, p. 107648, 2019.

EGESSA, R.; SZŰCS, A.; ARDÓ, L.; BIRÓ, J.; LENGYEL-KÓNYA, É.; BANJAC, V.; STOJKOV, V.; LEFLER, K. K.; SÁNDOR, Z. J. Dietary inclusion of insect oil: impact on growth, nutrient utilisation, lipid metabolism, antioxidant and immune-related responses in European catfish (*Silurus glanis* L). **Aquaculture**, v. 592, p. 741213, 2024.

EL YAMANI, M.; SAKAR, E. H.; BOUSSAKOURAN, A.; RHARRABTI, Y. Effect of storage time and conditions on the quality characteristics of 'Moroccan Picholine' olive oil. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 39, p. 102244, 2022.

EL-ROBY, A. M.; HAMMAD, K. S. M.; GALAL, S. M. Enhancing oxidative stability of sunflower oil with sesame (*Sesamum Indicum*) coat ultrasonic extract rich in polyphenols. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 8, e14564, 2020.

ERICKSON, M. D.; YEVTUSHENKO, D. P.; LU, Z.-X. Oxidation and thermal degradation of oil during frying: a review of natural antioxidant use. **Food Reviews International**, v. 39, n. 7, p. 4665–4696, 2023.

ESU, C. O.; PYO, J.; CHO, K. Machine learning-derived dose-response relationships considering interactions in mixtures: applications to the oxidative potential of particulate matter. **Journal of Hazardous Materials**, v. 475, p. 134864, 2024.

FADDA, A.; SANNA, D.; SAKAR, E. H.; GHARBY, S.; MULAS, M.; MEDDA, S.; YESILCUBUK, N. S.; KARACA, A. C.; GOZUKIRMIZI, C. K.; LUCARINI, M.; LOMBARDI-BOCCIA, G.; DIACONEASA, Z.; DURAZZO, A. Innovative and sustainable technologies to enhance the oxidative stability of vegetable oils. **Sustainability**, v. 14, n. 2, p. 849, 2022.

FARAG, R. S.; HASHEM, H. A.; NASER, A.; MOHAMED, M. A. Optimization of fatty acid composition by of cooking oils blending of different plant oils. **International Research Journal of Pure and Applied Chemistry**, p. 47–58, 2021.

FATIHA, M.; ABDELKADER, T. Study of antioxidant activity of pyrimidinium betaines by DPPH radical scavenging method. **Journal of Analytical & Pharmaceutical Research**, v. 8, n. 2, p. 33–36, 2019.

FIŠNAR, J.; SABOLOVÁ, M.; RÉBLOVÁ, Z. Relationship between tocopherols depletion and polymerised triacylglycerols formation during heating of vegetable oils. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 36, n. 6, p. 441–451, 2018.

FLORIOS, D. Amendoim: como cultivar em vasos. 2013. Disponível em: <<https://www.greenme.com.br/morar/como-plantar/63425-amendoim-como-cultivar-em-vasos-veja-e-facil/>>. Acesso em 09 fev 2023.

FOROOGHI, E.; HASHEMPOUR-BALTORK, F.; RASTEGAR, H. Soybean-based proteins as functional and nutritional ingredients of plant-based meat analogs. In: **Handbook of Plant-Based Meat Analogs**. Elsevier, 2024. p. 45–61.

FOTIADOU, R.; VOUGIOUKLAKI, D.; HOUHOULA, D.; STAMATIS, H. Improvement of the oxidative stability of edible oils through enzymatic esterification with hydroxytyrosol-rich extract. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 126, n. 7, 2024.

FRANÇA, A. T. R.; STEVANATO, N.; IWASSA, I. J.; DA SILVA, C. Avaliação do perfil do óleo da polpa de macaúba perante ensaios termoxidativos. **E-xacta**, v. 12, n. 1, p. 55, 2019.

FRANCO, D.; RODRÍGUEZ-AMADO, I.; AGREGÁN, R.; MUNEKATA, P. E. S.; VÁZQUEZ, J. A.; BARBA, F. J.; LORENZO, J. M. Optimization of antioxidants extraction from peanut skin to prevent oxidative processes during soybean oil storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 88, p. 1–8, 2018.

FRANK, J.; KAMAL-ELDIN, A.; TRABER, M. G. Consumption of sesame oil muffins decreases the urinary excretion of γ -tocopherol metabolites in humans. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1031, n. 1, p. 365–367, 2004.

FRANK, J.; LEE, S.; LEONARD, S. W.; ATKINSON, J. K.; KAMAL-ELDIN, A.; TRABER, M. G. Sex differences in the inhibition of γ -tocopherol metabolism by a single dose of dietary sesame oil in healthy subjects. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 87, n. 6, p. 1723–1729, 2008.

FRATERRIGO GAROFALO, S.; TOMMASI, T.; FINO, D. A short review of green extraction technologies for rice bran oil. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 11, n. 2, p. 569–587, 2021.

FREIRE, P. C. M.; MANCINI-FILHO, J.; FERREIRA, T. A. P. C. Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde. **Revista de Nutrição**, v. 26, n. 3, p. 353–358, 2013.

FREITAS, I. R.; CATTELAN, M. G.; RODRIGUES, M. L.; LUZIA, D. M. M.; JORGE, N. Effect of grape seed extract (*Vitis labrusca* L.) on soybean oil under thermal oxidation. *Nutrition & Food Science*, v. 47, n. 5, p. 610–622, 2017.

GARCÍA-MORENO, P. J.; PÉREZ-GÁLVEZ, R.; GUADIX, A.; GUADIX, E. M. Influence of the parameters of the Rancimat test on the determination of the oxidative stability index of cod liver oil. *LWT - Food Science and Technology*, v. 51, n. 1, p. 303–308, 2013.

GARG, A.; SHARMA, R.; DEY, P.; KUMAR, A. Food auto-oxidation: an overview. In: **Antioxidants Effects in Health**. Elsevier, 2022. p. 43–68.

GARG, M.; WASON, S.; MEENA, P. L.; CHOPRA, R.; SADHU, S. D.; DHYANI, A. Effect of frying on physicochemical properties of sesame and soybean oil blend. *Journal of Applied and Natural Science*, v. 13, n. 3, p. 820–829, 2021.

GASPARINI, S. P. **Valor nutricional do farelo de arroz integral para frangos de corte de crescimento lento**. 51 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Maranhão, 2014.

GEBREMESKEL, A. F.; NGODA, P. N.; KAMAU-MBUTHIA, E. W.; MAHUNGU, S. M. The effect of roasting, storage temperature, and ethanoic basil (*Ocimum basilicum* L.) extract on the oxidative stability of crude sesame (*Sesamum indicum* L.) oil. *Food Science & Nutrition*, v. 10, n. 8, p. 2736–2748, 2022.

GERDE, J. A.; HAMMOND, E. G.; JOHNSON, L. A.; SU, C.; WANG, T.; WHITE, P. J. Soybean Oil. In: **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Wiley, 2020. p. 1–68.

GHARBY, S. Refining vegetable oils: chemical and physical refining. *The Scientific World Journal*, v. 2022, p. 1–10, 2022.

GHARBY, S.; HARHAR, H.; BOUZOUBAA, Z.; ASDADI, A.; EL YADINI, A.; CHARROUF, Z. Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 16, p. 105–111, 2017.

GHATAK, S.; PANCHAL, S. Gamma-oryzanol: a multi-purpose steryl ferulate. *Current Nutrition & Food Science*, v. 7, n. 1, p. 10–20, 2011.

GHAZANI, S. M.; MARANGONI, A. G. Healthy Fats and Oils. In: **Encyclopedia of Food Grains**. 2. ed. Oxford: Academic Press, 2016. p. 257–267.

GHEONEA (DIMA), I.; APRODU, I.; ENACHI, E.; HORINCAR, G.; BOLEA, C. A.; BAHIM, G. E.; RÂPEANU, G.; STÂNCIUC, N. Investigations on thermostability of carotenoids from tomato peels in oils using a kinetic approach. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 44, n. 1, 2020.

GHOSH, M.; UPADHYAY, R.; MAHATO, D. K.; MISHRA, H. N. Thermal and oxidative stability assessment of synergistic blends of sunflower and sesame oils tailored for

nutritionally stable composition of omega fatty acids. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 2019.

GIDIK, B.; CAN, Z.; ÖNEMLI, F. Antioxidant activities of different peanut (*Arachis hypogaea* L.) market types by spectrophotometric techniques combined with chemometrics. **Chemistry & Biodiversity**, v. 21, n. 4, 2024.

GÓMEZ-ALONSO, S.; MANCEBO-CAMPOS, V.; SALVADOR, M. D.; FREGAPANE, G. Evolution of major and minor components and oxidation indices of virgin olive oil during 21 months storage at room temperature. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 36–42, 2007.

GREBENTEUCH, S.; KROH, L. W.; DRUSCH, S.; ROHN, S. Formation of secondary and tertiary volatile compounds resulting from the lipid oxidation of rapeseed oil. **Foods**, v. 10, n. 10, p. 2417, 2021.

GUILLÉN, M. D.; CABO, N. Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. **Food Chemistry**, v.77, n.4, p. 503–510, 2002.

GULCIN, İ.; ALWASEL, S. H. DPPH radical scavenging assay. **Processes**, v. 11, n. 8, p. 2248, 2023.

GUO, M.; YANG, L.; LI, X.; TANG, H.; LI, X.; XUE, Y.; DUAN, Z. Antioxidant efficacy of rosemary extract in improving the oxidative stability of rapeseed oil during storage. **Foods**, v. 12, n. 19, p. 3583, 2023.

HARRYSSON, H.; KROOK, J. L.; LARSSON, K.; TULLBERG, C.; OERBEKKE, A.; TOTH, G.; PAVIA, H.; UNDELAND, I. Effect of storage conditions on lipid oxidation, nutrient loss and colour of dried seaweeds, *Porphyra umbilicalis* and *Ulva fenestrata*, subjected to different pretreatments. **Algal Research**, v. 56, p. 102295, 2021.

HEMALATHA, S.; GHAFLOORUNISSA. Sesame lignans enhance the thermal stability of edible vegetable oils. **Food Chemistry**, v. 105, n. 3, p. 1076–1085, 2007.

HOUKETCHANG NDOMOU, S. C.; TOGYAM, H.; NJAPNDOUNKE, B.; POUGOUE, A.; TIWO, C. T.; WOMENI, H. M. Optimization of the mixture of groundnut, palm, stearin, and sesame oils subjected to heat treatment and evaluation of their lipid quality. **Heliyon**, v. 9, n. 1, p. e12813, 2023.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 6, p. 1841–1856, 2005.

