

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E DESENVOLVIMENTO
NA REGIÃO CENTRO-OESTE**

PRISCILA SILVA FIGUEIREDO

**CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE DO ÓLEO DAS
SEMENTES DE GERGELIM E LINHAÇA E SEU IMPACTO EM
PARÂMETROS METABÓLICOS DE RATOS WISTAR**

Campo Grande
2017

PRISCILA SILVA FIGUEIREDO

**CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE DO ÓLEO DAS
SEMENTES DE GERGELIM E LINHAÇA E SEU IMPACTO EM
PARÂMETROS METABÓLICOS DE RATOS WISTAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, área de concentração Metabolismo e Nutrição, para obtenção do título de Mestre pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Orientadora: Dra. Rita de Cássia Avellaneda Guimarães.

Co-orientador: Prof. Dr. Octavio Luiz Franco.

Campo Grande

2017

AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus e ao Mestre Jesus, pela onipresença e toda bondade, toda benção, sabedoria e luz concedidas constantemente. Aos meus pais maravilhosos, Mara e Joelson, que sempre me apoiaram desde cedo para dedicação ao estudo e busca pelo conhecimento, estimulando da forma mais intensa que podiam, fazendo sempre até mais do que estava ao seu alcance, sempre dedicados, guerreiros, batalhadores e amorosos, a vocês, meu eterno e grande amor; serei sempre grata a tudo que me proporcionaram, são a base mais sólida de minha vida, meu alicerce e meus companheiros para tudo, as pessoas em quem mais posso confiar. Apesar de tantas dificuldades enfrentadas, sempre fizeram o possível e impossível pelas filhas. Amo vocês incondicionalmente. Agradeço também à minha irmãzinha, Giovana, primeiramente por sua vida e presença em nossas vidas, e por toda alegria que me fornece, é um anjo que me proporciona momentos alegres e de amor.

Agradecer aos familiares que torceram sempre por mim, emitindo boas vibrações e orações, como à minha tia e madrinha Agenar, ao Luiz, e às minhas avós, Ana e Fátima. E como não mencionar meus queridos amigos, Éder, Camila Corage, Kimberley e Paulo, donos de um coração enorme e que eu sei que terei por toda a vida, obrigada por todo consolo, por toda paciência e por toda torcida durante esta jornada. Agradecer aos companheiros de pós-graduação que assim como eu, enfrentavam seu dia a dia na pesquisa e comigo compartilharam suas vivências e colaboraram sempre que podiam para o meu conhecimento e também ajudaram durante meu experimento de alguma forma.

Agradecer ao Osmar, técnico mais dedicado do DTA, e que sempre esteve muito disposto a me ensinar tudo o que eu precisava nas análises de alimentos, sendo por este período em laboratório um grande amigo, excelente profissional a quem agradeço imensamente. Sou grata também à Camila, que além do auxílio como técnica, foi minha parceira intensa deste trabalho, me acompanhando em grande parte do experimento, e que acima de tudo, se tornou uma amiga muito especial.

Obrigada a todos os demais colaboradores deste projeto, que auxiliaram nas análises, na escrita, no experimento e em tantos outros setores, citando aqui a

professora Priscila Hiane, os professores Jeandre, Jeaser, Wander, Anderson Caires, Valter, assim como à Ângela Nunes, ao meu co-orientador Octavio Luiz, e ao aluno de iniciação científica Rafael, todos vocês auxiliaram grandemente nesta caminhada, novamente muito obrigada!

E claro, agradecer a uma pessoa fundamental nesta caminhada, minha orientadora professora Rita! Agradeço imensamente por ter me acolhido como sua primeira aluna de mestrado na pós-graduação e por ter confiado em mim. Obrigada por todo ensinamento, por todo direcionamento durante esses dois anos, pelo apoio técnico, científico e também moral. Espero continuar fazendo parte desta caminhada, contando com seu apoio e orientação, sempre fazendo o meu melhor para produzirmos ótimos resultados sempre. Obrigada por tudo!

