

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

LARISSA PALMELA PINHEIRO

Avaliação do perfil de ácidos graxos em amostras de óleo de gergelim

Belo Horizonte

2025

LARISSA PALMELA PINHEIRO

Avaliação do perfil de ácidos graxos em amostras de óleo de gergelim

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Química Tecnológica.

Orientadora: Prof^a. Dra. Brenda Lee Simas Porto

Coorientador: Me. Henrique Martins Nogueira

Belo Horizonte

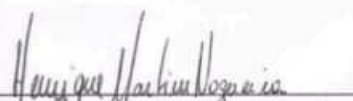
2025

Ata da sessão de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Química Tecnológica da Universidade Federal de Minas Gerais, da aluna Larissa Palmela Pinheiro, nº de registro 2018106133.

O Trabalho de Conclusão de Curso da aluna **Larissa Palmela Pinheiro**, intitulado **"Avaliação do perfil de ácidos graxos em amostras de óleo de gergelim"**, foi avaliado e aprovado pela Banca Examinadora constituída por Prof. Bruno Gonçalves Botelho (DQ - UFM), Dr. João Victor Coelho Pimenta (DQ - UFMG), Me. Henrique Martins Nogueira (DQ - UFMG), coorientador do trabalho de conclusão de curso, e Profa. Brenda Lee Simas Porto (DQ - UFMG), orientadora do trabalho de conclusão de curso, no dia 03 de dezembro de 2025.



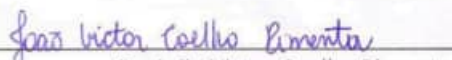
Profa. Brenda Lee Simas Porto



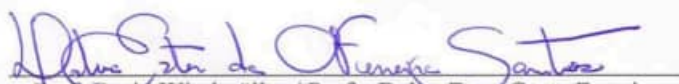
Me. Henrique Martins Nogueira



Prof. Bruno Gonçalves Botelho



Dr. João Victor Coelho Pimenta



Prof. Dario Windmüller / Profa. Dalva Ester Costa Ferreira
Coordenador / Vice coordenadora dos Cursos de Graduação em Química e Química Tecnológica
ICEx - UFMG

A todos que, com palavras e gestos me ajudaram a chegar até aqui.

Este trabalho é fruto não só do meu esforço, mas do amor, da fé e do incentivo daqueles que sempre caminharam ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser minha fortaleza em todos os momentos, por me conceder saúde, sabedoria e serenidade para enfrentar os desafios que surgiram ao longo desta caminhada. Agradeço por iluminar meu caminho, guiar minhas decisões e me dar forças quando pensei em desistir.

Aos meus pais, Ediane e Sebastião, pelo amor incondicional, paciência e apoio em todas as etapas da minha vida. Foram vocês que me ensinaram o valor do esforço, da honestidade e da perseverança.

Às minhas irmãs, Amanda e Rafaela, pelo amor, companheirismo e incentivo incondicional. Agradeço por estarem sempre presentes, celebrando minhas conquistas, apoiando-me nos momentos difíceis e acreditando em mim mesmo quando eu duvidava da minha capacidade. O carinho e a força de vocês foram fundamentais para que eu seguisse firme até a conclusão desta etapa.

Ao meu companheiro, Natanael por estar ao meu lado durante essa jornada, compreendendo minhas ausências, oferecendo carinho, motivação e palavras de encorajamento. Sua presença foi essencial para que eu mantivesse o equilíbrio e a confiança ao longo desta caminhada.

Aos meus amigos, que compartilharam risadas, desabafos e conquistas. Cada conversa, cada momento de descontração e apoio fez toda a diferença. Sou grata por ter pessoas tão especiais que contribuíram direta ou indiretamente para que esta etapa fosse concluída.

À minha orientadora, Brenda, pela paciência, dedicação e por todo o conhecimento compartilhado. Sua orientação foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho, contribuindo não apenas no âmbito acadêmico, mas também com seu apoio emocional e conselhos sempre assertivos.

Ao meu coorientador, Henrique, pelo apoio técnico, disponibilidade e pelas contribuições que enriqueceram imensamente esta pesquisa. Sua colaboração foi fundamental para o aprimoramento metodológico e para a obtenção de resultados mais consistentes. Agradeço, sobretudo, pela amizade sincera, pelo ombro amigo e

por sua calma e compreensão nos inúmeros momentos de tensão e ansiedade que enfrentei ao longo desta trajetória.

Ao CEI, pela estrutura disponibilizada, pelo suporte técnico e pela colaboração dos profissionais que ali atuam. A realização das análises no GC-FID e o acompanhamento cuidadoso dos procedimentos foram imprescindíveis para a obtenção dos resultados apresentados neste trabalho.

À Universidade Federal de Minas Gerais pela infraestrutura e apoio à participação de eventos.

Às agências de fomento, CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

“Seu único pecado é esquecer quem realmente é. Você não é uma folha frágil e trêmula. Você é a árvore inteira”

Haemin Sunim

RESUMO

Este estudo avaliou o perfil de ácidos graxos (AG) de sementes de gergelim comercializadas no mercado local, nas variedades branca e preta, e de óleos comerciais de gergelim e soja, apenas para comparação dos perfis dos diferentes óleos. Parte dos grãos foi torrada para verificar se esse processo poderia alterar a composição do óleo extraído. Os grãos foram então triturados para extração do óleo, os AG extraídos por extração líquido-líquido e os extratos foram transesterificados para análise por cromatografia a gás com detecção por ionização de chama (GC-FID), utilizando o padrão FAME 37 como referência. Foram identificados os ácidos palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2) e linolênico (C18:3). Comparações entre óleos comerciais cru e torrado mostraram que a torra aumentou C18:2 de 40,5% para 46,0% e reduziu C18:1 de 44,5% para 40,9% e C18:0 de 6,3% para 4,0%. O óleo de soja apresentou 11,3% de C16:0, 24,0% de C18:1 e 54,6% de C18:2, distinguindo-se do gergelim. Sementes pretas mostraram maior C18:2 (41%) e menor C18:1 (40–42%) que sementes brancas (C18:2 33–40%; C18:1 43–45%), enquanto a torra reduziu apenas o C18:1 nas sementes pretas. Óleos torrados apresentaram menor C18:0 que extratos laboratoriais. Testes ANOVA e Tukey ($p < 0,05$) confirmaram influência da variedade, cor e torra no perfil lipídico, reforçando sua relevância nutricional e para controle de qualidade.

Palavras-chave: oleaginosa, cromatografia a gás por ionização em chama, gergelim torrado, ácido oleico, ácido linoleico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Objetivo geral.....	10
2.2. Objetivos específicos.....	10
3. REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	10
3.1. Ácidos Graxos.....	10
3.2. Gergelim.....	12
3.3. Óleos alimentícios de sementes.....	12
3.4. Extração e derivatização de óleos vegetais.....	14
3.5. Cromatografia gasosa para ácidos graxos.....	17
4. METODOLOGIA.....	20
4.1. Materiais.....	20
4.1.1. Amostras.....	20
4.1.2. Reagentes e soluções.....	20
4.2. Métodos.....	21
4.2.1. Procedimento de moagem dos grãos.....	21
4.2.2. Procedimento para extração lipídica.....	21
4.2.3. Procedimento de derivatização.....	21
4.2.4. Método de análise GC-FID.....	22
4.2.5. Análise estatística dos resultados.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
6. CONCLUSÃO.....	34
7. BIBLIOGRAFIA.....	35

1. INTRODUÇÃO

A busca por uma alimentação mais equilibrada e nutritiva, pode ser motivada tanto pelo bem-estar quanto pela prevenção de doenças. A compreensão dos nutrientes presentes nos alimentos pode levar os consumidores a fazer escolhas mais conscientes, priorizando ingredientes que contribuem para uma vida mais saudável. Nesse contexto, as oleaginosas, conhecidas pela riqueza em ácidos graxos saudáveis, proteínas, fibras e micronutrientes (Ali *et al.*, 2016), têm ganhado destaque nas dietas diárias de muitas pessoas (SAENE, 2024). O consumo destes grãos é visto como uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade nutricional das refeições e promover benefícios à saúde.

Entre as oleaginosas mais apreciadas, estão as sementes de gergelim, *Sesamum indicum* L., encontradas em diversas variedades identificadas pela coloração das cascas. São descritas as variedades branca, amarelo-claro, bege, dourado, marrom, avermelhado, cinza e preto (LANGHAM, 2002).

O gergelim contém minerais e vitaminas importantes, tais como cálcio, fósforo, ferro, vitamina B3 (niacina) e vitamina B1 (tiamina) (OJIAKO, 2010). Ele também possui algum potencial de substâncias nutraceuticas, como compostos fenólicos e tocoferóis com atividade antioxidante. Estas espécies são capazes de prevenir ou tratar doenças, e produzem reduções significativas na pressão arterial, no perfil lipídico e na degeneração dos vasos sanguíneos, além de demonstrarem eficácia na redução de doenças crônicas (MOHAMED, 1998).

As sementes de gergelim possuem grande versatilidade culinária, sendo utilizadas de diversas formas por diferentes culturas. A exemplo, a tahine, uma pasta suave e cremosa feita de sementes de gergelim torradas e moídas, popularmente conhecida como a "Manteiga do Oriente Médio". Na culinária do sul da Índia, e na China, o óleo de gergelim é essencial para o preparo das refeições, sendo o principal óleo de cozinha. As sementes de gergelim trazem benefícios ao organismo como um todo, especialmente ao fígado, rins, baço e estômago. O óleo encontrado nas sementes age como lubrificante dos intestinos, e agente de nutrição das vísceras internas (PATHAK, 2014).