HUANG, J.; CHEN, C.; ZHAO, Z.; LI, X.; WANG, X.; JIN, Q.; TANG, J. Inhibition effect of oryzanol on the degradation of tocopherol and the oxidation kinetic of rice bran oils with different content of oryzanol and tocopherol. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 124, n. 5, 2022.

HUSSAIN, S. A.; HAMEED, A.; AJMAL, I.; NOSHEEN, S.; SULERIA, H. A. R.; SONG, Y. Effects of sesame seed extract as a natural antioxidant on the oxidative stability of sunflower oil. **Journal of Food Science and Technology**, 2018.

HWANG, L. S.; LEE, M.; SU, N. Sesame oil. In: **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Wiley, 2020. p. 1–39.

INAGAKI, C. H.; BOIAGO, N. P. Característica fisiológica e físico-química de sementes de soja sob danos de percevejos. **Revista cultivando o saber**, edição especial, p. 19–30, 2020.

ISLAM, M. D. A.; JEONG, B. G.; KERR, W. L.; CHUN, J. Validation of phytosterol analysis by alkaline hydrolysis and trimethylsilyl derivatization coupled with gas chromatography for rice products. **Journal of Cereal Science**, v. 101, p. 103305, 2021.

JACOBSEN, C. Oxidative Rancidity. In: **Encyclopedia of Food Chemistry**. Elsevier, 2019. p. 261–269.

JACOBSEN, C. Understanding and reducing oxidative flavour deterioration in foods. In: **Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications**. Elsevier, 2010. p. 122–142.

JAIMEZ-ORDAZ, J.; PÉREZ-FLORES, J. G.; CASTAÑEDA-OVANDO, A.; GONZÁLEZ-OLIVARES, L. G.; AÑORVE-MORGA, J.; CONTRERAS-LÓPEZ, E. Kinetic parameters of lipid oxidation in third generation (3G) snacks and its influence on shelf-life. **Food Science and Technology**, v. 39, n. suppl. 1, p. 136–140, 2019.

JAVANI-SERAJI, S.; BAZARGANI-GILANI, B.; AGHAJANI, N. Influence of extraction techniques on the efficiency of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extracts in oxidative stability of edible oils. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 5, p. 2344–2355, 2023.

JIA, Z.; XU, Y.; WANG, J.; SONG, R. Antioxidant activity and degradation kinetics of astaxanthin extracted from *Penaeus sinensis* (*Solenocera crassicornis*) byproducts under pasteurization treatment. **LWT - Food Science and Technology**, v. 152, p. 112336, 2021.

JO, Y.-J.; CHO, H.-S.; CHUN, J.-Y. Antioxidant activity of β -cyclodextrin inclusion complexes containing trans-cinnamaldehyde by DPPH, ABTS and FRAP. **Food Science and Biotechnology**, v. 30, n. 6, p. 807–814, 2021.

JORGE, N. **Química e tecnologia de óleos vegetais**. São Paulo: Cultura acadêmica, 2009. 163 p.

JU, J.; ZHENG, Z.; XU, Y.; CAO, P.; LI, J.; LI, Q.; LIU, Y. Influence of total polar compounds on lipid metabolism, oxidative stress and cytotoxicity in HepG2 cells. **Lipids in Health and Disease**, v. 18, n. 1, p. 37, 2019.

JUNG, M.; KIM, J.; AHN, S. M. Factors associated with frequency of peanut consumption in Korea: a national population-based study. **Nutrients**, v. 12, n. 5, p. 1207, 2020.

KALANTZAKIS, G.; BLEKAS, G.; PEGKLIDOU, K.; BOSKOU, D. Stability and radical-scavenging activity of heated olive oil and other vegetable oils. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 108, n. 4, p. 329–335, 2006.

KAMAL-ELDIN, A. Effect of fatty acids and tocopherols on the oxidative stability of vegetable oils. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 108, n. 12, p. 1051–1061, 2006.

KASEKE, T.; OPARA, U. L.; FAWOLE, O. A. Blending of sunflower oil with pomegranate seed oil from blanched seeds: impact on functionality, oxidative stability, and antioxidant properties. **Processes**, v. 9, n. 4, p. 635, 2021.

KASPRZAK, M.; RUDZIŃSKA, M.; PRZYBYLSKI, R.; KMIECIK, D.; SIGER, A.; OLEJNIK, A. The degradation of bioactive compounds and formation of their oxidation derivatives in refined rapeseed oil during heating in model system. **LWT - Food Science and Technology**, v. 123, p. 109078, 2020.

KAUR, A.; SINGH, B.; KAUR, A.; SINGH, N. Changes in chemical properties and oxidative stability of refined vegetable oils during short-term deep-frying cycles. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 6, 2020.

KAUR, A.; SINGH, B.; KAUR, A.; YADAV, M. P.; SINGH, N. Impact of intermittent frying on chemical properties, fatty acid composition, and oxidative stability of 10 different vegetable oil blends. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 12, 2021.

KAVUNCUOGLU, H.; DURSUN CAPAR, T.; KARAMAN, S.; YALCIN, H. Oxidative stability of extra virgin olive oil blended with sesame seed oil during storage: an optimization study based on combined design methodology. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 1, p. 173–183, 2017.

KHAKBAZ HESHMATI, M.; JAFARZADEH-MOGHADDAM, M.; PEZESHKI, A.; SHADDEL, R. The oxidative and thermal stability of optimal synergistic mixture of sesame and grapeseed oils as affected by frying process. **Food Science and Nutrition**, 2022.

KIM, S.-O.; KIM, N.-S.; NOH, B.-S.; LEE, D.-S. Liquid chromatographic determination of α -, β -, γ -, and δ -tocopherol in sesame oils of different origin. **Analytical Science and Technology**, v. 15, n. 3, p. 248–255, 2002.

KMIECIK, D.; FEDKO, M.; SIGER, A.; KOWALCZEWSKI, P. Ł. Nutritional quality and oxidative stability during thermal processing of cold-pressed oil blends with 5:1 ratio of ω 6/ ω 3 fatty acids. **Foods**, v. 11, n. 8, p. 1081, 2022.

KMIECIK, D.; FEDKO, M.; SIGER, A.; KULCZYŃSKI, B. Degradation of tocopherol molecules and its impact on the polymerization of triacylglycerols during heat treatment of oil. **Molecules**, v. 24, n. 24, p. 4555, 2019.

KOCHHAR, S. P.; HENRY, C. Oxidative stability and shelf-life evaluation of selected culinary oils. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. 2, p. 289–296, 2009.

KONSOULA, Z.; LIAKOPOULOU-KYRIAKIDES, M. Effect of endogenous antioxidants of sesame seeds and sesame oil to the thermal stability of edible vegetable oils. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 9, p. 1379–1386, 2010.

KONUSKAN, D. B.; ARSLAN, M.; OKSUZ, A. Physicochemical properties of cold pressed sunflower, peanut, rapeseed, mustard and olive oils grown in the Eastern Mediterranean region. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 2, p. 340–344, 2019.

KOSTADINOVIĆ VELIČKOVSKA, S.; MITREV, S.; MIHAJLOV, L. J. Physicochemical characterization and quality of cold-pressed peanut oil obtained from organically produced peanuts from Macedonian “Virginia” variety. **Grasas y Aceites**, v. 67, n. 1, p. 1–8, 2016.

KREPS, F.; BURČOVÁ, Z.; SCHMIDT, Š. Degradation of fatty acids and tocopherols to form tocopheryl quinone as risk factor during microwave heating, pan-frying and deep-fat frying. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 119, n. 5, 2017a.

KREPS, F.; KYSELKA, J.; BURČOVÁ, Z.; SCHMIDT, Š.; RAJCHL, A.; FILIP, V.; HÁZ, A.; JABLONSKÝ, M.; SLÁDKOVÁ, A.; ŠURINA, I. Influence of deodorization temperature on formation of tocopherol esters and fatty acids polymers in vegetable oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 119, n. 3, 2017b.

KUSHWAHA, R. Pharmacognosy of rice bran oil - a review. **International Journal of Green Pharmacy**, v. 12, n. 4, p. S784–S789, 2018.

LAI, O.-M.; JACOBY, J. J.; LEONG, W.-F.; LAI, W.-T. Nutritional studies of rice bran oil. In: **Rice Bran and Rice Bran Oil**. Elsevier, 2019. p. 19–54.

LE GRESLEY, A.; AMPEM, G.; GROOTVELD, M.; PERCIVAL, B. C.; NAUGHTON, D. P. Characterization of peroxidation products arising from culinary oils exposed to continuous and discontinuous thermal degradation processes. **Food & Function**, v. 10, n. 12, p. 7952–7966, 2019.

LEE, H. P.; LEE, J.; GOURLEY, L.; DUFFY, S. W.; DAY, N. E.; ESTÈVE, J. Dietary effects on breast-cancer risk in Singapore. **The Lancet**, v. 337, n. 8751, p. 1197–1200, 1991.

LEE, J. W.; SEO, M. S.; PARK, J. W. The effects of fatty acid composition and storage conditions on the oxidative stability of various vegetable seed oils. **Journal of Food Engineering and Processing**, 2017.

LEHNERT, S.; DUBININA, A.; DEYNICHENKO, G.; KHOMENKO, O. O.; HAPONCEVA, O.; ANTONYUK, I.; MEDVEDIEVA, A.; DEMICHKOVSKA, M.; VASYLIEVA, O. The study of influence of natural antioxidants on quality of peanut and linseed oil blends during their storage. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, v. 4, n. 11, p. 62–71, 2018.

LEHNERT, S.; KHOMENKO, O.; DUBININA, A.; VINNIKOVA, V.; TATAR, L. Quality and safety of new blended oils. **Food Science and Technology**, v. 13, n. 3, 2019.

LERMA-GARCÍA, M. J.; SIMÓ-ALFONSO, E. F.; CHIAVARO, E.; BENDINI, A.; LERCKER, G.; CERRETANI, L. Study of chemical changes produced in virgin olive oils with different phenolic contents during an accelerated storage treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 17, p. 7834–7840, 2009.

LI, T.; GUO, Q.; QU, Y.; LI, Y.; LIU, H.; LIU, L.; ZHANG, Y.; JIANG, Y.; WANG, Q. Solubility and physicochemical properties of resveratrol in peanut oil. **Food Chemistry**, v. 368, p. 130687, 2022.

LI, X.; WANG, Z.; XING, C.; CHEN, Z.; SUN, W.; SUN, C.; XU, G.; WANG, X. Feasibility of total polar compound and its five components to evaluate the deterioration of heated and fried oil: aspect of regulations of various countries. **LWT - Food Science and Technology**, v. 171, p. 114153, 2022.

LI, Y.; MA, W.-J.; QI, B.-K.; ROKAYYA, S.; LI, D.; WANG, J.; FENG, H.-X.; SUI, X.-N.; JIANG, L.-Z. Blending of soybean oil with selected vegetable oils: impact on oxidative stability and radical scavenging activity. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**, v. 15, n. 6, p. 2583–2589, 2014.