Obrigada ao Programa de Pós-graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste pela oportunidade de realizar este trabalho e à Capes pela bolsa de estudos.

Meus sinceros agradecimentos!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perfil de ácidos graxos (%) dos óleos de gergelim e linhaça, e das dietas elaboradas.....	53
Tabela 2 - Conteúdo de minerais presentes no óleo de gergelim e linhaça (mg/kg). 54	
Tabela 3 - Índices de qualidade e identidade do óleo de gergelim e linhaça.	58
Tabela 4 - Parâmetros morfométricos de ingestão alimentar (g/dia), peso das gorduras viscerais (g) e índice de adiposidade (%) dos animais após 60 dias de tratamento.	62
Tabela 5 - Parâmetros bioquímicos dos animais após 60 dias de tratamento com dietas contendo óleo de gergelim e óleo de linhaça quando comparados ao grupo controle com gordura animal.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo metabólico inflamatório modulado por constituintes dietéticos..	19
Figura 2 - Estruturas das principais classes lipídicas.	24
Figura 3 - Estrutura do ácido graxo.	24
Figura 4 - Estrutura dos principais ácidos graxos encontrados na natureza....	25
Figura 5 - Via de síntese de ácidos graxos insaturados das séries n-6 e n-3 em mamíferos.	27
Figura 6 - Processo de oxidação lipídica e as alterações resultantes nos alimentos	37
Figura 7 - Estrutura dos tocoferóis.	39
Figura 8 - Absorção espectroscópica molecular do óleo de gergelim e linhaça diluídos em hexano a $0,1 \text{ g L}^{-1}$, obtidos entre 220-420 nm em temperatura ambiente.	56
Figura 9 - Mapa de excitação-emissão do óleo de gergelim e linhaça obtido quando excitados entre 300 e 650 nm e coletados entre a faixa de emissão de 350 e 750 nm.	57
Figura 10 - Condutividade elétrica versus tempo determinado pelo método de Rancimat quando 3,0 g de óleo é submetido a uma taxa de fluxo constante (10 L h^{-1}) a uma temperatura constante (110°C).	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Peso corporal final (g) dos animais após 60 dias de experimento.....61

RESUMO

Ricos em ácidos graxos poli-insaturados essenciais das séries n-6 e n-3, os óleos de gergelim e linhaça são amplamente consumidos. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os óleos de linhaça e gergelim através de seu comportamento óptico, bem como seu perfil de ácidos graxos e minerais, e seu impacto em parâmetros metabólicos de ratos *wistar*. Utilizaram-se óleos de linhaça e gergelim prensados a frio, e banha de porco para elaboração da dieta do grupo controle com gordura animal. Os óleos foram caracterizados quanto ao seu perfil de ácidos graxos e minerais. Os índices de refração, peróxidos, iodo, acidez e de saponificação foram avaliados para caracterizar os óleos de gergelim e de linhaça quanto à sua qualidade e identidade. A qualidade dos óleos também foi averiguada por técnicas ópticas de espectroscopia de absorção na região UV-Vis e fluorescência, bem como método de Rancimat para verificar a estabilidade oxidativa. Para o experimento animal, os óleos de linhaça e gergelim foram inseridos na alimentação de 56 ratos machos *wistar*, divididos em quatro grupos: OG (óleo de gergelim), OL (óleo de linhaça), OGL (óleo de gergelim + linhaça) e um grupo controle (GC) com gordura animal. Os animais foram pesados semanalmente, além do controle de ingestão alimentar. Ao final do experimento, os animais foram anestesiados e eutanasiados. Realizou-se a coleta e das gorduras do tipo branco visceral epididimal, mesentérica, retroperitoneal e omental, com posterior uso no cálculo do índice de adiposidade. As amostras de sangue foram coletadas para obter as frações séricas e determinar os níveis de triacilglicerois, colesterol total, LDL, HDL, VLDL, não-HDL e glicemia. Dentre os resultados, apesar da emissão de carotenóides (500-650 nm) no óleo de linhaça na espectroscopia de fluorescência, o óleo de gergelim se mostrou mais estável, com maior período de indução (4,88h) pelo método de Rancimat em relação ao óleo de linhaça (1,95h). Ambos os óleos apresentaram índice de peróxido dentro do preconizado, inferior a 15 meq/kg. Os índices de iodo e acidez apresentaram-se superiores no óleo de linhaça ($p<0,05$) devido ao maior número de insaturações. No experimento animal, o peso corporal final foi menor ($p<0,05$) nos grupos OL e OGL. Em todos os grupos que receberam os óleos vegetais (OL, OG e OGL), os pesos das principais gorduras viscerais (epididimal, mesentérica e retroperitoneal), índice de adiposidade e os níveis de glicemia foram menores ($p<0,05$) quando comparados