No Brasil, a produção de oleaginosas tem se expandido para atender à crescente demanda interna e ao mercado internacional. Apenas em 2021 o cultivo de gergelim no país cresceu em 230%, equivalente a uma produção de 95,8 mil toneladas do grão (EMBRAPA, 2021). O plantio se concentra nas regiões norte e centro-oeste do território, sendo o Mato Grosso o maior produtor do país. A princípio, o aumento da produção se deu devido ao melhor retorno econômico do gergelim entre as safras do milho, uma vez que demanda menos recursos hídricos. No entanto, o investimento para o mercado internacional vem crescendo exponencialmente, em 2023, a China importou US\$ 1,53 bilhão deste produto, e no ano de 2024 foram habilitadas mais 21 empresas brasileiras para a exportação. (MAPA, 2025)

Tendo como referência a Instrução Normativa (IN) 87/2021, que estabelece a lista de espécies vegetais autorizadas (ANVISA, 2021), e contém as designações e composição de ácidos graxos, foi executado uma sequência de análises, visando a diferenciação das subespécies de gergelim, utilizando a técnica de GC-FID.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Caracterizar a composição lipídica de extratos de sementes de gergelim que possam influenciar em suas propriedades nutricionais.

2.2. Objetivos específicos

- Extrair o óleo de gergelim a partir da moagem das sementes;
- Caracterizar as amostras por GC-FID;
- Comparar a composição lipídica de óleos comerciais e óleos extraídos;
- Comparar os resultados com a legislação vigente.

3. REFERENCIAIS TEÓRICOS

3.1. Ácidos Graxos

Os ácidos graxos (AG) são moléculas constituídas por cadeias hidrocarbonadas ligadas a um grupo carboxila e representam os principais componentes estruturais dos triacilgliceróis presentes nos óleos de sementes (GUNSTONE, 2011). Bioquimicamente, os AG podem ser classificados em

saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) e poli-insaturados (PUFA), e essa classificação determina não apenas seu comportamento físico, como ponto de fusão e fluidez das membranas, mas também seus efeitos metabólicos no organismo (NELSON, *et al.*, 2017). Os AG saturados, como o ácido palmítico (C16:0) e o esteárico (C18:0), apresentam cadeias lineares sem duplas ligações, permitindo empacotamento mais eficiente em membranas e contribuindo para maior rigidez estrutural. Já o ácido oleico (C18:1), principal MUFA, contém uma dupla ligação configurada em *cis*, introduzindo uma dobra na cadeia e aumentando a fluidez das membranas celulares (BERG *et al.*, 2019). Os PUFAs, como o linoleico (C18:2) e o α -linolênico (C18:3), exercem papéis essenciais como precursores de eicosanoides, moduladores da resposta inflamatória e reguladores de vias metabólicas ligadas à homeostase lipídica (CALDER, 2015). Além de suas funções fisiológicas, o perfil de AG é amplamente utilizado como marcador químico para caracterização de espécies vegetais, avaliação de estabilidade oxidativa e detecção de adulterações em óleos comerciais, já que fatores como genética, clima, processamento térmico e presença de casca podem alterar significativamente sua distribuição relativa (DUBOIS *et al.*, 2007).

A figura 1 representa de modo genérico as moléculas de AG saturados e insaturados.

Figura 1: Representação molecular das cadeias de ácidos graxos



Fonte: Autoria própria

3.2. Gergelim

O grão de gergelim apresenta em sua composição elevados índices de ácidos graxos (83-90%), possuem também cerca de 20% de proteínas e micronutrientes como vitaminas e minerais, além das lignanas, compostos de metilenedioxifenil tais como sesamol, sesamolina e tocoferóis. (CRUZ, 2019)

Sobre a composição lipídica, espera-se encontrar uma mistura complexa de diferentes AG, sendo estes detalhados na tabela 1, destacando-se o ácido oleico (C18:1) e o ácido linoleico (C18:2) como espécies mais abundantes. Os valores não detectáveis são apresentados como “ND”.

Tabela 1. Composição de ácidos graxos em óleo de gergelim

Ácidos Graxos	Designação (%)
C14:0	ND - 0,1
C16:0	7,9 - 12
C16:1	ND - 0,2
C17:0	ND - 0,2
C17:1	ND - 0,1
C18:0	4,5 – 6,7
C18:1	34,4 – 45,5
C18:2	36,9 – 47,9
C18:3	0,2 – 1,0
C20:0	0,3 – 0,7
C20:1	ND – 0,3
C22:0	ND – 1,1
C24:0	ND – 0,3

Fonte: Adaptado da Instrução Normativa (IN) 87/2021 (ANVISA, 2021)

3.3. Óleos alimentícios de sementes

As sementes de diversas espécies de plantas são ricas em óleos compostos primariamente por ácidos graxos e, em menor quantidade, proteínas e carboidratos (BAUD, 2018). Estes compostos são responsáveis por nutrir a plântula nos primeiros estágios de desenvolvimento, e a taxa de germinação e desenvolvimento de novas

plantas foi correlacionada positivamente à quantidade de óleo presente nas sementes (IZQUIERDO *et al.*, 2017; OKE; SALIHU ABDULSALAM, 2025).

Os óleos de sementes são também de grande valor nutricional para humanos e outros animais, além de servirem como insumo industrial para diversas aplicações em indústrias químicas e de energia (BAUD, 2018). Na alimentação humana, os óleos de sementes são majoritariamente compostos por ácidos graxos organizados em ésteres triacilgliceróis (TAGs). Os ácidos graxos mais prevalentes nos óleos em questão são os ácidos saturados palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0), o ácido monoinsaturado oleico (C18:1), e os ácidos poli-insaturados linoleico (C18:2) e linolênico (C18:3) (DUBOIS *et al.*, 2007; DRYER *et al.*, 2008).

Os óleos de sementes podem ser classificados de acordo com o tipo de ácidos graxos que é predominante na composição, em categorias que levam o nome destes componentes principais; SFA (*saturated fatty acids*, ácidos graxos saturados), MUFA (*monounsaturated fatty acids*, ácidos graxos monoinsaturados) e PUFA (*polyunsaturated fatty acids*, ácidos graxos poli-insaturados). Cada um destes grupos possui ainda diversas subcategorias determinadas pelo conteúdo de um ou mais ácidos graxos específicos, ou pelos demais componentes secundários dos óleos de sementes (DUBOIS *et al.*, 2007).

Entre as sementes mais utilizadas para produção de óleo estão as de coco, soja, girassol, canola e gergelim (IZQUIERDO *et al.*, 2017). Destes, o óleo de coco é associado à classe SFA, os óleos de soja, girassol e gergelim são associados à classe PUFA, e o óleo de canola à classe MUFA. A tabela 2 apresenta as composições gerais dos óleos citados:

Tabela 2: Composições gerais de alguns óleos de sementes

Óleo	Coco ⁽¹⁾	Canola ⁽²⁾	Gergelim ⁽²⁾	Girassol ⁽²⁾	Soja ⁽²⁾
Classe	SFA	MUFA	PUFA	PUFA	PUFA
SFA total (%)	91,9	8,0	15,7	12,8	15,7
MUFA total (%)	6,4	62,4	40,1	22,4	24,2
PUFA total (%)	1,6	31,5	45,7	66,0	59,8

Fonte: 1 - GUNSTONE, 2011; 2 - DUBOIS *et al.*, 2007 (Canola denominada como “rapeseed” no artigo)

Para mais, foram observadas diferenças significativas no conteúdo de ácidos graxos em sementes de uma mesma espécie (gergelim) oriundas de diferentes locais (KURT, 2018), de um mesmo local em anos diferentes (WERE *et al.*, 2006), e entre sementes com casca (gergelim preto) e sem casca (gergelim branco) (SILVA *et al.*, 2011).

De modo geral, compreende-se que o consumo de gorduras SFA traz o maior potencial de estimular doenças cardíacas, enquanto o consumo de gorduras PUFA tem o menor risco à saúde. O consumo de MUFAs pode ser considerado benéfico à saúde, mas há contradições sobre esta afirmação na literatura (HEYDEN, 1994: DUBOIS *et al.*, 2007: BESTER *et al.*, 2010). No caso do azeite de oliva, os MUFAs estão associados a substâncias antioxidantes que podem reduzir o risco de doenças cardiovasculares (BESTER *et al.*, 2010).

Diversos mecanismos de atividade destas gorduras na saúde humana são descritos na literatura, e podem ocorrer simultaneamente. Além destes, existem ainda efeitos biológicos do consumo destes óleos que foram observados, mas cujos mecanismos metabólicos ainda carecem de descrições precisas (DUBOIS *et al.*, 2007: BESTER *et al.*, 2010: PETERSON *et al.*, 2024).

Pode-se concluir, portanto, que há variações significativas nas composições dos óleos alimentícios extraídos de diferentes plantas, e que estas variações diferenciam os efeitos da ingestão destes óleos na saúde humana. Assim, a escolha do tipo de óleo vegetal a ser consumido é relevante para manter uma dieta saudável, e deve ser feita com conhecimento do perfil de ácidos graxos que compõem cada óleo.

3.4. Extração e derivatização de óleos vegetais

Os ácidos graxos contidos nas sementes, especialmente quando na forma de TAGs, são geralmente apolares, insolúveis em água e pouco voláteis. Assim, a quantificação destas espécies por cromatografia gasosa demanda etapas de extração dos óleos com solventes apolares e de conversão dos ácidos graxos em espécies voláteis (CHRISTIE, 1993).

A etapa de extração pode ser executada por diversas metodologias, dentre as quais a técnica de extração assistida por ultrassom (UAE, *ultrasound assisted*

extraction) se destaca. A UAE consiste na exposição da matriz vegetal triturada em contato com um solvente orgânico a ondas mecânicas de ultrassom (20 kHz - 40 kHz). Estas ondas mecânicas promovem o contato do solvente com moléculas de óleo livres ou adsorvidas nas sementes trituradas, e causam a ruptura das células vegetais, possibilitando também o contato do solvente com as moléculas de óleo nelas contidas (RAHIM *et al.*, 2023).