LIMA, M. D.; RAMOS, R. S. Influence of storage conditions on the stability of ozonized vegetable oils. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 12, p. e133131247796, 2024.

LIN, C.-W.; YU, C.-W.; WU, S.-C.; YIH, K.-H. DPPH free-radical scavenging activity, total phenolic contents and chemical composition analysis of forty-two kinds of essential oils. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 17, n. 5, 2020.

LIU, R.; XU, Y.; CHANG, M.; LIU, R.; WANG, X. Interactions between α -tocopherol and γ -oryzanol in oil-in-water emulsions. **Food Chemistry**, v. 356, p. 129648, 2021.

LIU, R.; XU, Y.; ZHANG, T.; GONG, M.; LIU, R.; CHANG, M.; WANG, X. Interactions between liposoluble antioxidants: a critical review. **Food Research International**, v. 155, p. 111104, 2022.

LIU, W.; DENG, Y.; ZHAO, Z.; WEI, Z.; ZHANG, Y.; TANG, X.; LIU, G.; LI, P.; ZHOU, P.; ZHANG, M. Use of different approaches for deacidification of high-acid rice bran oil: a comparison of glyceride lipid profiles. **LWT - Food Science and Technology**, v. 173, p. 114284, 2023. a.

LIU, X.-T.; YANG, C.; LIU, J.; LIU, Y.-X.; SHANG, S.; HUA, F.; LV, X.-X. The antioxidant and antisenescence activities of physically refined rice bran oil surpass those of the combination of γ -oryzanol, α -tocopherol and sitosterol. **CyTA - Journal of Food**, v. 21, n. 1, p. 410–417, 2023. b.

LOBO-PRIETO, A.; TENA, N.; APARICIO-RUIZ, R.; MORALES, M. T.; GARCÍA-GONZÁLEZ, D. L. Gradual changes of the protective effect of phenols in virgin olive oils subjected to storage and controlled stress by mesh cell incubation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 42, p. 15732–15744, 2023.

LOYPIMAI, P.; MOONGNGARM, A.; SITTISUANJIK, K.; WONGSADEE, T. Enhancement of bioactive compounds and oxidation stability of soybean oil by

enrichment with tocopherols and γ -oryzanol extracted from rice bran using ultrasound and ohmic heating. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 11, 2022.

LU, X.; YANG, H.; MENG, Y.; WANG, D. Sunflower oil flavored by spearmint through conventional and ultrasound-assisted maceration: differences in oxidative stability, microbial contamination and sensory properties. **Processes**, v. 10, n. 11, p. 2451, 2022.

MA, S.; DING, C.; ZHOU, C.; SHI, H.; BI, Y.; ZHANG, H.; XU, X. Peanut oils from roasting operations: An overview of production technologies, flavor compounds, formation mechanisms, and affecting factors. **Heliyon**, v. 10, n. 15, p. e34678, 2024.

MA, Y.; WANG, G.; DENG, Z.; ZHANG, B.; LI, H. Effects of endogenous anti-oxidative components from different vegetable oils on their oxidative stability. **Foods**, v. 12, n. 11, p. 2273, 2023.

MACHADO, M.; RODRIGUEZ-ALCALÁ, L. M.; GOMES, A. M.; PINTADO, M. Vegetable oils oxidation: mechanisms, consequences and protective strategies. **Food Reviews International**, v. 39, n. 7, p. 4180–4197, 2023.

MAJDALAWIEH, A. F.; ELTAYEB, A. E.; ABU-YOUSEF, I. A.; YOUSEF, S. M. Hypolipidemic and anti-atherogenic effects of sesamol and possible mechanisms of action: a comprehensive review. **Molecules**, v. 28, n. 8, p. 3567, 2023.

MAJDALAWIEH, A. F.; MASSRI, M.; NASRALLAH, G. K. A comprehensive review on the anti-cancer properties and mechanisms of action of sesamin, a lignan in sesame seeds (*Sesamum indicum*). **European Journal of Pharmacology**, v. 815, p. 512–521, 2017.

MAJDALAWIEH, A. F.; RO, H. S. Sesamol and sesame (*Sesamum indicum*) oil enhance macrophage cholesterol efflux via up-regulation of PPAR γ 1 and LXR α transcriptional activity in a MAPK-dependent manner. **European Journal of Nutrition**, v. 54, n. 5, p. 691–700, 2015.

MAJETIĆ GERMEK, V.; GOBIN, I.; FRANJKOVIĆ, D.; MARKOVIĆ, M.; KOPRIVNJAK, O. Reduction of total phenols in virgin olive oil as a preservation medium during cold storage of whey cheese and tofu. **Food Technology and Biotechnology**, v. 62, n. 3, p. 346–353, 2024.

MAMTANI, K.; SHAHBAZ, K.; FARID, M. M. Glycerolysis of free fatty acids: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 137, p. 110501, 2021.

MANCEBO-CAMPOS, V.; SALVADOR, M. D.; FREGAPANE, G. Modelling virgin olive oil potential shelf-life from antioxidants and lipid oxidation progress. **Antioxidants**, v. 11, n. 3, p. 539, 2022.

MARTIN-RUBIO, A. S.; SOPELANA, P.; GUILLÉN, M. D. Assessment of soybean oil oxidative stability from rapid analysis of its minor component profile. **Molecules**, v. 25, n. 20, p. 4860, 2020.

MARTINS, P. F. **Estudos e experimentos para a concentração de tocoferóis e fitosteróis por meio da destilação molecular**. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

MASZEWSKA, M.; FLOROWSKA, A.; DŁUŻEWSKA, E.; WRONIAK, M.; MARCINIAK-LUKASIAK, K.; ŻBIKOWSKA, A. Oxidative stability of selected edible oils. **Molecules**, v. 23, n. 7, p. 1746, 2018.

MATTHÄUS, B. Oxidation of edible oils. In: **Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications**. Elsevier, 2010. p. 183–238.

MBA, O. I.; DUMONT, M.-J.; NGADI, M. Thermostability and degradation kinetics of tocopherols and carotenoids in palm oil, canola oil and their blends during deep-fat frying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 82, p. 131–138, 2017.

McLAUGHLIN, P. J.; WEIHRAUCH, J. L. Vitamin E content of foods. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 75, n. 6, p. 647–665, 1979.

MELCHIOR, C.; FRANCISCATO, L. M. S. dos S.; BARBOSA, V. A.; SILVA, M. R. Da; BITTENCOURT, P. R. S.; BARROS, B. C. B.; PICOLLOTO, A. M.; MORITZ, C. M. F. Chemical composition and thermal properties of commercial essential oils and their antimicrobial and antioxidant activities. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, p. e15412139694, 2023.

MERRILL, L. I.; PIKE, O. A.; OGDEN, L. V.; DUNN, M. L. Oxidative stability of conventional and high-oleic vegetable oils with added antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 85, n. 8, p. 771–776, 2008.

METZNER-UNGUREANU, C. R.; POIANA, M. A.; COCAN, I.; LUPITU, A. I.; ALEXA, E.; MOIGRADEAN, D. Strategies to improve the thermo-oxidative stability of sunflower oil by exploiting the antioxidant potential of blueberries processing byproducts. **Molecules**, v. 25, n. 23, p. 56–88, 2020.

MICHIU, D.; SOCACIU, M.-I.; FOGARASI, M.; JIMBOREAN, A. M.; RANGA, F.; MUREȘAN, V.; SEMENIUC, C. A. Implementation of an analytical method for spectrophotometric evaluation of total phenolic content in essential oils. **Molecules**, v. 27, n. 4, p. 1345, 2022.

MINGROU, L.; GUO, S.; HO, C. T.; BAI, N. Review on chemical compositions and biological activities of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of Food Biochemistry**, v. 46, n. 7, e14119, 2022.

MIYAZAKI, R.; KATO, S.; OTOKI, Y.; RAHMANIA, H.; SAKAINO, M.; TAKEUCHI, S.; SATO, T.; IMAGI, J.; NAKAGAWA, K. Elucidation of decomposition pathways of linoleic acid hydroperoxide isomers by GC-MS and LC-MS/MS. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 87, n. 2, p. 179–190, 2023.

MOHAMMED, A. S.; HASHEM, H. A. A.; ABDEL MAKSOUUD, B. S. Improving the quality properties of soybean oil by using rice bran oil. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 2723, 2024.

MOHAN, A.; ROY, A.; DUGGIRALA, K.; KLEIN, L. Oxidative reactions of 4-oxo-2-nonenal in meat and meat products. **LWT - Food Science and Technology**, v. 165, p. 113747, 2022.

MORSY, M. K.; SAMI, R.; ALGARNI, E.; AL-MUSHHIN, A. A. M.; BENAJIBA, N.; A., A.; ALMASOUDI, A. G.; MEKAWI, E. Phytochemical profile and antioxidant activity of sesame seed (*Sesamum indicum*) by-products for stability and shelf life improvement of refined olive oil. **Antioxidants**, v. 11, n. 2, p. 338, 2022.

MOSLAVAC, T.; JOKIĆ, S.; ŠUBARIĆ, D.; OSTOJČIĆ, M.; TOMAS, S.; KOVAČ, M.; BUDŽAKI, S. Influence of drying, pressing, and antioxidants on yield and oxidative stability of cold pressed oils. **Kemija u industriji**, n. 7–8, 2023.

MUÑOZ-ARRIETA, R.; ESQUIVEL-ALVARADO, D.; ALFARO-VIQUEZ, E.; ALVAREZ-VALVERDE, V.; KRUEGER, C. G.; REED, J. D. Nutritional and bioactive composition of Spanish, Valencia, and Virginia type peanut skins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 98, p. 103816, 2021.

MURAKAMI, Y.; SENDA, A.; INO, T.; MURAMOTO, Y. Dielectric-breakdown properties of ester oil prepared from thermally degraded rice oil. **IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering**, v. 18, n. 10, p. 1569–1575, 2023.

MURILLO, M. C.; GARCÍA, A. B.; LAFARGA, T.; MELGOSA, M.; BERMEJO, R. Color of extra virgin olive oils enriched with carotenoids from microalgae: influence of ultraviolet exposure and heating. **Grasas y Aceites**, v. 73, n. 2, p. e455, 2022.

NG, S. K.; CHOONG, Y. H.; TAN, C. P.; LONG, K.; NYAM, K. L. Effect of total solids content in feed emulsion on the physical properties and oxidative stability of microencapsulated kenaf seed oil. **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, n. 2, p. 627–632, 2014.

NGASSAPA, F. N.; MWAISAKA, T. R.; NYANDORO, S. S. Stability of traditionally processed vegetable oils and their blends under different storage conditions. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, 2017.