a GC. Os níveis de colesterol total, VLDL, HDL e triacilglicerois se apresentaram inferiores ($p<0,05$) nos grupos OL e OGL, enquanto que os valores de LDL e não-HDL mostraram-se reduzidos em OGL ($p<0,05$). Os grupos que receberam óleos de linhaça e/ou gergelim apresentaram menor peso corporal e índice de adiposidade, assim como redução nos parâmetros considerados aterogênicos, especialmente nos níveis de LDL e não-HDL para o grupo OGL, cuja dieta apresenta proporção de ácidos graxos das séries n-6:n-3 de 1:1, inferindo efeito anti-aterogênico. Sugere-se que a suplementação de dietas com estes ácidos graxos na proporção 1:1 tem efeito positivo na saúde cardiovascular.

Palavras-chave: Ácidos graxos poli-insaturados. Óleos vegetais. Espectroscopia. Dislipidemias.

ABSTRACT

Rich in essential n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids, sesame and flaxseed oils are widely consumed. The aim of this study was to characterize the flaxseed and sesame oils through its optical behavior and profile of fatty acids and minerals, and its impact on metabolic parameters of wistar rats. Cold-pressed flaxseed and sesame oils were used, as well as lard to prepare the diet of the control group with animal fat. The oils were characterized according to their profile of fatty acids and minerals. The indexes of refraction, peroxides, iodine, acidity and saponification were evaluated to characterize the sesame and flaxseed oils as to their quality and identity. The quality of the oils was also investigated by optical spectroscopy techniques of absorption in the UV-Vis region and fluorescence, as well as Rancimat method to verify the oxidative stability. For the animal experiment, flaxseed and sesame oils were fed to 56 male Wistar rats, divided into four groups: OG (sesame oil), OL (flaxseed oil), OGL (sesame oil + flaxseed oil) and one control group (CG) with animal fat. The animals were weighed weekly, in addition to food intake control. At the end of the experiment, the animals were anesthetized and euthanized. The collection of the visceral white fats, mesenteric, retroperitoneal and omental fat was carried out, with subsequent use in the calculation of adiposity index. Blood samples were collected to obtain the serum fractions and to determine levels of triacylglycerols, total cholesterol, LDL, HDL, VLDL, non-HDL and glycemia. Among the results, despite the emission of carotenoids (500-650nm) in flaxseed oil in fluorescence spectroscopy, sesame oil was more stable, with a longer induction period (4.88h) by the Rancimat method in relation to flaxseed oil (1.95h). Both oils had a peroxide index within the recommended range of less than 15 meq/kg. Iodine and acidity indexes were higher in flaxseed oil ($p < 0.05$) due to the higher number of unsaturations. In the animal experiment, the final body weight was lower ($p < 0.05$) in the OL and OGL groups. In all the groups that received the vegetable oils (OL, OG and OGL), weights of the main visceral fats (epididimal, mesenteric and retroperitoneal), adiposity index and blood glucose levels were lower ($p < 0.05$) when compared To GC. The levels of total cholesterol, VLDL, HDL and triacylglycerols were lower ($p < 0.05$) in OL and OGL groups, whereas LDL and non-HDL levels were significantly reduced in OGL ($p < 0.05$). The groups that received flaxseed and/or

sesame oils presented lower body weight and adiposity index, as well as a reduction in atherogenic parameters, especially LDL and non-HDL levels for the OGL group, whose diet has a ratio of fatty acids series n-6: n-3 of 1: 1, inferring anti-atherogenic effect. It is suggested that dietary supplementation with these fatty acids in the ratio 1: 1 has a positive effect on cardiovascular health.