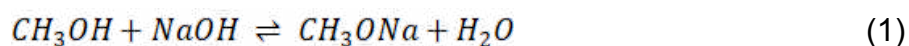
A extração assistida por ultrassom (UAE) tem se destacado como uma tecnologia eficiente para a recuperação de óleos vegetais e compostos bioativos, especialmente por reduzir o tempo de extração, aumentar o rendimento e preservar componentes sensíveis ao calor. A aplicação da técnica em diferentes matrizes naturais têm demonstrado resultados consistentes. Nas sementes de mamão, por exemplo, a UAE elevou o rendimento de extração para aproximadamente 76% do teor total de óleo presente na semente, além de manter estáveis os perfis de ácidos graxos e triacilgliceróis (KARIM *et al.*, 2015). De forma semelhante, estudos com sementes de cominho-negro evidenciaram que a otimização das condições de ultrassom aumenta significativamente o rendimento do óleo e favorece a extração de compostos antioxidantes, resultando em um produto com maior valor funcional (KHAN *et al.*, 2024). Outro exemplo relevante é a UAE aplicada às sementes de amora (blackberry), que demonstraram rendimentos superiores a 80% sob condições otimizadas, sem prejuízo às características físico-químicas do óleo extraído (ZHANG *et al.*, 2023). Esses resultados reforçam que a UAE é uma ferramenta promissora para a extração de óleos de sementes, contribuindo para maior eficiência e qualidade do produto final.

A técnica de UAE se destaca pelo baixo custo, rapidez e por não depender de aquecimento, e se provou eficaz na extração de óleos ricos em PUFA's e MUFA's sem alterações significativas das espécies químicas neles contidos, gerando assim amostras representativas da composição dos óleos encontrados nas sementes (PORTO, 2015; RAHIM *et al.*, 2023).

Uma das classes de compostos voláteis nos quais os ácidos graxos podem ser convertidos são os ésteres, oriundos da reação destes ácidos com álcoois. Uma das metodologias descritas para tal é a transesterificação dos TAGs (triésteres

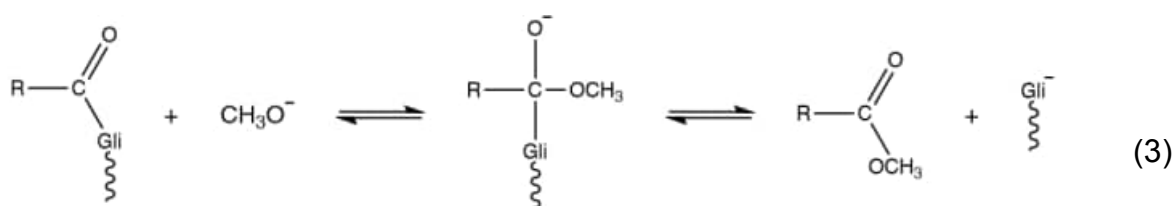
derivados de ácidos graxos e glicerol), com catálise alcalina, em monoésteres metílicos (SHANTHA; NAPOLITANO, 1992; CHRISTIE, 1993).

Esta reação pode ser realizada utilizando alcóxido metanolato formado a partir de metanol por reação com hidróxido de sódio ou potássio, conforme a equação (1), e a dissociação do composto iônico formado em metanol anidro conforme a equação (2). (CHRISTIE; HAN, 2012)



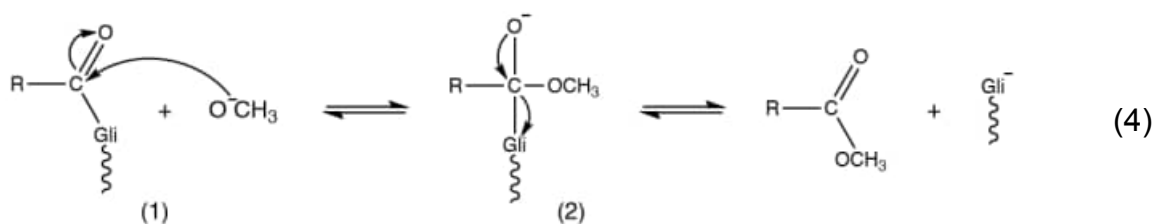
A estabilidade do íon metanolato em solução é garantida pela ausência de água, já que na presença desta a espécie será hidrolisada novamente a metanol.

O alcóxido age como nucleófilo na reação com cada ácido graxo de um TAG, conforme a equação (3).



Legenda: Gli = Glicerol

Esta transesterificação remove os ácidos graxos de interesse da estrutura de TAG, e rende ésteres metílicos voláteis próprios para a quantificação por cromatografia gasosa (SHANTHA; NAPOLITANO, 1992). O mecanismo descrito para esta reação é o de um ataque nucleofílico, descrito na equação (4).



(1): Adição nucleofílica do grupo metóxido; (2) Eliminação do grupo glicerol

Esta reação é considerada quantitativa quando realizada com um grande excesso de CH_3O^- (CHRISTIE; HAN, 2012). Nota-se que a reação descrita é estritamente uma transesterificação, por não ocorrer com ácidos graxos livres que não se encontram em TAGs. Estes ácidos livres serão desprotonados e convertidos a íons carboxilatos na solução alcalina, e não serão suscetíveis à adição nucleofílica do metanoato.

3.5. Cromatografia gasosa para ácidos graxos

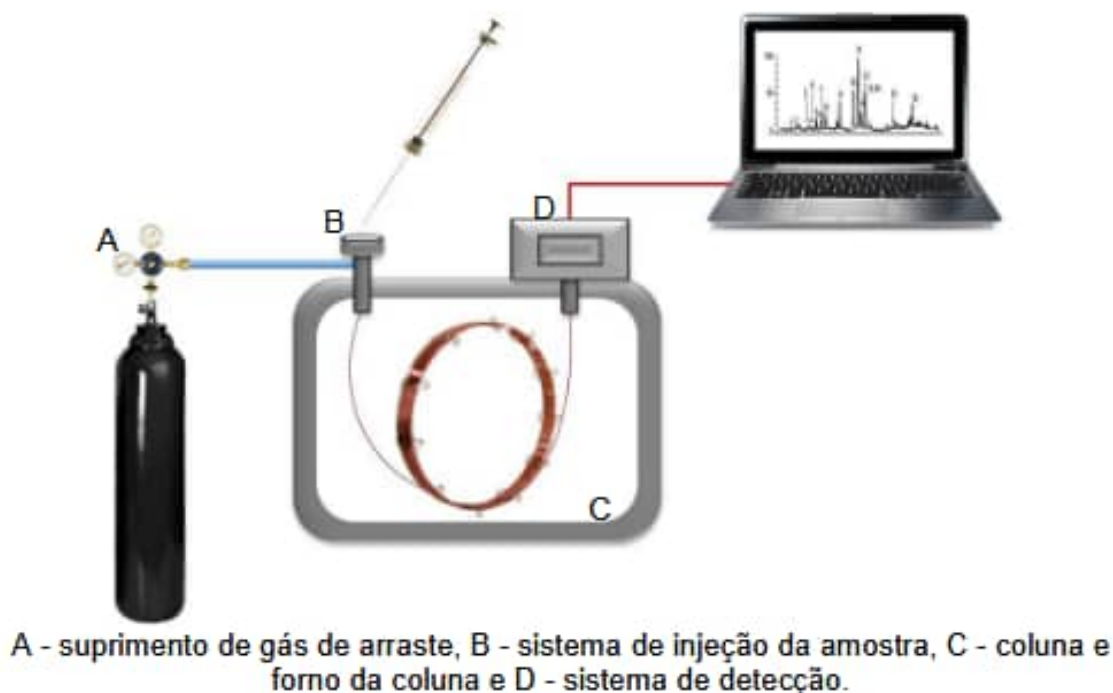
Uma das técnicas amplamente utilizadas para quantificar ácidos graxos em alimentos é a cromatografia gasosa com detecção de ionização de chama (GC-FID, *gas chromatography - flame ionization detection*) (SHANTHA, NAPOLITANO, 1992). Este método, de modo geral, consiste no arraste de um analito gasoso por uma fase móvel gasosa, e na interação deste analito com uma fase estacionária sólida ou líquida. A diferença na intensidade das interações analito - fase móvel e analito - fase estacionária pode ser mensurada e utilizada para qualificar e quantificar o analito (GROB, 2004; SKOOG *et al.*, 2014).

Esta diferença de afinidade pode ser causada por inúmeros fenômenos, como polaridade ou formação de dipolos, adsorção, eluição, diferença de massa molecular, dentre outros (GROB, 2004). Na gama de analitos para os quais um determinado método cromatográfico é adequado, cada espécie química terá uma afinidade específica com as fases da cromatografia, e portanto produzirá um sinal único e característico - chamado de banda (SKOOG *et al.*, 2014).

No caso específico da GC-FID, um gás inflamável e quimicamente puro é bombeado em alta pressão por uma coluna delgada (essencialmente um tubo fino) com comprimento entre 2 m e 100 m, cujas paredes são revestidas com uma fase estacionária (SKOOG *et al.*, 2014; PORTO, 2015). Esta coluna é mantida em alta temperatura para garantir que todo o analito se mantenha em fase gasosa. A solução que será analisada é injetada em um vaporizador em uma das extremidades da coluna de cromatografia, e é imediatamente vaporizada e arrastada pelo gás (GROB, 2004; PORTO, 2015).

A figura 2 ilustra um sistema GC-FID.