NIKOLOV, N.; GENERALIĆ MEKINIĆ, I.; LJUBENKOV, I.; ŠIMAT, V.; SKROZA, D.; ANĐELIĆ, I.; SOLDI, B. The effect of selected herb extracts on oxidative stability of vegetable oils. **Croatica Chemica Acta**, v. 92, n. 3, p. 331–336, 2019.

NOLLET, L. M. L.; AHMAD, J. **Bioactive compounds from food**. Boca Raton: CRC Press, 2024.

NORAZLINA, M. R.; JAHURUL, M. H. A.; HASMADI, M.; MANSOOR, A. H.; NORLIZA, J.; PATRICIA, M.; RAMLAH-GEORGE, M. R.; NOORAKMAR, A. W.; LEE, J. S.; FAN, H. Y. Trends in blending vegetable fats and oils for cocoa butter alternative application: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 102–114, 2021.

NORIEGA, P.; DÍAZ, E.; VILLEGAS, I.; POZO, K.; GUERRERO, P.; GUERRA, P.; LARENAS, C. Antioxidant activity of six essential oils and its molecules in Ecuadorian Andean medicinal plants. **TMR Modern Herbal Medicine**, v. 6, n. 3, p. 11, 2023.

NOUR, V.; CORBU, A. R.; ROTARU, P.; KARAGEORGOU, I.; LALAS, S. Effect of carotenoids, extracted from dry tomato waste, on the stability and characteristics of various vegetable oils. **Grasas y Aceites**, v. 69, n. 1, p. 238, 2018.

NUGRAHANI, R. A.; HENDRAWATI, T. Y.; HASYIM, U. H.; SARI, F.; RAMADHAN, A. I. Kinetic parameter for scale-up and γ -oryzanol content of rice bran oil as antioxidant: comparison of maceration, ultrasonication, pneumatic press extraction. **Heliyon**, v. 10, n. 10, p. e30880, 2024.

O'BRIEN, N. M.; O'CONNOR, T. P. Lipid oxidation. In: **Encyclopedia of Dairy Sciences**. Elsevier, 2022. p. 821–826.

O'BRIEN, R. D. **Fats and oils: formulating and processing for applications**. 3 ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 680 p.

OBOULBIGA, E. B.; DOUAMBA, Z.; COMPAORÉ-SÉRÉMÉ, D.; SEMPORÉ, J. N.; DABO, R.; SEMDE, Z.; TAPSOBA, F. W.-B.; HAMA-BA, F.; SONGRÉ-OUATTARA, L. T.; PARKOUDA, C.; DICKO, M. H. Physicochemical, potential nutritional, antioxidant and health properties of sesame seed oil: a review. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, 2023.

OCCHIUTO, C.; ALIBERTO, G.; INGEGNERI, M.; TROMBETTA, D.; CIRCOSTA, C.; SMERIGLIO, A. Comparative evaluation of the nutrients, phytochemicals, and antioxidant activity of two hempseed oils and their byproducts after cold pressing. **Molecules**, v. 27, n. 11, p. 3431, 2022.

OLMEDO, R.; RIBOTTA, P.; GROSSO, N. R. Oxidative stability, affective and discriminative sensory test of high oleic and regular peanut oil with addition of oregano essential oil. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 12, p. 5133–5141, 2018.

ONWUZURUIKE, U. A.; INYANG, U. E.; EDIMA-NYAH, A. P.; OKWUNODULU, I. N.; ANYANWU, C. U. Chemical composition, quality indices and viscosity of edible oils from blends of African oil bean seed oil and sesame seed oil. **Jurnal Bio-Geo Material Dan Energi**, v. 4, n. 1, p. 33–47, 2024.

ORLOVA, Y.; HARMON, R. E.; BROADBELT, L. J.; IEDEMA, P. D. Review of the kinetics and simulations of linseed oil autoxidation. **Progress in Organic Coatings**, v. 151, p. 106041, 2021.

ORSAVOVA, J.; MISURCOVA, L.; AMBROZOVA, J. V.; VICHA, R.; MLCEK, J. Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 12, p. 12871–12890, 2015.

OSAWA, C. C.; GONÇALVES, L. A. G.; MENDES, F. M. Avaliação dos óleos e gorduras de fritura de estabelecimentos comerciais da cidade de Campinas/SP. As boas práticas de fritura estão sendo atendidas? **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 1, p. 47–55, 2010.

ÖZCAN, M. M.; KÖSE, N. Monitoring of changes in physico-chemical properties, fatty acids and phenolic compounds of unroasted and roasted sunflower oils obtained by

enzyme and ultrasonic extraction systems. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 17, n. 1, p. 849–862, 2023.

PAN, Z.; SUN, Y.; ZHANG, F.; GUO, X.; LIAO, Z. Effect of thermal processing on carotenoids and folate changes in six varieties of sweet potato (*Ipomoea batata* L.). **Foods**, v. 8, n. 6, p. 215, 2019.

PARRY, J. W.; SU, L.; LUTHER, M.; ZHOU, K.; YURAWECZ, M. P.; WHITTAKER, P.; YU, L. Fatty acid composition and antioxidant properties of cold-pressed marionberry, boysenberry, red raspberry, and blueberry seed oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 3, p. 566–573, 2005.

PATTNAIK, M.; MISHRA, H. N. Amelioration of the stability of polyunsaturated fatty acids and bioactive enriched vegetable oil: blending, encapsulation, and its application. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 23, p. 6253–6276, 2022.

PATTNAIK, M.; MISHRA, H. N. Oxidative stability of ternary blends of vegetable oils: A chemometric approach. **LWT - Food Science and Technology**, v. 142, p. 111018, 2021.

PAZZOTI, G. S. O.; VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Influência da temperatura sobre as propriedades físico-químicas e antioxidantes dos óleos de chia, gergelim e linhaça. In: VERONEZI, C. M.; SILVA, A. C.; FREITAS, I. R.; JORGE, N. (Org.). **Óleos vegetais: propriedades físico-químicas, bioativas e antioxidantes**. Agron Food Academy, 2022, v. 1, p. 177–201.

PAZZOTI, G.; SOUZA, C.; VERONEZI, C.; LUZIA, D.; JORGE, N. Evaluation of oxidative stability of compound oils under accelerated storage conditions. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, e18180055, 2018.

PENG, Z.; ZHANG, Y.; AI, Z.; WEI, L.; LIU, Y. Effect of radio frequency roasting on the lipid profile of peanut oil and the mechanism of lipids transformation: revealed by untargeted lipidomics approach. **Food Research International**, v. 190, p. 114592, 2024.

PINHEIRO, A. A.; JORGE, N. Physicochemical evaluation of oil blends of *Glycine max* L., *Helianthus annuus* L. and *Cocos nucifera* L. under thermoxidation. **Acta Brasiliensis**, v. 5, n. 2, p. 51–56, 2021.

PINHEIRO, A. A.; LUZIA, D. M. M.; JORGE, N. Avaliação da qualidade de óleos de soja (*Glycine max* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.) e coco (*Cocos nucifera* L.) sob aquecimento. In: VERONEZI, C. M.; SILVA, A. C.; FREITAS, I. R.; JORGE, N. (Org.). **Óleos vegetais: propriedades físico-químicas, bioativas e antioxidantes**. 1. ed. Agron Food Academy, 2022, v. 1, p. 126–140.

POIANA, M.-A.; MOIGRADEAN, D.; DUMBRAVA, D.-G.; RADULOV, I.; RABA, D. N.; RIVIS, A. Exploring the potential of grape pomace extract to inhibit thermo-oxidative degradation of sunflower oil: from routine tests to ATR-FTIR spectroscopy. **Foods**, v. 11, n. 22, p. 3674, 2022.

POP, F.; SEMENIUC, C. A. Oxidative stability of avocado and peanut oils under different heating temperatures. **Revista de Chimie**, v. 73, n. 1, p. 1–8, 2022.

PUNIA, S.; KUMAR, M.; SANDHU, K. S.; WHITESIDE, W. S. Rice-bran oil: An emerging source of functional oil. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 4, 2021.

RABIEJ-KOZIOŁ, D.; MOMOT-RUPPERT, M.; STAWICKA, B.; SZYDŁOWSKA-CZERNIAK, A. Health benefits, antioxidant activity, and sensory attributes of selected cold-pressed oils. **Molecules**, v. 28, n. 14, p. 5484, 2023.

RAI, A. K.; APPAIAH, A. K. A. **Bioactive compounds in fermented foods**. New York: CRC Press, 2021.

RAMROUDI, F.; YASINI ARDAKANI, S. A.; DEGHANI-TAFTI, A.; KHALILI SADRABAD, E. Investigation of the physicochemical properties of vegetable oils blended with sesame oil and their oxidative stability during frying. **International Journal of Food Science**, v. 2022, p. 1–8, 2022.

RÉBLOVÁ, Z.; TICHOVSKÁ, D.; DOLEŽAL, M. Heating of plant oils-fatty acid reactions versus tocopherols degradation. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 27, n. Special Issue 1, p. S185–S187, 2009.

REKAS, A.; SIGER, A.; WRONIAK, M.; ŚCIBISZ, I. Phytochemicals and antioxidant activity degradation kinetics during long-term storage of rapeseed oil pressed from microwave-treated seeds. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 120, n. 2, e1700283, 2018.

REKIK, O.; MANSOUR, A. Ben; DA SILVA, M. D. R. G.; BOUAZIZ, M. Identification of trace volatile and phenolic compounds in olive oils with trees growing in different area conditions: using SPME/GC–MS. **Food Analytical Methods**, v. 14, n. 12, p. 2494–2510, 2021.

RIZVI, N. B.; FATIMA, A.; BUSQUETS, R.; KHAN, M. R.; ASHRAF, S.; KHAN, M. S.; OZ, F. Effect of the media in the Folin-Ciocalteu assay for the analysis of the total phenolic content of olive products. **Food Analytical Methods**, v. 16, n. 11–12, p. 1627–1634, 2023.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoids analysis in food**. 1. ed. Washington: ILSI Press, 2001. 64 p.

RODRÍGUEZ-BLÁZQUEZ, S.; GÓMEZ-MEJÍA, E.; ROSALES-CONRADO, N.; LEÓN-GONZÁLEZ, M.; GARCÍA-SÁNCHEZ, B.; MIRANDA, R. Valorization of *Prunus* seed oils: fatty acids composition and oxidative stability. **Molecules**, v. 28, n. 20, p. 7045, 2023.

ROMANO, R.; FILOSA, G.; PIZZOLONGO, F.; DURAZZO, A.; LUCARINI, M.; SEVERINO, P.; SOUTO, E. B.; SANTINI, A. Oxidative stability of high oleic sunflower oil during deep-frying process of purple potato Purple Majesty. **Heliyon**, v. 7, n. 3, p. e06294, 2021.