Keywords: Polyunsaturated fatty acids. Vegetable oils. Spectroscopy. Dyslipidemias.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Obesidade e fatores associados	16
2.2 Metabolismo lipídico	20
2.3 Lipídios: visão geral destes macronutrientes	22
2.3.1 Ácidos graxos	23
2.3.2 Proporção de ácidos graxos das séries n-6:n-3	28
2.4 Óleos e gorduras	29
2.4.1 Óleos vegetais	30
2.5 Linhaça e gergelim: importantes oleaginosas	32
2.5.1 Linhaça	32
2.5.2 Gergelim	33
2.6 Estabilidade oxidativa de óleos vegetais	35
2.7 Capacidade antioxidante de óleos vegetais	38
2.8 Parâmetros de qualidade e identidade de óleos e gorduras	40
2.9 Técnicas ópticas para análise de óleos	41
2.9.1 Espectroscopia de absorção de luz ultravioleta - visível (UV-Vis)	42
2.9.2 Espectroscopia de fluorescência	42
2.10 Estabilidade oxidativa: método de Rancimat	43
3 OBJETIVOS	45
3.1 Objetivos gerais	45
3.2 Objetivos específicos	45
4 MATERIAL E MÉTODOS	46
4.1 Matéria-prima	46
4.1.1 Perfil de ácidos graxos dos óleos de linhaça e gergelim	46
4.1.2 Perfil de minerais do óleo de gergelim e linhaça: Espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES)	47
4.1.3 Análises de qualidade e identidade dos óleos	47
4.1.4 Espectroscopia dos óleos: absorção na região UV-Vis e fluorescência	48
4.1.5 Estabilidade oxidativa: Rancimat	49
4.2 Experimento animal	49
4.2.1 Animais	49

4.2.2 Delineamento.....	
4.2.3 Eutanásia.....	50
4.2.4 Exames bioquímicos.....	51
4.3 Análise estatística	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1 Caracterização do óleo de linhaça e gergelim: perfil de ácidos graxos.....	52
5.2 Perfil de minerais no óleo de gergelim e linhaça	54
5.3 Espectroscopia de absorção na região UV-Vis do óleo de gergelim e linhaça ...	55
5.4 Espectroscopia de fluorescência do óleo de gergelim e linhaça	56
5.5 Qualidade e identidade dos óleos de gergelim e linhaça.....	57
5.6 Estabilidade oxidativa dos óleos: método de Rancimat.....	59
5.7 Experimento Animal.....	60
6 CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	66
ANEXO A - CERTIFICADO DE APROVAÇÃO DA COMISSÃO DE ÉTICA EM USO DE ANIMAIS (CEUA) - UFMS	78
ANEXO B - CARTA DE ACEITE DE PUBLICAÇÃO E ARTIGO CIENTÍFICO SUBMETIDO	79

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as doenças cardiovasculares são a principal causa de mortalidade, e aproximadamente 300 mil brasileiros na faixa etária de 45 a 64 anos, são vítimas anualmente destas patologias (SPINELLI, 2014).

Níveis elevados de colesterol total, lipoproteína de baixa densidade (LDL) e triacilgliceróis (TG) desempenham papel importante no acometimento de eventos cardiovasculares, os quais contribuem com a ocorrência de dislipidemia e síndrome metabólica (SIERRA et al., 2015).