Figura 2: Esquema equipamento de cromatografia gasosa

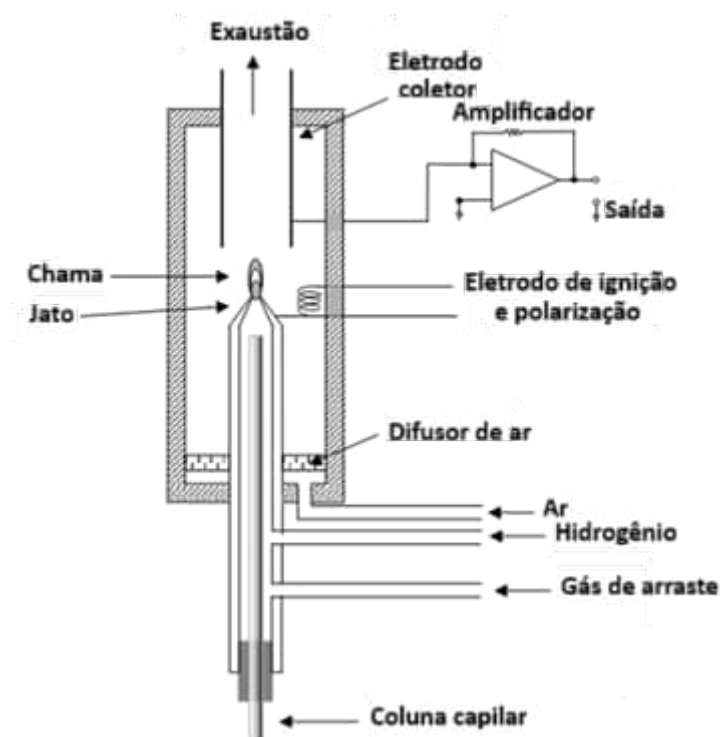


Fonte: (PORTO, 2015)

Ao fim do percurso da coluna, um queimador induz a pirólise completa do gás de arraste e dos analitos combustíveis nele dissolvidos. O queimador é posicionado próximo a um eletrodo com um campo magnético conhecido e controlado, de forma que o fluxo de elétrons gerado na queima do analito irá perturbar o campo magnético, gerando uma corrente elétrica. A intensidade desta corrente, bem como o tempo necessário para que o composto percorra a coluna de cromatografia são utilizados em conjunto para caracterizar a espécie química observada (COLÓN; BAIRD, 2004).

A figura 3 ilustra um detector FID.

Figura 3: Esquema de detector FID



Fonte: (COLÓN; BAIRD, 2004). Adaptado

A temperatura da coluna, a pressão e a vazão do gás de arraste devem ser precisamente controlados para garantir que o tempo de eluição e a pirólise do analito não sejam descaracterizados. A distância entre o injetor e o detector na coluna, e as grandezas do campo magnético do detector devem ser precisamente conhecidas para o cálculo dos resultados (COLÓN; BAIRD, 2004; SKOOG *et al.*, 2014).

De modo geral, para a análise de ácidos graxos o sinal observado é proporcional ao número de carbonos presentes na molécula, assim como, à concentração do composto na amostra analisada, portanto, utiliza-se de padrões de referência para auxiliar na identificação dos picos de sinal obtidos nos cromatogramas de GC-FID. A quantificação é realizada por normalização de área, ou seja, soma-se a área obtida por integração de cada pico, divide-se as áreas individuais por este somatório e multiplica-se por 100 para obtenção de um percentual de área, desta forma determina-se a concentração relativa de cada

espécie detectada na amostra analisada (SHANTHA; NAPOLITANO, 1992; GROB, 2004; SKOOG *et al.*, 2014). Este cálculo é representado na equação 6 abaixo:

$$A_{total} = \sum_{i=1}^n A_i \quad (5)$$

$$\%A_i = \left(\frac{A_i}{A_{total}} \right) \times 100 \quad (6)$$

4. METODOLOGIA

4.1. Materiais

4.1.1. Amostras

Amostras de sementes de gergelim, óleo de gergelim e óleo de soja foram adquiridas no mercado local. Foram preparadas duas amostras de cada tipo, sendo estes; sementes de gergelim branco cruas (BN) e torradas (BT), sementes de gergelim preto cruas (PN) e torradas (PT), óleo comercial de sementes de gergelim cruas (ON) e torradas (OT), e de óleo comercial de soja (OS), usado como referência para identificar possíveis fraudes nas amostras de óleo de gergelim comercial.

A torra das sementes foi realizada em aproximadamente 100g de cada amostra, em recipiente antiaderente, com chama branda, por 3 minutos.

4.1.2. Reagentes e soluções

- Todos os reagentes e os padrões utilizados foram de grau analítico.
- Água purificada, metanol (MeOH), hexano, isopropanol, ácido acético, sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4), e hidróxido de sódio (NaOH).
- Padrões de ésteres metílicos de ácidos graxos (do inglês *fatty acid methyl ester*, FAME) para análise por GC, tais como elaidato de metila (C18:1t ME), oleato de metila (C18:1c ME), linoleato de metila (C18:2 ME), linolenato de metila (C18:3 ME) e FAME 37 – uma mistura comercial de padrões composta por uma 37 diferentes FAMEs.
- A solução extratora foi preparada por adição de três partes de hexano para duas partes de isopropanol num balão volumétrico (HARA e RADIN, 1978).

- A solução de derivatização foi preparada em concentração de 0,5mol/L, sendo medidos 1,0g de NaOH e dissolvidos em MeOH, avolumado em balão volumétrico de 50mL.

4.2. Métodos

4.2.1. Procedimento de moagem dos grãos

Foi utilizado um moedor de café automático para moagem dos grãos, a massa de sementes processadas por vez foi de aproximadamente 60g e triturados por 60 segundos.

4.2.2. Procedimento para extração lipídica

Foram pesados 0,2 g de cada amostra de sementes trituradas, e a estes foram adicionados 7,5 mL de solução extratora e 5,0 mL de solução de Na_2SO_4 0,5 mol/L. A mistura foi submetida à sonicação por 10 minutos, seguida de agitação em vortex por 1 minuto e centrifugação até a separação das fases. A fase orgânica (superior) foi transferida para um balão de fundo redondo, enquanto a fase aquosa foi lavada com 5,0 mL de solução extratora por duas vezes (HARA e RADIN, 1978). O solvente foi evaporado a 50 °C sob vácuo até que restasse apenas a fase lipídica no balão. (PORTO, 2015). Este processo foi realizado em duplicata para cada amostra.

4.2.3. Procedimento de derivatização

As frações lipídicas extraídas foram submetidas à transesterificação utilizando catálise básica (CHRISTIE, 1993; CHRISTIE e HAN, 2012). Para isso, foram transferidos 20 mg do extrato de semente de gergelim, bem como dos óleos comerciais, para tubos de 15 mL, sendo adicionados 2,0 mL de solução de metóxido de sódio em metanol aos sistemas, seguido do aquecimento em banho térmico a 50 °C por 10 minutos com os tubos tampados. Após esse período, as soluções resultantes foram resfriadas até temperatura ambiente.

A cada um dos tubos, foram adicionados 100 µL de ácido acético glacial para neutralização, seguidos de 5,0 mL de água deionizada e 3,0 mL de hexano. As misturas foram agitadas em vórtex, centrifugadas e as fases orgânicas foram transferidas para tubos de vidro de 10,0 mL juntamente a 1,0 g de Na_2SO_4 anidro para secagem das soluções dos FAMES.

Cada solução foi então transferida para um balão volumétrico de 5,0 mL, completando o volume com hexano, e armazenada em frasco de vidro da cor âmbar a -20°C até o momento da análise. (PORTO, 2015).

4.2.4. Método de análise GC-FID

A análise dos FAMES foi realizada em um cromatógrafo a gás Shimadzu Nexis GC-2030 em uma coluna capilar de sílica fundida (SP-2560, SUPELCO) com comprimento de 100 metros, diâmetro interno de 0,25 mm e filme de 0,2 µm de espessura. Para a análise, foi injetado 1 µL de cada amostra utilizando um *autosampler* em modo *splitless*.

A temperatura do injetor foi mantida a 240 °C. O gás de arraste utilizado foi o hidrogênio, pureza 99,995%, com uma vazão de 0,85 mL/min (STERNESON, 2006).

Os ácidos graxos foram identificados por medições dos tempos de retenção, por comparação com padrões de pureza entre 99,1% e 99,9%. Os resultados foram expressos em %m/m.