ROSA, L. N.; COQUEIRO, A.; MARÇO, P. H.; VALDERRAMA, P. Thermal rice oil degradation evaluated by UV–Vis-NIR and PARAFAC. **Food Chemistry**, v. 273, p. 52–56, 2019.

ROSHNI, A. Comparison of chemical characterises of crude and refined edible vegetable oils. **Advances in Basic Science**, v. 2142, n. 1, p. 060012, 2019.

SAEED, M. K.; ZAHRA, N.; SHAHADAT, N.; SHAHZADI, K.; IMAM ABDI, S. H.; IMAM ABDI, S. H.; SYED, Q. Extraction of poppy seed (*Papaver somniferum* L.) oil and its antioxidant activity by DPPH assay. **Lahore Garrison University Journal of Life Sciences**, v. 6, n. 02, p. 95–106, 2022.

SAKURAI, S.; KAWAKAMI, Y.; KUROKI, M.; GOTOH, H. Structure–antioxidant activity (oxygen radical absorbance capacity) relationships of phenolic compounds. **Structural Chemistry**, v. 33, n. 4, p. 1055–1062, 2022.

SALAHDELDEEN, M.; SATTI, A. A.; AWADALLAH, B. Storage and thermal behavior of some cooking oils consumed from the local market of Sudan. **Journal of Food Science and Technology**, v. 7, p. 919–924, 2019.

SALEH, Z.; EZZATPANAH, H.; AMINAFSHAR, M.; SAFAFAR, H. The effect of refining process on the conjugated dienes in soybean oil. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 15, n. 6, p. 1185–1193, 2013.

SARRAMI, S.; MOHAJERI, F. A.; SADEGHIZADEH-YAZDI, J.; JAMBARSANG, S.; KHALILI SADRABAD, E. Chemical composition and antioxidant activity of clove essential oil and its effect on stability of sesame oil under accelerated condition. **Journal of Nutrition and Food Security**, v. 8, n. 3, p. 343–352, 2023.

SCHMIDT, S.; POKORNÝ, J. Potential application of oilseeds as sources of antioxidants for food lipids - a review. **Czech Journal of Food Science**, v. 23, n. 3, p. 93–102, 2005.

SENGUPTA, S.; BHOWAL, J. Evaluation of the efficacy of rice bran and sesame oil for producing nutritionally-superior quality functional tofu. **Grasas y Aceites**, v. 75, n. 2, p. e551, 2024.

SHAKARAMI, A. Association between nutrients and cardiovascular diseases. **Current Cardiology Reviews**, v. 20, n. 1, 2024.

SHAHIDI, F. **Bailey's industrial oil & fats products**. 6 ed. New York: John Wiley & Son, 2005. p. 3616.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 9, p. 345–381, 2018.

SHAHIDI, F.; HOSSAIN, A. Role of lipids in food flavor generation. **Molecules**, v. 27, n. 15, p. 5014, 2022.

SHARMA, K.; KUMAR, M.; LORENZO, J. M.; GULERIA, S.; SAXENA, S. Manoeuvring the physicochemical and nutritional properties of vegetable oils through blending. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 100, n. 1, p. 5–24, 2023.

SHARMA, S.; CHAKKARAVARTHI, S.; BHATTACHARYA, B. Enhancement of oxidative stability of soybean oil via nano-emulsification of eggplant peel extract: process development and application. **Food Chemistry**, v. 402, p. 134249, 2023a.

SHARMA, S.; GHOSH, S.; RAMASWAMY, H. S. Effect of high temperature on the oxidative stability of vegetable oils. **Food Chemistry**, v. 278, p. 18–24, 2019.

SHIMA, M.; SAKASHITA, H. Kinetic analysis of the concentration of conjugated diene structures in glyceryl trilinoleate during oxidation. **Food Science and Technology Research**, v. 22, n. 6, p. 733–738, 2016.

SHIN, J.A.; HEO, Y.J.; LEE, K. T. Physicochemical characteristics of fat blend from hydrogenated coconut oil and acyl migrated palm mid-fraction. **Food Chemistry**, v. 275, p. 739–745, 2019.

SILVA, A. C.; ARRIEL, N. H. C.; ARAÚJO, A. E.; SOARES, J. J.; BELTRÃO N. E. M.; FIRMINO, P. T.; QUEIROGA, V. P. **Gergelim: insumos**. Embrapa, 2022.

SILVA, N. R. F.; PEREZ, V. H.; FERREIRA, K. S.; SILVEIRA, T. C.; SILVA, M. B. The increase of atherogenic index on fatty acids composition as a consequence of trans fat acids reduction in industrialized foods: the Brazilian scenery. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2019268, 2020.

SIMOPOULOS, A. P. **Handbook of lipids in human nutrition**. CRC Press, 2020.

SINGLETON, V. L.; ROSSI JR, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965.

SIPENIECE, E.; MISINA, I.; QIAN, Y.; GRIGIER, A.; SOBIESZCZAŃSKA, N.; SAHU, P. K.; RUDZIŃSKA, M.; PATEL, K. S.; GÓRNAŚ, P. Fatty acid profile and squalene, tocopherol, carotenoid, sterol content of seven selected consumed legumes. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 76, n. 1, p. 53–59, 2021.

SKROZA, D.; ŠIMAT, V.; VRDOLJAK, L.; JOLIĆ, N.; SKELIN, A.; ČAGALJ, M.; FRLETA, R.; GENERALIĆ MEKINIĆ, I. Investigation of antioxidant synergisms and antagonisms among phenolic acids in the model matrices using FRAP and ORAC methods. **Antioxidants**, v. 11, n. 9, p. 1784, 2022.

SOARES, C. G. **Propriedades nutricionais, tecnológicas e sensoriais de farelo de arroz na elaboração de cookies**. 55 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Alimentos) - Programa de Pós-graduação em Nutrição e Alimentos, Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

SONG, W.; XU, Z.; GAO, P.; LIU, X. Chemical composition and in vitro antioxidant activity and anti-acetylcholinesterase activity of essential oils from *Tadehagi triquetrum* (L.) Ohashi. **Molecules**, v. 28, n. 6, p. 2734, 2023.

SUÁREZ-MEDINA, M. D.; SÁEZ-CASADO, M. I.; MARTÍNEZ-MOYA, T.; RINCÓN-CERVERA, M. Á. The effect of low temperature storage on the lipid quality of fish, either alone or combined with alternative preservation technologies. **Foods**, v. 13, n. 7, p. 1097, 2024.

SULTAN, S. M.; DIKSHIT, N.; VAIDYA, U. J. Oil content and fatty acid composition of soybean (*Glycine max* L.) genotypes evaluated under rainfed conditions of Kashmir Himalayas in India. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 2, p. 910–915, 2015.

SUMAINAH, G. M.; SIMS, C. A.; BATES, R. P.; O'KEEFE, S. F. Flavor and oxidative stability of peanut-sesame-soy blends. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 5, p. 901–905, 2000.

SUMIT, G.; PARVEEN, K.; ANIL, K.; ANJALI, S.; SHALINI, S.; VASUDHA, S. Preparation and quality evaluation of different oil blends. **Letters in Applied NanoBioScience**, v. 10, n. 2, p. 2126–2137, 2020.

SURI, K.; SINGH, B.; KAUR, A.; SINGH, N. Impact of roasting and extraction methods on chemical properties, oxidative stability and Maillard reaction products of peanut oils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 5, p. 2436–2445, 2019.

SYAMILA, M.; GEDI, M. A.; BRIARS, R.; AYED, C.; GRAY, D. A. Effect of temperature, oxygen and light on the degradation of β -carotene, lutein and α -tocopherol in spray-dried spinach juice powder during storage. **Food Chemistry**, v. 284, p. 188–197, 2019.

SYMONIUK, E.; KSIBI, N.; WRONIAK, M.; LEFEK, M.; RATUSZ, K. Oxidative stability analysis of selected oils from unconventional raw materials using Rancimat apparatus. **Applied Sciences**, v. 12, n. 20, p. 10355, 2022a.

SYMONIUK, E.; WRONIAK, M.; NAPIÓRKOWSKA, K.; BRZEZIŃSKA, R.; RATUSZ, K. Oxidative stability and antioxidant activity of selected cold-pressed oils and oils mixtures. **Foods**, v. 11, n. 11, p. 1597, 2022b.

SZYDŁOWSKA-CZERNIAK, A.; KARLOVITS, G.; DIANOCZKI, C.; RECSEG, K.; SZŁYK, E. Comparison of two analytical methods for assessing antioxidant capacity of rapeseed and olive oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 85, n. 2, p. 141–149, 2008.

SZYDŁOWSKA-CZERNIAK, A.; MOMOT, M.; STAWICKA, B.; RABIEJ-KOZIOŁ, D. Effects of the chemical composition on the antioxidant and sensory characteristics and oxidative stability of cold-pressed black cumin oils. **Antioxidants**, v. 11, n. 8, p. 1556, 2022.

SZYDŁOWSKA-CZERNIAK, A.; RABIEJ, D. Octyl sinapate as a new antioxidant to improve oxidative stability and antioxidant activity of rapeseed oil during accelerated storage. **European Food Research and Technology**, v. 244, n. 8, p. 1397–1406, 2018.

TAN, S. S.; TAN, C. X.; TAN, S. T. Cold pressed peanut (*Arachis hypogaea* L.) oil. In: **Cold pressed oils: green technology, bioactive compounds, functionality, and applications**. Elsevier, 2020. p. 357–364.

TANG, Y.; LI, X.; CHEN, P. X.; ZHANG, B.; HERNANDEZ, M.; ZHANG, H.; MARCONE, M. F.; LIU, R.; TSAO, R. Characterisation of fatty acid, carotenoid, tocopherol/tocotrienol compositions and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. **Food Chemistry**, v. 174, p. 502–508, 2015.

TELLE-HANSEN, V. H.; GAUNDAL, L.; BASTANI, N.; RUD, I.; BYFUGLIEN, M. G.; GJØVAAG, T.; RETTERSTØL, K.; HOLVEN, K. B.; ULVEN, S. M.; MYHRSTAD, M. C. W. Replacing saturated fatty acids with polyunsaturated fatty acids increases the abundance of *Lachnospiraceae* and is associated with reduced total cholesterol levels - a randomized controlled trial in healthy individuals. **Lipids in Health and Disease**, v. 21, n. 1, p. 92, 2022.

TIAN, H.; LI, Y. F.; JIAO, G. L.; SUN, W. Y.; HE, R. R. Unveiling the antioxidant superiority of α -tocopherol: Implications for vitamin E nomenclature and classification. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 216, p. 46–49, 2024b.

TIAN, M.; BAI, Y.; TIAN, H.; ZHAO, X. The chemical composition and health-promoting benefits of vegetable oils - a review. **Molecules**, v. 28, n. 17, p. 6393, 2023.