Recomendações dietéticas são utilizadas como importantes ferramentas na prevenção de doenças cardiovasculares, destacando-se: ingestão aumentada de frutas, vegetais, nozes e grãos inteiros; redução no consumo de produtos feitos a base de farinha refinada; substituição de ácidos graxos *trans* e saturados por ácidos graxos insaturados e não-hidrogenados; e aumento no consumo de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) da série n-3, também conhecidos como ômega-3, através de óleo de peixe ou fontes vegetais (MOHAMED, 2014).

Os óleos das sementes de linhaça (*Linum usitatissimum*) e gergelim (*Sesamum indicum* L.) são importantes fontes de AGPI (POWER et al., 2016). Mais da metade destas frações de ácidos graxos está disponível nestas sementes sob a forma de ácido alfa-linolênico (18:3 n-3; Δ 9,12,15; ALA) ou ácido linoleico (18:2 n-6; Δ 9,12; AL), sendo que os AGPI da série n-3 atuam como uma importante ferramenta que auxilia na cascata da coagulação sanguínea, reduzindo assim, eventos cardiovasculares como arritmia, aterosclerose, inflamação sistêmica, infarto agudo do miocárdio e doenças cerebrovasculares (HARO et al., 2016; ADKINS & KELLEY, 2010).

Tais óleos presentes na dieta possuem papel fundamental na prevenção e tratamento das doenças crônicas não-transmissíveis, todavia, é de extrema importância se conhecer as propriedades físicas e químicas destas fontes lipídicas, visto que é essencial se obter a caracterização e comportamento de seus compostos para se compreender sua via de ação (SILVA et al., 2015).

Diversas técnicas são utilizadas a fim de averiguar a qualidade de óleos vegetais, destacando-se técnicas ópticas, como espectroscopia de fluorescência,

espectroscopia de absorção na região ultravioleta visível (UV-Vis) e método de Rancimat, que nos fornecem o monitoramento da estabilidade oxidativa de um determinado óleo.

Visando maior aproveitamento das qualidades nutricionais dos óleos de linhaça e gergelim, fontes vegetais de AGPI, este estudo teve como objetivo caracterizar estes óleos através de seu comportamento óptico, e do perfil de ácidos graxos e minerais, bem como analisar o efeito de sua administração sobre medidas morfométricas e parâmetros bioquímicos séricos de animais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Obesidade e fatores associados

Grandes transformações sociais aconteceram no Brasil nas últimas décadas, que resultaram em mudanças no padrão de saúde e consumo alimentar da população. Tais transformações acarretaram na redução da pobreza e exclusão social, e conseqüentemente, da fome e desnutrição. Entretanto, observa-se um crescente aumento do excesso de peso e sobrepeso em todas as camadas da população, gerando um novo cenário de problemas ligados à alimentação e nutrição (BRASIL, 2012).

De acordo com dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 49,0% da população adulta apresenta excesso de peso, sendo que destes 14,9% são classificados com obesidade (IBGE, 2011).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define a obesidade como um agravo de cunho multifatorial, podendo ser fatores biológicos, históricos, econômicos, sociais, ecológicos, culturais e políticos. A obesidade é caracterizada como um balanço energético positivo que favorece o acúmulo de gordura, associado a complicações metabólicas e que são relacionadas a riscos para a saúde, como elevação dos níveis de colesterol e triglicerídeos sanguíneos, pressão arterial e resistência à insulina (WHO, 2000).

As alterações metabólicas relacionadas à obesidade, como pressão arterial sistêmica elevada, dislipidemia, glicose de jejum aumentada e obesidade central, são as principais características da Síndrome Metabólica (SM), segundo a *International Diabetes Federation*. A SM é definida como a combinação entre fatores fisiológicos, bioquímicos, clínicos e metabólicos, associados com o aumento no risco cardiovascular e de diabetes melito tipo II (KAUR, 2014).

Dentre as alterações metabólicas resultantes da obesidade, tem-se a dislipidemia, que ao longo dos anos se tornou o principal fator de risco para doenças cardiovasculares, atuando fortemente no desenvolvimento de aterosclerose e outros eventos cardiovasculares. O controle da dislipidemia se baseia na identificação de

risco com posterior recomendação de mudança no estilo de vida e até mesmo terapia farmacológica (HENDRANI et al., 2016).