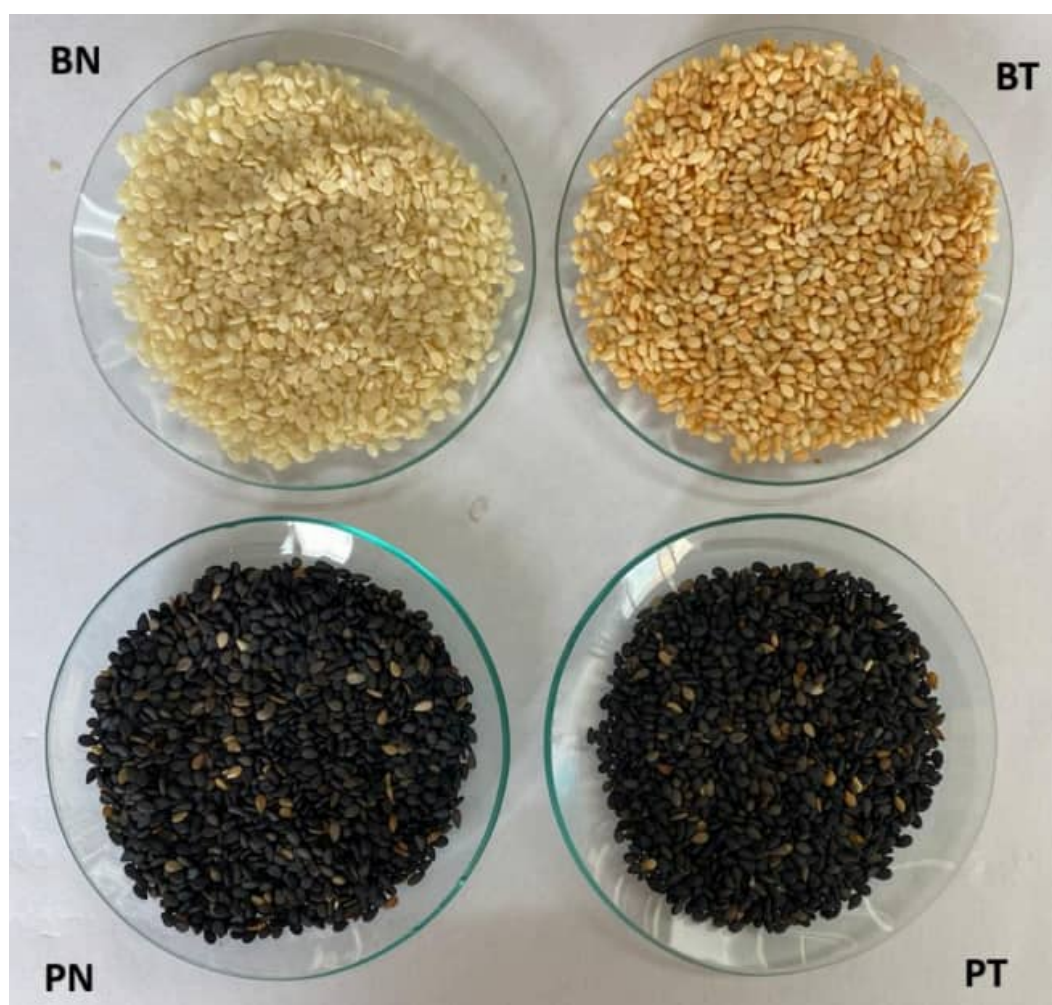
4.2.5. Análise estatística dos resultados

Os dados obtidos no GC-FID foram tratados no software OpenChrom, a partir do qual foram gerados os resultados e os respectivos cromatogramas. As avaliações estatísticas dos resultados foram realizadas por meio dos módulos de estatística básica, representação gráfica e análise de variância (ANOVA) do programa Minitab.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta as amostras de sementes de gergelim antes e após a torra. Durante o processo de torrefação, observou-se a eliminação de vapores de água e o consequente escurecimento das sementes. Devido ao menor teor de umidade, verificou-se que as sementes torradas apresentaram maior dificuldade de serem processadas em pasta durante a moagem, resultando em uma textura mais granulosa em comparação às sementes não torradas. Essa diferença de textura pode ser visualizada na Figura 5.

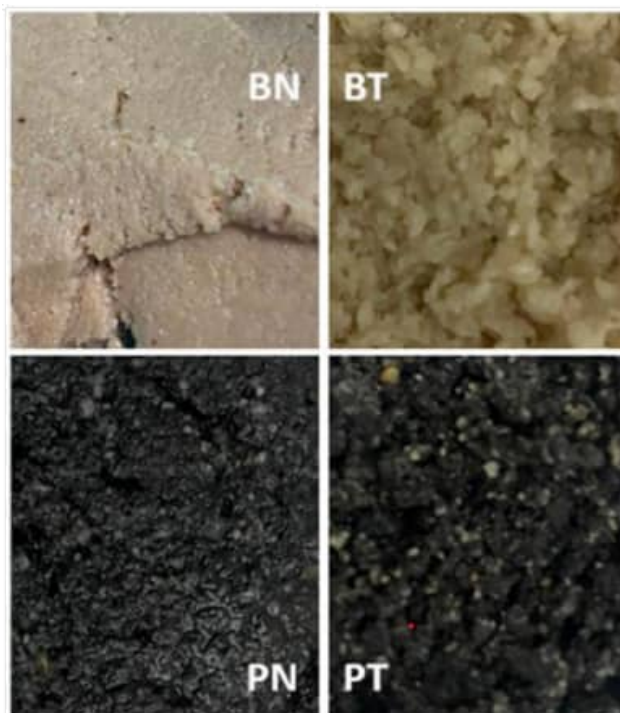
Figura 4: Sementes de gergelim antes e após torra



BN - Sementes de gergelim branca cruas; BT- Sementes de gergelim branca torradas; PN - Sementes de gergelim preta cruas; PT- Sementes de gergelim preta torradas

Fonte: Autoria própria

Figura 5: Pasta de gergelim



BN - Sementes de gergelim branca cruas; BT- Sementes de gergelim branca torradas; PN - Sementes de gergelim preta cruas; PT- Sementes de gergelim preta torradas

Fonte: Autoria própria

Diferenças de tonalidades podem ser notadas entre os óleos comerciais, demonstrando a forte influência do processo de torra na cor do produto. Observa-se na figura 6, que o óleo obtido a partir de sementes torradas apresenta uma coloração mais caramelo, enquanto o óleo extraído de sementes cruas exibe um tom amarelado, enquanto o óleo de soja possui pouca cor em relação aos demais.

Figura 6: Amostras de óleos comerciais



OS – Óleo comercial de soja; ON - óleo comercial de sementes de gergelim cruas; OT - óleo comercial de sementes de gergelim torradas

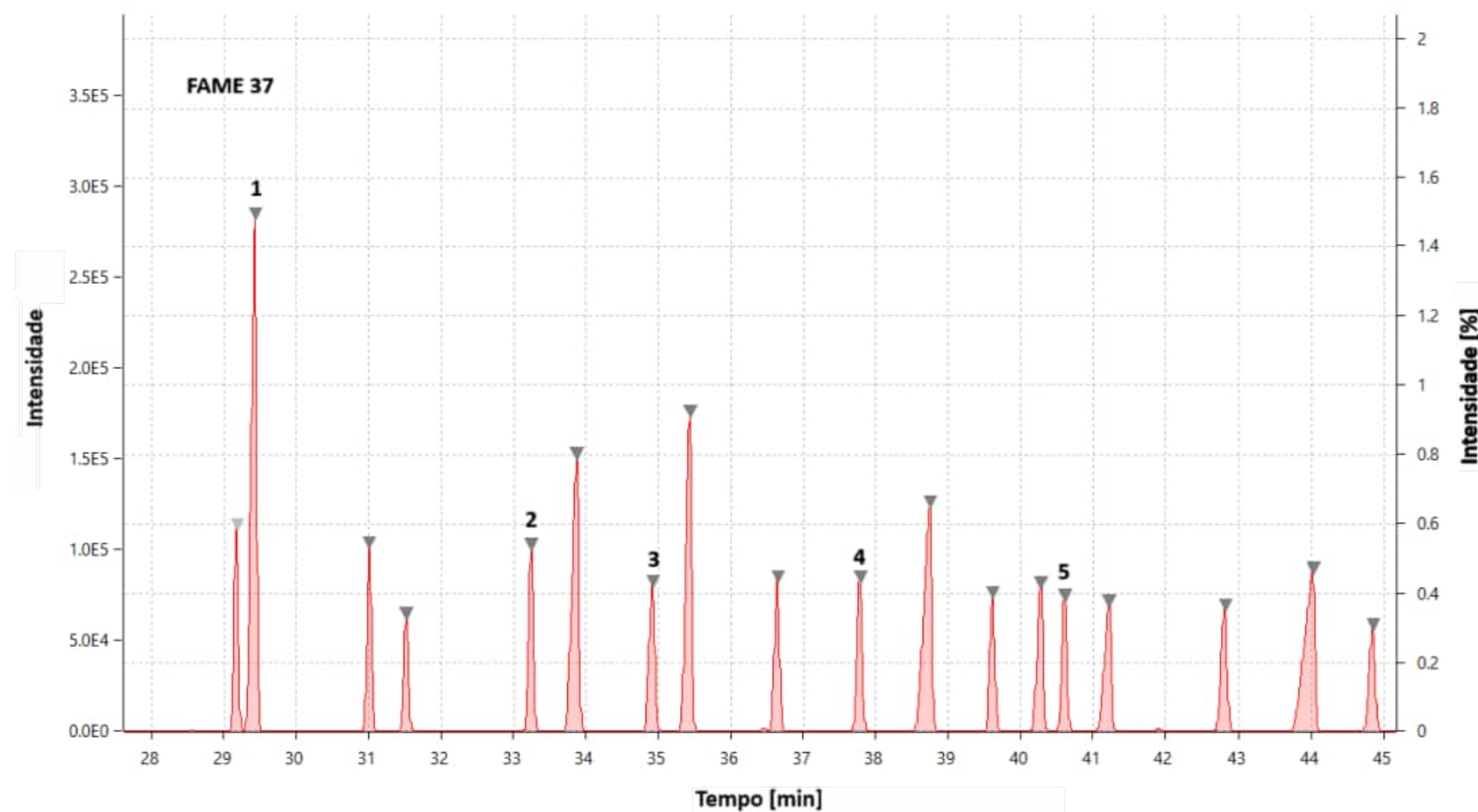
Fonte: Autoria própria

Para entender sobre o tempo de retenção do solvente e dos analitos, na primeira injeção da solução da mistura de padrões FAME 37 a aquisição dos dados se deu desde o início da injeção, este cromatograma foi utilizado para definir a ordem de eluição e o tempo de retenção dos analitos através da comparação com o certificado de análise que acompanha o FAME 37, este cromatograma está representado na figura 7.

A partir desta análise, percebeu-se que os analitos eluem apenas a partir de 14 minutos, portanto, na injeção das amostras a aquisição dos dados foi programada para iniciar no 13º minuto de corrida, protegendo assim o detector da saturação com a eluição do solvente. A solução de FAME 37 foi injetada novamente com essa alteração na aquisição dos dados, mas houve algum problema na injeção e esta análise não apresentou os sinais característicos, por este motivo os tempos de retenção observados no cromatograma representado na figura 7, FAME 37, e figura 8, na qual estão sobrepostos os cromatogramas das amostras analisadas, apresentam uma diferença de 15 minutos no tempo de retenção.