TIAN, X.; WANG, X.; FANG, M.; YU, L.; MA, F.; WANG, X.; ZHANG, L.; LI, P. Nutrients in rice bran oil and their nutritional functions: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1–18, 2024a.

TIUSANEN, A.; RUIZ-JIMENEZ, J.; HARTONEN, K.; WIEDMER, S. K. Analytical methodologies for oxidized organic compounds in the atmosphere. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 25, n. 8, p. 1263–1287, 2023.

TOMAZZOLI, M. M.; AMARAL, W. do; CIPRIANO, R. R.; TOMASI, J. de C.; GOMES, E. N.; FERRIANI, A. P.; MAIA, B. H. L. de N. S.; DESCHAMPS, C. Chemical composition and antioxidant activity of essential oils from populations of *Baccharis dracunculifolia* DC. in Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, 2021.

TOOMER, O. T. Nutritional chemistry of the peanut (*Arachis hypogaea*). **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 17, p. 3042-3053, 2018.

TORRES, P.; OSAKI, S.; SILVEIRA, E.; DOS SANTOS, D. Y. A. C.; CHOW, F. Comprehensive evaluation of Folin-Ciocalteu assay for total phenolic quantification in algae (*Chlorophyta*, *Phaeophyceae*, and *Rhodophyta*). **Algal Research**, v. 80, p. 103503, 2024.

TRABER, M. G. Current evidence of the role of vitamin E in prolonging a healthy life. **Redox Experimental Medicine**, v. 2023, n. 1, 2023.

TRIANDITA, N.; PUTRI, N. E. The role of soybean in control of degenerative disease. **Jurnal Teknologi Pengolahan Pertanian**, v. 1, n. 1, p. 6, 2019.

TURA, M.; ANSORENA, D.; ASTIASARÁN, I.; MANDRIOLI, M.; TOSCHI, T. G. Evaluation of hemp seed oils stability under accelerated storage test. **Antioxidants**, v. 11, n. 3, p. 490, 2022.

UGURU, H.; AKPOKODJE, O. I.; HEMDAN, D. I.; SAMI, R.; HELAL, M.; ALJAHANI, A. H.; ASHOUR, A. A.; ALGEHAINY, N. A. Effectiveness of plant oil in stabilizing the antioxidants, phenolic compounds and antimicrobial effects of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) oil. **Materials Express**, v. 13, n. 4, p. 704–716, 2023.

USDA. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. **Production, supply and distribution online – soybeans: world production, 2023/2024**. Washington, DC, 2024a. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

USDA. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. **Peanut 2024 World Production**. Washington, DC, 2024b. Disponível em: <<https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2221000>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

USDA. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. **Rice Production**. Washington, DC, 2024c. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0422110>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

VALÉRIO, P. P.; BRANDÃO, A. L.; FRIAS CELAYETA, J. M.; CREN, E. C. Thermal degradation of β -carotene from macauba palm: mathematical modeling and parameter estimation. **International Journal of Food Studies**, v. 10, n. 1, p. 161–172, 2021.

VALI ZADE, S.; FOROOGHI, E.; RANJBAR, M.; JANNAT, B.; RASTEGAR, H.; ABDOLLAHI, H. Unveiling the oxidative degradation profiles of vegetable oils under thermal stress via Raman spectroscopy and machine learning methods. **Microchemical Journal**, v. 204, p. 111028, 2024.

VELASCO, J.; GIL, M.-J.; WEN, Y.-Q.; GARCÍA-GONZÁLEZ, A.; RUIZ-MÉNDEZ, M.-V. New insights into the loss of antioxidant effectiveness of phenolic compounds in vegetable oils in the presence of phosphatidylcholine. **Antioxidants**, v. 12, n. 11, p. 1993, 2023.

VENDRELL CALATAYUD, M.; LI, X.; BRIZZOLARA, S.; TONUTTI, P.; WANG, S. C. Storage effect on olive oil phenols: cultivar-specific responses. **Frontiers in Nutrition**, v. 11, 2024.

VERGARA, P.; WALLY, A. P.; PESTANA, V. R.; BASTOS, C.; ZAMBIAZI, R. C. Estudo do comportamento de óleo de soja e de arroz reutilizados em frituras sucessivas de batata. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 207–220, 2006.

VERMA, D. K.; SRIVASTAV, P. P. Bioactive compounds of rice (*Oryza sativa* L.): review on paradigm and its potential benefit in human health. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 355–365, 2020.

VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Caracterização físico-química e atividade antioxidante de óleos compostos sob termoxidação. In: Silvani Verruck. (Org.). **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 1 ed. Editora Científica Digital, 2021, v. 5, p. 137–145.

VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Effect of *Carica papaya* and *Cucumis melo* seed oils on the soybean oil stability. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, p. 1–10, 2018.

VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Qualidade de óleos compostos por soja (*Glycine max* L.) e mamão (*Carica papaya* L.) submetidos à estocagem acelerada em estufa. In: VERONEZI, C. M.; SILVA, A, C.; FREITAS, I. R.; JORGE, N. (Org.). **Óleos vegetais: propriedades físico-químicas, bioativas e antioxidantes**. 1 ed. Agron Food Academy, 2022a, v. 1, p. 112–125.

VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Sementes de mamão (*Carica papaya* L.) e melão (*Cucumis melo* L.) como fonte promissora de óleos vegetais: propriedades físico-químicas e capacidade antioxidante. In: VERONEZI, C. M.; SILVA, A, C.; FREITAS, I. R.; JORGE, N. (Org.). **Óleos vegetais: propriedades físico-químicas, bioativas e antioxidantes**. 1 ed. Agron Food Academy, 2022b. v. 1, p. 216–233.

VIANA DA SILVA, M.; SANTOS, M. R. C.; ALVES SILVA, I. R.; MACEDO VIANA, E. B.; DOS ANJOS, D. A.; SANTOS, I. A.; BARBOSA DE LIMA, N. G.; WOBETO, C.; JORGE, N.; LANNES, S. C. D. S. Synthetic and natural antioxidants used in the oxidative stability of edible oils: an overview. **Food Reviews International**, v. 38, n. sup1, p. 349–372, 2022.

VOON, P. T.; NG, C. M.; NG, Y. T.; WONG, Y. J.; YAP, S. Y.; LEONG, S. L.; YONG, X. S.; LEE, S. W. H. Health effects of various edible vegetable oils: an umbrella review. **Advances in Nutrition**, v. 15, n. 9, p. 100276, 2024.

WANG, G.; LIU, L.; PENG, F.; MA, Y.; DENG, Z.; LI, H. Natural antioxidants enhance the oxidation stability of blended oils enriched in unsaturated fatty acids. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, n. 5, p. 2907–2916, 2024a.

WANG, Q.; LIU, L.; WANG, L.; GUO, Y.; WANG, J. Introduction. In: **Peanuts: Processing Technology and Product Development**. Elsevier, 2016. p. 1–22.

WANG, S.; JIAN, C.; HU, M.; ZHAO, L.; SUN, H.; LIU, Q.; CAO, R.; XUE, Y. Lipid changes and volatile compounds formation in different processing stages of dry-cured Spanish mackerel. **Food Quality and Safety**, v. 8, 2024b.

WANG, X.; ZUO, G.-L.; WANG, C.-Y.; KIM, H. Y.; LIM, S. S.; TONG, S.-Q. An off-line DPPH-GC-MS coupling countercurrent chromatography method for screening, identification, and separation of antioxidant compounds in essential oil. **Antioxidants**, v. 9, n. 8, p. 702, 2020.

WANG, Y. Applications of Rice Bran Oil. In: **Rice bran and rice bran oil**. Elsevier, 2019. p. 159–168.

WANG, Y.; DIMKPA, C.; DENG, C.; ELMER, W. H.; GARDEA-TORRESDEY, J.; WHITE, J. C. Impact of engineered nanomaterials on rice (*Oryza sativa* L.): A critical review of current knowledge. **Environmental Pollution**, v. 297, p. 118738, 2022.

WEI, C.; WANG, X.; AI, Y.; ZHANG, S.; ZHANG, X.; ZHOU, Y.; LU, S.; GU, H.; ZHANG, X.; LUO, X.; XU, G.; LI, X. Effect of oleic/linoleic acid ratio on simultaneous formation of epoxy fatty acids and polar compounds in deep frying oils. **LWT - Food Science and Technology**, v. 187, p. 115389, 2023.

WEN, Y.; XU, L.; XUE, C.; JIANG, X.; WEI, Z. Assessing the impact of oil types and grades on tocopherol and tocotrienol contents in vegetable oils with chemometric methods. **Molecules**, v. 25, n. 21, p. 5076, 2020.

WIEN, M.; ODA, K.; SABATÉ, J. A randomized controlled trial to evaluate the effect of incorporating peanuts into an American Diabetes Association meal plan on the nutrient profile of the total diet and cardiometabolic parameters of adults with type 2 diabetes. **Nutrition Journal**, v. 13, n. 1, p. 10, 2014.

WIJEWARDANA, C.; REDDY, K. R.; BELLALLOUI, N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. **Food Chemistry**, v. 278, p. 92–100, 2019.

WU, Z.; SHI, X.; WANG, X.; LUO, Y.; WANG, X. Modeling and analysis of synergistic phenolic antioxidants in edible oil: integrating molecular simulation and artificial neural network approach. **Journal of Molecular Structure**, v. 1315, p. 138959, 2024.

XIE, Y.; JIANG, S.; LI, M.; GUO, Y.; CHENG, Y.; QIAN, E.; YAO, W. Evaluation on the formation of lipid free radicals in the oxidation process of peanut oil. **LWT - Food Science and Technology**, v. 104, p. 24–29, 2019.

XU, J.; GUAN, G.; YE, Z.; ZHANG, C.; GUO, Y.; MA, Y.; LU, C.; LEI, L.; ZHANG, X.-B.; SONG, G. Enhancing lipid peroxidation via radical chain transfer reaction for MRI guided and effective cancer therapy in mice. **Science Bulletin**, v. 69, n. 5, p. 636–647, 2024.

YAMAUCHI, M.; KITAMURA, Y.; NAGANO, H.; KAWATSU, J.; GOTOH, H. DPPH Measurements and structure - activity relationship studies on the antioxidant capacity of phenols. **Antioxidants**, v. 13, n. 3, p. 309, 2024.

YANG, B.; CHEN, J.; MIS SOLVAL, K. Microencapsulated polyphenol extracts from Georgia-grown pomegranate peels delay lipid oxidation in salad dressing during accelerated and ambient storage conditions. **Food Science & Nutrition**, v. 12, n. 1, p. 370–384, 2024.

YANG, R.; ZHANG, L.; LI, P.; YU, L.; MAO, J.; WANG, X.; ZHANG, Q. A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China. **Trends in Food Science & Technology**, v. 74, p. 26–32, 2018.

YASEEN, G.; AHMAD, M.; ZAFAR, M.; AKRAM, A.; SULTANA, S.; AHMED, S. N.; KILIC, O. Sesame (*Sesamum indicum* L.). In: **Green Sustainable Process for**

Chemical and Environmental Engineering and Science. Elsevier, 2021. p. 253–269.

YEASMIN, M. S.; MUZAHID, A. A.; RANA, G. M. M.; CHOWDHURY, T. A.; DEY, S. S.; UDDIN, Md. J.; RAHMAN, Md. M.; FERDOUSI, L.; BARMON, J.; GHOS, B. C.; KHAN, M. S. Unique formulation of edible blended oil from sesame and mustard seeds grown in Bangladesh. **Journal of King Saud University - Science**, v. 36, n. 9, p. 103355, 2024.

YEO, J.; SHAHIDI, F. Critical re-evaluation of DPPH assay: presence of pigments affects the results. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 26, p. 7526–7529, 2019.

YUAN, L.; JIANG, F.; CAO, X.; LIU, Y.; XU, Y. J. Metabolomics reveals the toxicological effects of polar compounds from frying palm oil. **Food & Function**, v. 11, n. 2, p. 1611–1623, 2020.

ZAUNSCHIRM, M.; PIGNITTER, M.; KIENESBERGER, J.; HERNLER, N.; RIEGGER, C.; EGGERSDORFER, M.; SOMOZA, V. Contribution of the ratio of tocopherol homologs to the oxidative stability of commercial vegetable oils. **Molecules**, v. 23, n. 1, p. 206, 2018.

ZHANG, R.; CHEN, K.; CHEN, X.; YANG, B.; KAN, J. Thermostability and kinetics analysis of oil color, carotenoids and capsaicinoids in hotpot oil models (butter, rapeseed oil, and their blends). **LWT - Food Science and Technology**, v. 152, p. 112216, 2021.

ZHANG, S.; AGYENIM-BOATENG, K. G.; ZHANG, S.; GU, Y.; QI, J.; AZAM, M.; MA, C.; LI, Y.; FENG, Y.; LIU, Y.; LI, J.; LI, B.; QIU, L.; SUN, J. QTL mapping for seed tocopherol content in soybean. **Agronomy**, v. 13, n. 5, p. 1188, 2023b.

ZHANG, Y.; WANG, M.; ZHANG, X.; QU, Z.; GAO, Y.; LI, Q.; YU, X. Mechanism, indexes, methods, challenges, and perspectives of edible oil oxidation analysis. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 21, p. 4901–4915, 2023a.

ZHAO, Q.; WANG, M.; ZHANG, W.; ZHAO, W.; YANG, R. Impact of phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine on the oxidative stability of stripped peanut oil and bulk peanut oil. **Food Chemistry**, v. 301, p. 125962, 2019.

ZHOU, Z.; LI, Y.-L.; ZHAO, F.; XIN, R.; HUANG, X.-H.; ZHANG, Y.-Y.; ZHOU, D.; QIN, L. Unraveling the thermal oxidation products and peroxidation mechanisms of different chemical structures of lipids: an example of molecules containing oleic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 70, n. 51, p. 16410–16423, 2022.

ZUFAROV, O.; SERKAYEV, K. Determination of oxidative stability of crude and refined vegetable oils by Rancimat. **Chemical Technology, Control and Management**, v. 2023, n. 5, p. 11–16, 2023.

ZULFIQAR, H.; AHMED, I.; FAROOQ, M. F.; RANI, I.; HUSSAIN, I.; ZULFIQAR, H.; JAN, A. Unraveling the challenges of oxidative stability and methods for assessing

oxidation of commercial oils: a review. **Journal of Chemistry and Environment**, p. 52–97, 2023.

ZULU, N.; KAYITESI, E.; OGUNDELE, O. M. Chemical and deep-frying oxidative stability of sunflower–red palm olein blends. **British Food Journal**, v. 123, n. 12, p. 3938–3953, 2021.

APÊNDICE A - Análises de variância para ácidos graxos livres (AGL), índice de peróxidos (IP), índice de ρ -anisidina ($I\rho A$), valor totox (Totox), compostos polares totais (CPT) e estabilidade oxidativa (EO) dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Causas de variação	G.L.	QM					
		AGL	IP	$I\rho A$	Totox	CPT	EO
Tratamentos	9	4,3773**	869,6223**	712,5394**	1135,6709**	73,5097**	8,7535**
Tempos	2	0,08**	318,2111**	10623,1938**	18313,7717**	2247,7167**	153,7623**
Tratamentos x tempos	18	0,0565**	147,4477**	151,4263**	251,4655**	19,425**	3,3668**
Resíduo	30	0,0024	1,1142	1,5076	5,3134	0,0125	0,0079
Desvio padrão		0,05	1,06	1,23	2,31	0,11	0,09
Coefficiente de variação (%)		6,41	10,48	4,07	4,58	0,63	2,84

G.L.: graus de liberdade. QM: quadrado médio. **significativo ($p < 0,01$).

APÊNDICE B - Análises de variância para compostos fenólicos e carotenoides dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Causas de variação	G.L.	QM	
		Fenólicos	Carotenoides
Tratamentos	9	7260,5679**	2149,4933**
Tempos	2	4543,7923**	197,5272**
Tratamentos x tempos	18	2142,7385**	335,1124**
Resíduo	30	9,5097	19,4337
Desvio padrão		3,08	4,41
Coeficiente de variação (%)		1,91	9,21

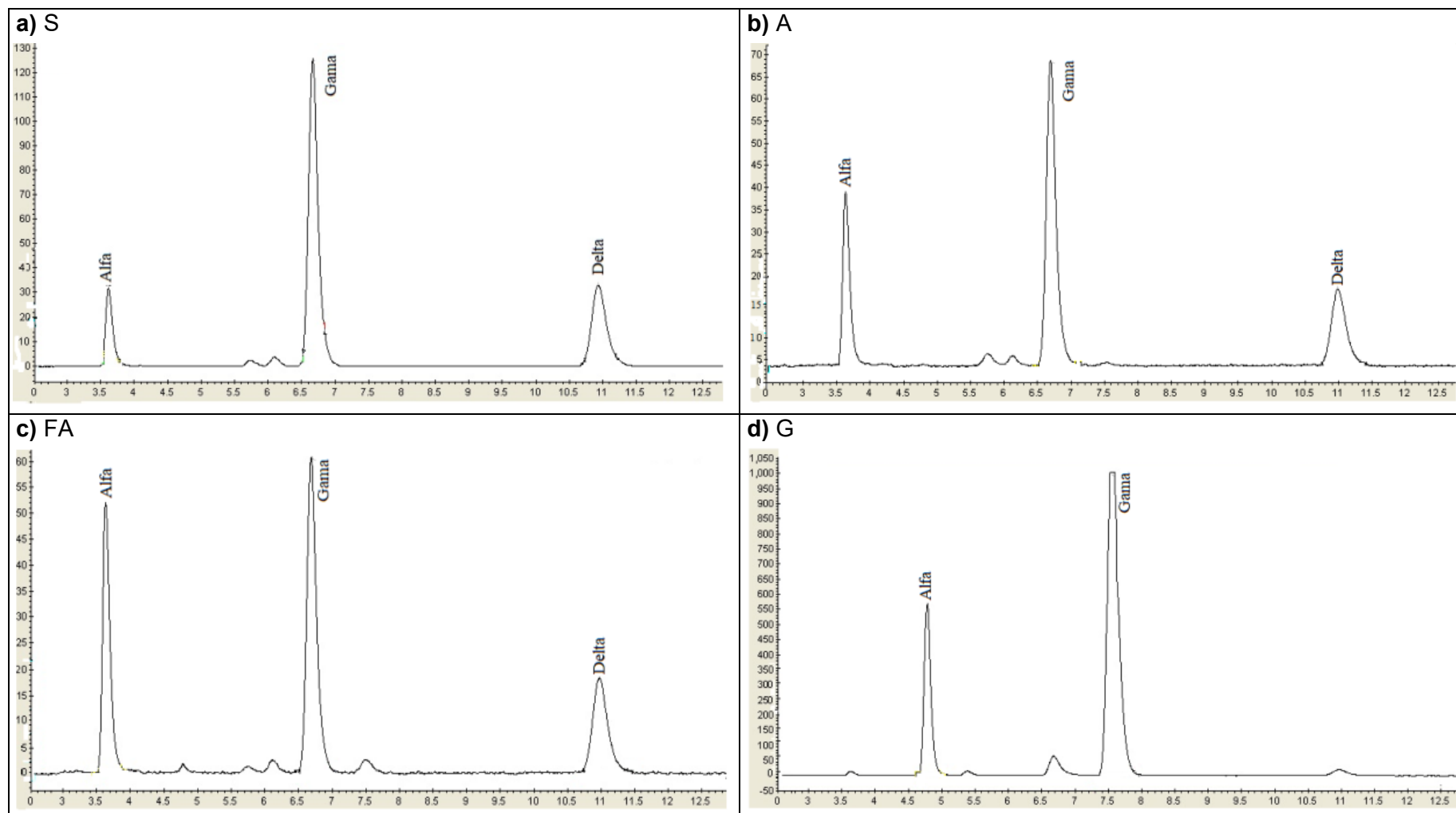
G.L.: graus de liberdade. QM: quadrado médio. **significativo ($p < 0,01$).

APÊNDICE C - Análises de variância para tocoferóis e vitamina E dos óleos submetidos à termo oxidação a 180°C.