No cromatograma representado na figura 8 foi possível identificar as espécies presentes nas amostras de gergelim e óleo de soja por comparação com a ordem de eluição observada na mistura de padrões. Foram detectados os ácidos oleico, linoleico, palmítico, linolênico e esteárico.

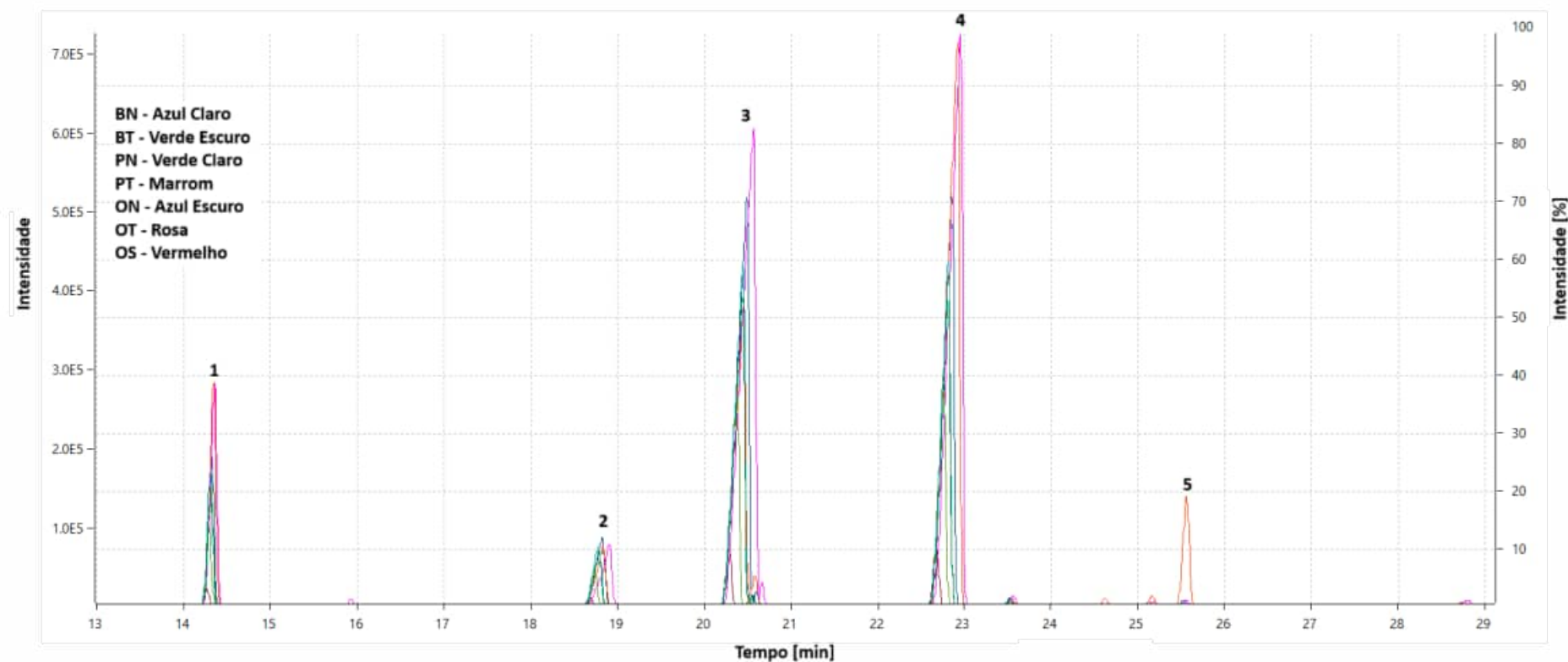
Figura 7: Cromatogramas das análises das amostras padrão FAME 37



1-Palmítico C16:0; 2-Esteárico C18:0; 3-Oleico C18:1; 4-Linoleico C18:2; 5-Linolênico C18:3

Fonte: Autoria própria

Figura 8: Sobreposição de cromatogramas das análises das amostras de gergelim



1-Palmítico C16:0; 2-Esteárico C18:0; 3-Oleico C18:1; 4-Linoleico C18:2; 5-Linolênico C18:3

BN - Sementes de gergelim branca cruas; BT- Sementes de gergelim branca torradas; PN - Sementes de gergelim preta cruas; PT- Sementes de gergelim preta torradas; ON - óleo comercial de sementes de gergelim cruas; OT - óleo comercial de sementes de gergelim torradas; OS – Óleo comercial de soja

Fonte: Autoria própria

Com base nos dados obtidos, foi realizada a quantificação por meio da integração do sinal correspondente a cada ácido graxo presente na amostra, levando em consideração a área individual de cada pico cromatográfico. A Tabela 3 apresenta os resultados consolidados das quantificações de ácidos graxos realizados nos óleos comerciais de gergelim e soja, bem como no óleo de gergelim extraído em laboratório.

Tabela 3: Perfil de ácidos graxos em óleos comerciais de gergelim e soja, e em óleos extraídos em laboratório de sementes de gergelim

Matriz	% C16:0	% C18:0	% C18:1	% C18:2	% C18:3
	Palmítico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolênico
BN	13 ± 4	8 ± 2	45 ± 1	33 ± 8	N/D
BT	10,4 ± 0,8	6,38 ± 0,03	43 ± 1	39,9 ± 0,5	N/D
PN	9,9 ± 0,2	6,1 ± 0,1	42,6 ± 0,2	41,3 ± 0,1	N/D
PT	12 ± 1	6,9 ± 0,5	40 ± 2	41,3 ± 0,3	N/D
ON	8,7 ± 0,2	6,27 ± 0,02	44,5 ± 0,7	40,5 ± 0,5	N/D
OT	8,99 ± 0,05	4,0 ± 0,1	40,9 ± 0,1	46,03 ± 0,02	N/D
OS	11,3 ± 0,2	4,47 ± 0,04	24,0 ± 0,3	54,58 ± 0,05	5,7 ± 0,1

BN - Sementes de gergelim branca cruas; BT- Sementes de gergelim branca torradas; PN - Sementes de gergelim preta cruas; PT- Sementes de gergelim preta torradas; ON - óleo comercial de sementes de gergelim cruas; OT - óleo comercial de sementes de gergelim torradas; OS – Óleo comercial de soja

Fonte: Autoria própria

Nota-se que entre os óleos de gergelim cru e torrado, há uma variação no perfil de ácidos graxos, sendo que o óleo das sementes torradas apresenta maior teor de C18:2 e menor teor de C18:0 e C18:1. Estas diferenças podem ser consideradas estatisticamente relevantes ($P < 0,05$). A diferença no teor de C16:0 encontrada entre os óleos testados não foi estatisticamente significativa.

Em comparação com o óleo de sementes cruas, o óleo de sementes torradas apresentou maior quantidade relativa do ácido linoleico (C18:2), que é poli-insaturado, e a menor quantidade de ácido esteárico (C18:0), que é saturado. É possível inferir, com base nas informações apresentadas na seção 3.1, que o

consumo de óleo de sementes torradas pode oferecer mais benefícios, quando comparado ao consumo do óleo de sementes cruas.

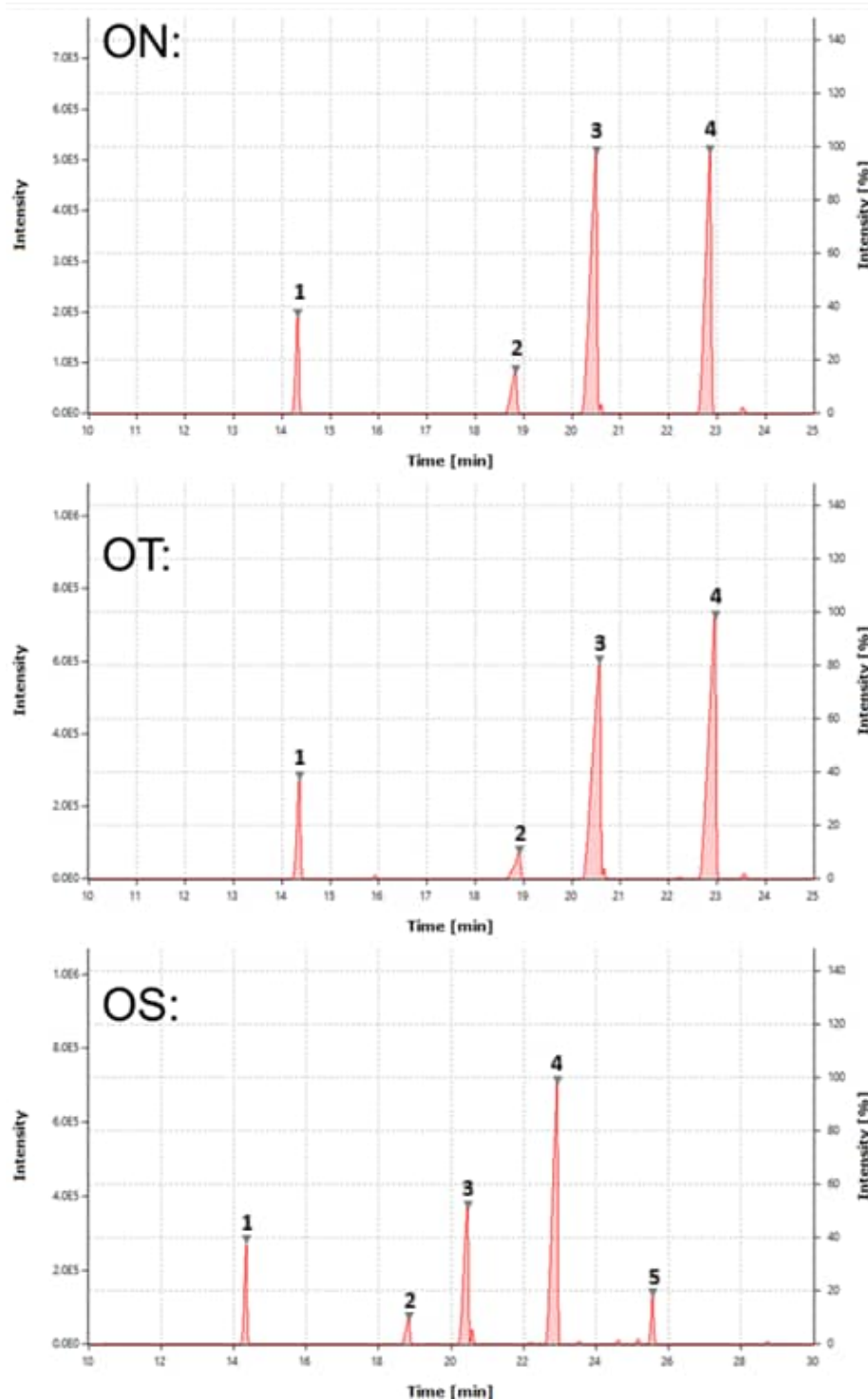
Nota-se que o óleo de gergelim torrado apresentou quantidade de ácido esteárico inferior ao mínimo previsto pela ANVISA, conforme ilustrado na tabela 1. Os demais conteúdos de ácidos graxos nos óleos comerciais estão conforme a instrução normativa.