Causas de variação	G.L.	QM		G.L.	QM	G.L.	QM	
		α -tocol	γ -tocol		δ -tocol		Total	Vitamina E
Tratamentos	9	385373,0244**	2434047,163**	6	124,7628**	9	4616585,505**	693734,3672**
Tempos	2	59759,2695**	201882,9951**	2	1950,211**	2	534397,7256**	95331,8015**
Tratamentos x tempos	18	5005,543**	10120,2517**	12	35,9441**	18	26152,1841**	6802,0973**
Resíduo	30	3,4717	0,3211	21	0,0088	30	1,5993	0,2535
Desvio padrão		0,34	0,57		0,09		1,26	0,50
Coefficiente de variação (%)		0,21	0,14		0,30		0,21	0,23

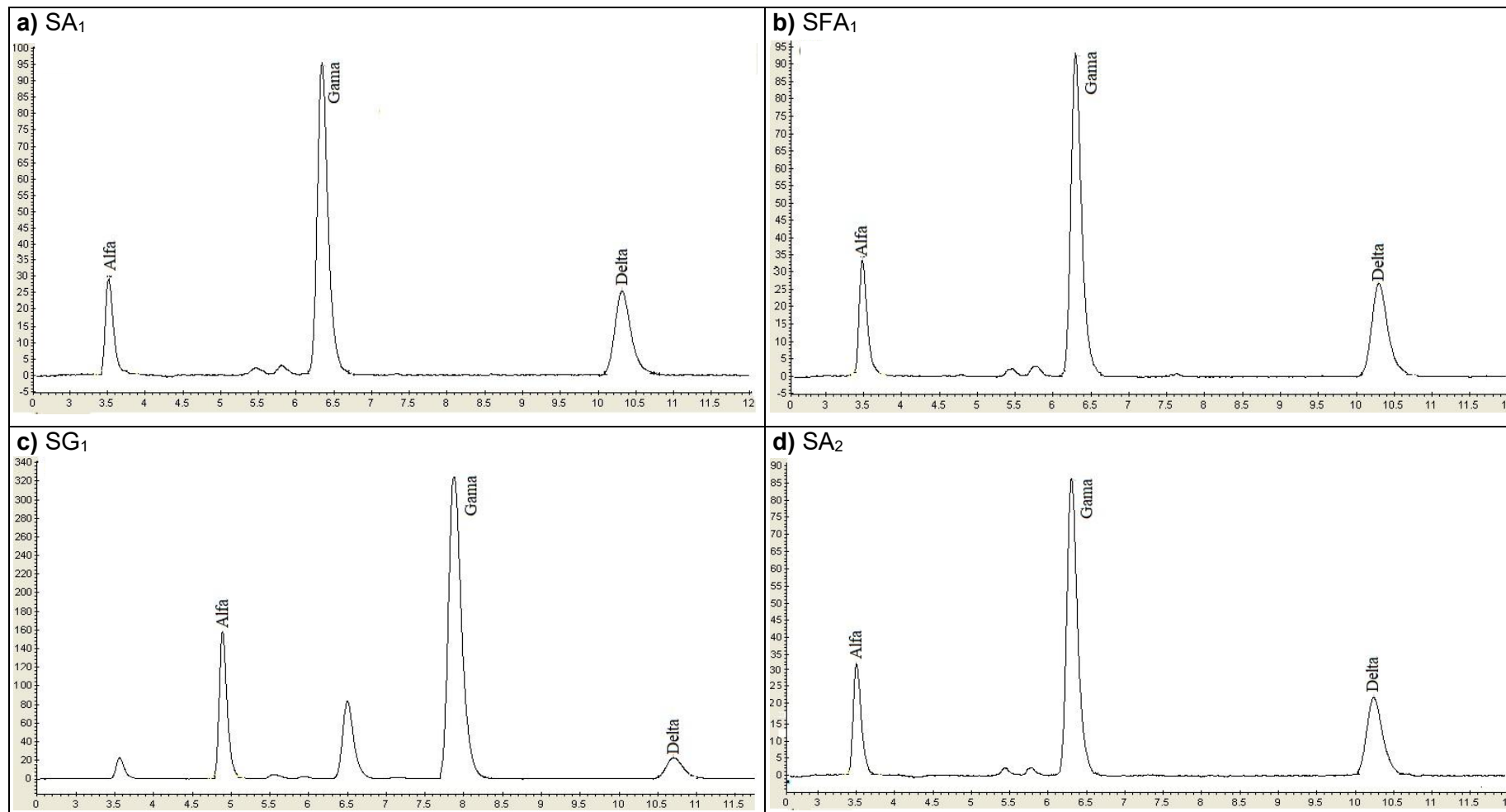
G.L.: graus de liberdade. QM: quadrado médio. **significativo ($p < 0,01$).

APÊNDICE D - Cromatograma para o perfil de tocoferóis dos óleos de soja (a), amendoim (b), farelo de arroz (c) e gergelim (d).

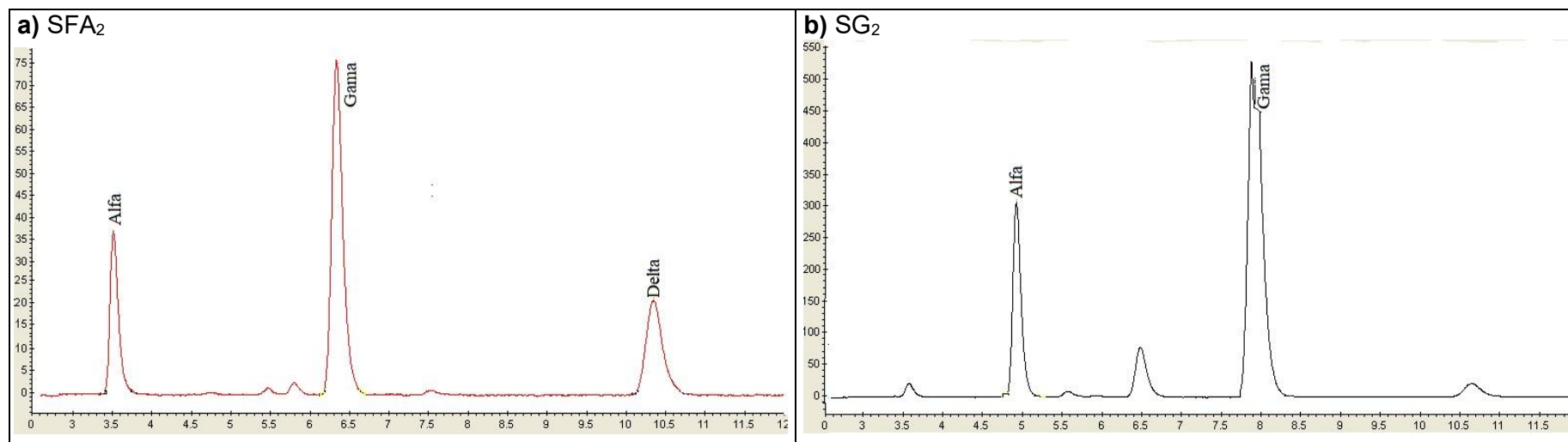


S: soja, A: amendoim, FA: arroz, G: gergelim. nd: não detectado ($\alpha \leq 3,15$ mg/kg, $\gamma \leq 8,65$ mg/kg e $\delta \leq 2,30$ mg/kg).

APÊNDICE E - Cromatograma para o perfil de tocoferóis dos óleos SA₁ (a), SFA₁ (b), SG₁ (c) e SA₂ (d).



SA₁: soja:amendoim (75:25 p/p), SFA₁: soja:arroz (75:25 p/p), SG₁: soja:gergelim (75:25 p/p), SA₂: soja:amendoim (50:50 p/p). nd: não detectado ($\alpha \leq 3,15$ mg/kg, $\gamma \leq 8,65$ mg/kg e $\delta \leq 2,30$ mg/kg).

APÊNDICE F - Cromatograma para o perfil de tocoferóis dos óleos SFA₂ (a) e SG₂ (b).

SFA₂: soja:arroz (50:50 p/p), SG₂: soja:gergelim (50:50 p/p). nd: não detectado ($\alpha \leq 3,15$ mg/kg, $\gamma \leq 8,65$ mg/kg e $\delta \leq 2,30$ mg/kg).

APÊNDICE G - Análises de variância para atividade antioxidante dos óleos submetidos à termoxidação a 180°C.

Causas de variação	G.L.	QM	
		DPPH	FRAP
Tratamentos	9	461,5579**	1273,3951**
Tempos	2	12993,754**	1183,6952**
Tratamentos x tempos	18	201,1765**	1164,4929**
Resíduo	30	0,9586	2,4003
Desvio padrão		0,98	1,55
Coeficiente de variação (%)		1,98	1,08

G.L.: graus de liberdade. QM: quadrado médio. **significativo ($p < 0,01$).

APÊNDICE H - Análises de variância para ácidos graxos livres (AGL), índice de peróxidos (IP), ácidos dienoicos conjugados (ADC), índice de *p*-anisidina (*IpA*), valor totox (Totox) e estabilidade oxidativa (EO) dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Causas de variação	G.L.	QM					
		AGL	IP	ADC	<i>IpA</i>	Totox	EO
Tratamentos	9	8,3198**	304,3928**	0,0565**	45,9847**	1514,4833**	21,5911**
Tempos	3	0,4495**	5034,5103**	0,4787**	39,0671**	21685,2628**	43,3949**
Tratamentos x tempos	27	0,1084**	66,5543**	0,0099**	10,3057**	262,4642**	1,0681**
Resíduo	40	0,0029	0,4629	0,0001	0,0142	1,8836	0,0183**
Desvio padrão		0,05	0,68	0,01	0,12	1,37	0,13
Coefficiente de variação (%)		0,12	2,97	2,46	2,78	2,74	3,13

G.L.: graus de liberdade. QM: quadrado médio. **significativo ($p < 0,01$).

APÊNDICE I - Análises de variância para compostos fenólicos e carotenoides dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Causas de variação	G.L.	QM	
		Fenólicos	Carotenoides
Tratamentos	9	7839,6747**	568,9798**
Tempos	3	1547,3133**	719,2553**
Tratamentos x tempos	27	1283,8481**	441,3418**
Resíduo	40	14,6714	16,1121
Desvio padrão		3,83	4,01
Coefficiente de variação (%)		2,89	8,96

G.L.: graus de liberdade. QM: quadrado médio. **significativo ($p < 0,01$).

APÊNDICE J - Análises de variância para tocoferóis e vitamina E dos óleos submetidos à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Causas de variação	G.L.	QM				G.L.	QM
		α -tocol	γ -tocol	Total	Vitamina E		δ -tocol
Tratamentos	9	589603,5374**	3389905,333**	6571295,131**	1037246,257**	7	271,3493**
Tempos	3	7090,7122**	14448,943**	45228,0442**	10128,8314**	3	99,8206**
Tratamentos x tempos	27	1417,2375**	4287,937**	1527006,718**	2124,8753**	21	3,052**
Resíduo	40	0,0805	0,0688	0,1882	0,4086	32	0,0264
Desvio padrão		0,28	0,26	0,43	0,64		0,16
Coef. de variação (%)		0,14	0,05	0,06	0,24		0,41

G.L.: graus de liberdade. QM: quadrado médio. **significativo ($p < 0,01$).

APÊNDICE K - Análises de variância para atividade antioxidante dos óleos submetidos à termoxidação à estocagem acelerada em estufa a 60°C.

Causas de variação	G.L.	QM	
		DPPH	FRAP
Tratamentos	9	1030,016**	3392,2131**
Tempos	3	1255,2132**	4304,035**
Tratamentos x tempos	27	415,1847**	807,7495**
Resíduo	40	0,6726	2,006
Desvio padrão		0,82	1,42
Coefficiente de variação (%)		1,09	1,21

G.L.: graus de liberdade. QM: quadrado médio. **significativo ($p < 0,01$).