A torra comercial pode ter influenciado na baixa quantidade de ácido esteárico, uma vez que a torra do gergelim ocorre em torradores rotativos ou sistemas contínuos, normalmente entre 150 e 200 °C por 5 a 30 minutos, após etapas de limpeza e ajuste da umidade (BEDIGIAN, 2010; NAMIKI, 1995; LEE *et al.*, 2010). Esse aquecimento apesar de controlado, possui temperaturas mais elevadas podendo ter causado a degradação do ácido esteárico.

Ao comparar os óleos de gergelim com o óleo de soja, observou-se que, dentro de um intervalo de confiança de 95%, nenhum dos componentes do perfil de ácidos graxos apresentou similaridade estatística entre as espécies, evidenciando composição lipídica distinta. O óleo de soja caracteriza-se por conter maiores proporções de ácido palmítico (C16:0) e ácido linoleico (C18:2), enquanto apresenta concentrações significativamente menores de ácido oleico (C18:1) quando comparado aos óleos de gergelim.

Os cromatogramas para as análises dos óleos comerciais constam na figura 9:

Figura 9: Cromatogramas de óleos comerciais de gergelim e soja



1-Palmítico C16:0; 2-Esteárico C18:0; 3-Oleico C18:1; 4-Linoleico C18:2; 5-Linolênico C18:3

ON - óleo comercial de sementes de gergelim cruas; OT - óleo comercial de sementes de gergelim torradas; OS – Óleo comercial de soja

Fonte: Autoria própria

Para investigar a diferença entre os resultados das extrações das diferentes sementes, foi criado um modelo linear generalizado ANOVA para cada

ácido graxo, inicialmente utilizando como preditores a “cor” das sementes (branca ou preta) e a torra ou não delas (cruas ou torradas).

A relevância estatística da diferença entre os grupos foi avaliada pelo método de Tukey. A tabela 4 ilustra os resultados dos testes de hipótese Tukey para as diferenças entre os perfis de ácidos graxos dos óleos avaliados, as letras em comum indicam que o resultado estatístico entre essas amostras foi semelhante.

Tabela 4: Resultados dos testes de equivalência estatística entre os perfis lipídicos de diferentes sementes de gergelim

Amostra	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2
	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico
BN	A	A	A	A
BT	AB	A	AB	AB
PN	AB	A	BC	B
PT	AB	A	D	B
ON	B	A	AB	AB
OT	B	B	CD	B

BN - Sementes de gergelim branca cruas; BT- Sementes de gergelim branca torradas; PN - Sementes de gergelim preta cruas; PT- Sementes de gergelim preta torradas; ON - óleo comercial de sementes de gergelim cruas; OT - óleo comercial de sementes de gergelim torradas;

Fonte: Autoria própria

Observou-se uma maior concentração de C18:2 (ácido linoleico) nas sementes pretas em comparação com as brancas, tanto em sementes cruas quanto torradas. As sementes pretas apresentaram teores menores de C18:1 (ácido oleico) que as sementes brancas, quando ambas cruas e quando ambas torradas.

Os resultados obtidos nas comparações entre sementes torradas e cruas indicou que este processo causou alteração significativa apenas nos conteúdos de ácido oleico em sementes pretas, que foi reduzido.

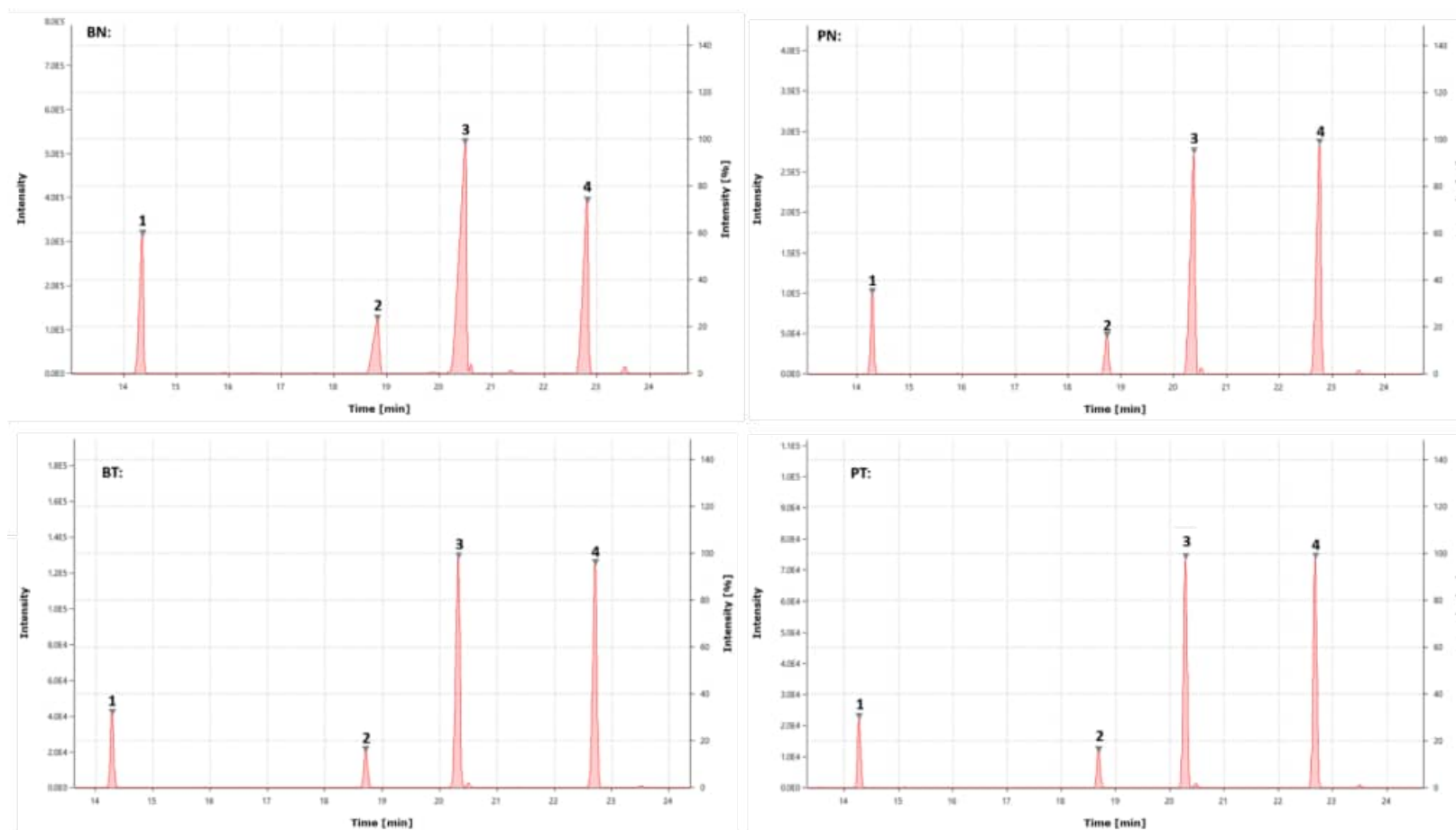
O óleo comercial de sementes cruas apresentou maior conteúdo de ácido palmítico (C16:0) e menor quantidade de ácido linoleico que o extrato de sementes

brancas cruas preparado em laboratório. Os conteúdos de ácido esteárico (C18:0) e ácido oleico entre estas duas matrizes foi equivalente. Os perfis de ácidos graxos de sementes pretas cruas e do óleo comercial de sementes cruas é estatisticamente equivalente.

As quantidades de ácido esteárico presentes em ambos os extratos de sementes torradas foram superiores às observadas no óleo comercial de sementes torradas. Considerando-se os possíveis riscos do consumo excessivo de ácidos graxos saturados, o óleo comercial de sementes torradas pode ser considerado mais “saúdável” que os extratos preparados em laboratório, embora não se tenha conhecimento das condições em que as sementes de gergelim sejam torradas industrialmente.

Os cromatogramas dos extratos de sementes constam na figura 10.

Figura 10: Cromatogramas dos ácidos graxos extraídos de sementes de gergelim em laboratório



1-Palmítico C16:0; 2-Esteárico C18:0; 3-Oleico C18:1; 4-Linoleico C18:2

BN - Sementes de gergelim branca cruas; BT- Sementes de gergelim branca torradas; PN - Sementes de gergelim preta cruas; PT- Sementes de gergelim preta torradas;

Fonte: Autoria própria

6. CONCLUSÃO

As análises realizadas permitiram determinar o perfil de ácidos graxos de diferentes tipos de sementes de gergelim e compará-los com os óleos comerciais de gergelim e de soja.

Essa comparação entre as amostras de gergelim analisadas evidenciou variações importantes no perfil de ácidos graxos. O óleo de gergelim extraído em laboratório apresentou teores relativamente maiores de ácido oleico (C18:1) e menores de ácido linoleico (C18:2) quando comparado aos óleos comerciais, sugerindo influência direta das condições de processamento, especialmente da torra, sobre a composição final. Por outro lado, os óleos comerciais mostraram maior proporção de ácidos poli-insaturados, indicando possível degradação térmica diferenciada ou padrões distintos de mistura e padronização industrial. Essas diferenças reforçam que o processamento, o grau de torra e a variação da semente (cor) afetam significativamente a distribuição dos ácidos graxos no óleo de gergelim, o que fornece informações importantes para avaliação nutricional e controle de qualidade de produtos comerciais.

7. BIBLIOGRAFIA

ANVISA. **Instrução Normativa - IN no 087.** , 15 mar. 2021. Disponível em: <https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&tipo=INM&numeroAto=00000087&seqAto=000&valorAno=2021&orgao=DC/ANVISA/M&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_menu=1696&cod_modulo=134&pesquisa=true>. Acesso em: 6 jun. 2025

BAUD, Sébastien. Seeds as oil factories. **Plant Reproduction**, v. 31, n. 3, p. 213–235, 10 fev. 2018.

BEDIGIAN, D. *Sesame: The Genus Sesamum*. **Boca Raton**: CRC Press, 2010.

BESTER, D. *et al.* Cardiovascular effects of edible oils: a comparison between four popular edible oils. **Nutrition Research Reviews**, v. 23, n. 2, p. 334–348, 20 set. 2010.

BERG, Jeremy M.; TYMOCZKO, John L.; GATTO, Gregory J.; STRYER, Lubert. **Bioquímica**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.

BHAT, K. V. *et al.* Value addition in sesame: A perspective on bioactive components for enhancing utility and profitability. **Pharmacognosy Reviews**, v. 8, n. 16, p. 147, 2014.

CALDER, Philip C. Functional roles of fatty acids in the body. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 26, n. 3, p. 227–235, 2015.

China habilita 21 empresas brasileiras para exportação de gergelim. **Ministério da Agricultura e Pecuária**, 4 mar. 2025.

CHRISTIE, W. W. Preparation of Ester Derivatives of Fatty Acids for Chromatographic Analysis. **Advances in Lipid Methodology**, v. 2, p. 69–111, 1993.

CHRISTIE, William W.; HAN, Xianlin. Preparation of derivatives of fatty acids. *In*: **Lipid Analysis**. [S.l.]: Elsevier, 2012. p. 145–158.

COLÓN, Luis A.; BAIRD, Lisa J. Detectors in Modern Gas Chromatography. **Modern Practice of Gas Chromatography**, v. 1, n. 4th ed., p. 275–337, 27 maio 2004.

CRUZ, Nayara Fernanda Ferras da Silva *et al.* CARACTERÍSTICAS E TRATOS

CULTURAIS DO GERGELIM (*Sesamum indicum* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 4, 1 abr. 2019.

Cultivo do gergelim no Brasil cresce 230% em um ano. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64027841/cultivo-do-gergelim-no-brasil-cresce-230-em-um-ano>>. Acesso em: 6 jun. 2025.

DUBOIS, Virginie *et al.* Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 109, n. 7, p. 710–732, jul. 2007.

DYER, John M. *et al.* High-value oils from plants. **The Plant Journal**, v. 54, n. 4, p. 640–655, maio 2008.

GROB, Robert L. Theory of Gas Chromatography. **Modern Practice of Gas Chromatography**, v. 1, n. 4th ed, p. 23–63, 27 maio 2004.

GROB, Robert L.; BARRY, Eugene F. **Modern Practice of Gas Chromatography**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2004.

GUNSTONE, Frank. **Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011. p. 159–161

HALKET, John M.; ZAIKIN, Vladimir G. Derivatization in Mass Spectrometry– 3. Alkylation (Arylation). **European Journal of Mass Spectrometry**, v. 10, n. 1, p. 1–19, fev. 2004.

HARA, Atsushi; RADIN, Norman S. Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. **Analytical Biochemistry**, v. 90, n. 1, p. 420–426, out. 1978.

HEYDEN, Siegfried. Polyunsaturated and Monounsaturated Fatty Acids in the Diet to Prevent Coronary Heart Disease via Cholesterol Reduction. **Annals of Nutrition and Metabolism**, v. 38, n. 3, p. 117–122, 1994.

IZQUIERDO, Natalia *et al.* Seed composition in oil crops: Its impact on seed germination performance. *In: Oilseed Crops: Yield and Adaptations under Environmental Stress*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2017.

KARIM, A. N. M. M.; FAKHRUDDIN, A. N. M.; HOSSAIN, M. A. Ultrasound-Assisted Extraction and Solvent Extraction of Papaya (*Carica papaya* L.) Seed Oil: Yield, Fatty

Acid Composition and Triacylglycerol Profile. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 4, p. 2166–2175, 2015.

KHAN, M. N.; KANDHRO, A. A.; MAHAR, A. M.; TUNIO, A.; DEWANI, R. Optimization of ultrasound-assisted extraction of *Nigella sativa* seed oil for enhancement of yield and antioxidant activity. **SN Applied Sciences**, v. 6, n. 1, p. 1–12, 2024.

KURT, C. Variation in oil content and fatty acid composition of sesame accessions from different origins. **Grasas y Aceites**, v. 69, n. 1, p. e241, 30 mar. 2018.

LANGHAM, Derald; WIEMERS, Terry. **Progress in mechanizing sesame in the U.S. through breeding**. [S.l.]: Trends in new crops and new uses ASHS Press, 2002.

LEE, J.; CHOE, E. Effects of roasting conditions on the physicochemical properties of sesame oil. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 6, p. E235–E240, 2010.

MOHAMED, H. M. A.; AWATIF, I. I. The use of sesame oil unsaponifiable matter as a natural antioxidant. **Food Chemistry**, v. 62, n. 3, p. 269–276, jul. 1998.

NAMIKI, M. The chemistry and physiological functions of sesame. **Food Reviews International**, v. 11, n. 2, p. 281–329, 1995.

NELSON, David L.; COX, Michael M. **Lehninger: Princípios de Bioquímica**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

OJIAKO, O. A. *et al.* Protein and Amino Acid Compositions of *Sphenostylis stenocarpa*, *Sesamum indicum*, *Monodora myristica* and *Azzeria africana* Seeds from Nigeria. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 9, n. 4, p. 368–372, 15 mar. 2010.

OKE, C. O.; SALIHU, B. Z.; ABDULSALAM, A. B. Evaluation of Seed Morphometrics, Germination and Oil Content of Collected Castor Landraces. **Jewel Journal of Scientific Research (JJSR)**, v. 10, n. 1, p. 24–39, 30 maio 2025.

PETERSEN, Kristina S. *et al.* Perspective on the health effects of unsaturated fatty acids and commonly consumed plant oils high in unsaturated fat. **British Journal of Nutrition**, v. 132, n. 8, p. 1039–1050, 28 out. 2024.

POF 2017-2018: alimentos frescos e preparações culinárias predominam no

padrão alimentar nacional. Disponível em:

<<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/27298-pof-2017-2018-alimentos-frescos-e-preparacoes-culinarias-pr-edomnam-no-padrao-alimentar-nacional>>. Acesso em: 30 jun. 2025.

PORTO, Brenda Lee Simas. **Métodos rápidos para análise de ácidos graxos em alimentos e seleção de biomarcadores para aterosclerose**. Dissertação (Doutorado em Química)—[S.l.]: UFJF, 2015.

RAHIM, Muhammad Abdul *et al.* Essential Components from Plant Source Oils: A Review on Extraction, Detection, Identification, and Quantification. **Molecules**, v. 28, n. 19, p. 6881, 29 set. 2023.

SAENE, Domingos Manuel *et al.* A produção sustentável de gergelim (*Sesamum indicum* L.): perspectivas globais, desafios, oportunidades e estratégias. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 13, p. e7044, 20 dez. 2024.

SHANTHA, N. C.; NAPOLITANO, Guillermo E. Gas chromatography of fatty acids. **Journal of Chromatography A**, v. 624, n. 1–2, p. 37–51, out. 1992.

SILVA, Elizangela Rodrigues da *et al.* Capacidade antioxidante e composição química de grãos integrais de gergelim creme e preto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 7, p. 736–742, jul. 2011.

SKOOG, Douglas *et al.* **Fundamentos de química analítica**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2014. v. 1

STENERSON, Katherine. **37 Component Mix on the 75 m x 0.18 mm I.D., 0.14 µm SP-2560. Application Report** Sigma Aldrich - Supelco, , 2006. Disponível em: <<https://gcms.cz/labrulez-bucket-strapi-h3hsga3/application::paper.paper/t006400.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2025

WERE, Beatrice A. *et al.* Seed oil content and fatty acid composition in East African sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions evaluated over 3 years. **Field Crops Research**, v. 97, n. 2–3, p. 254–260, jun. 2006.

ZHANG, J.; KIM, M.; LEE, Y. J. Ultrasound-assisted extraction of blackberry (*Rubus fruticosus*) seed oil: optimization and oil characterization. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 47, n. 3, e16376, 2023.