O conceito de dislipidemias significa o desvio anormal no valor de uma ou mais frações do plasma, sendo distúrbios no transporte de lipídios que resultam em anormalidades metabólicas na síntese ou degradação das lipoproteínas plasmáticas, que alteram as concentrações dos seus diferentes componentes na circulação. Esses distúrbios metabólicos são capazes de causar doenças ateroscleróticas, sendo a doença arterial coronariana (DAC), a principal delas (GUIMARÃES, 2013).

O processo de aterogênese é complexo e progride lentamente envolvendo uma série de mecanismos fisiopatológicos, nos quais atuam fatores ambientais e genéticos. Tal processo acomete as camadas íntima e média das artérias de grosso e médio calibre que induz à geração de lesões focais. Estas lesões recebem a denominação de placas, e podem sofrer complicações devido a hemorragias intraplaquetárias, trombose e ruptura superposta, que causa isquemia na região provida pela artéria (RICCARDI; RIVELLESE; WILLIAMS, 2006).

A lesão do endotélio vascular eleva a expressão das células de aderência nas células endoteliais e diminui sua capacidade de liberar óxido nítrico e outras substâncias que auxiliam a evitar a aderência de macromoléculas, plaquetas e monócitos a seu endotélio. Este fato permite o acúmulo de monócitos e lipídios circulantes (destacando-se as lipoproteínas de baixa densidade - LDL) no local da lesão. Os monócitos então passam pela camada íntima da artéria onde se diferenciam em macrófagos, ingerindo e oxidando as lipoproteínas ali acumuladas, o qual gera aspecto espumoso que agregado forma a estria gordurosa. Estas artérias ateroscleróticas facilmente se rompem, fazendo com que o sangue coagule ou forme trombo (GUYTON; HALL, 2011).

Além de problemas cardiovasculares, no quadro de obesidade instalada, o tecido adiposo encontra-se aumentado no corpo, gerando consequências importantes no metabolismo. O tecido adiposo é composto principalmente por adipócitos e em menor proporção, mas igualmente importante, fração vascular estromal, que contém fibroblastos, células imunes e pré-adipócitos. A obesidade atua como um agente estressante no metabolismo do tecido adiposo, no fígado, músculo e pâncreas, podendo resultar na resistência à insulina e diabetes melito tipo II (LYONS; KENNEDY; ROCHE, 2016).

O tecido adiposo é denominado como um órgão endócrino dinâmico que atua na regulação metabólica, e cuja expansão aumenta a infiltração de macrófagos e o processo inflamatório através das chamadas adipocinas, que englobam citocinas inflamatórias, dentre as quais se destacam: fator de necrose tumoral-alfa (TNF- α), interleucina-6 (IL-6), resistina e proteína ligada ao retinol-4 (RBP4) (GALIC; OAKHILL; STEINBERG, 2010); quimiocinas, como as proteínas quimiotáticas de monócitos-1 (MCP-1); proteínas da via complemento alternativas, a exemplo das adipinas; proteínas envolvidas na homeostase vascular, como inibidor de ativador de plasminogênio-1 (PAI-1); angiotensinogênio, que atua na regulação da pressão arterial; fator de crescimento endotelial vascular (VEGF), participante do processo de angiogênese; proteína transferidora de éster colesterol, que é parte do metabolismo lipídico; e as adiponectinas, consideradas adipocinas antiinflamatórias, envolvidas por exemplo, na homeostase da glicose (TRAYHURN; BING; WOOD, 2006).

A adiponectina possui também função anti-aterosclerótica e outros efeitos vasculares, como: redução da expressão do fator de necrose tumoral- α (TNF- α), que repercute na redução desta adipocina sobre a resposta inflamatória do endotélio; inibição dos efeitos das lipoproteínas de baixa densidade oxidadas; e inibição de migração e multiplicação de células endoteliais. Sabe-se que intervenções dietéticas que visem ao controle e diminuição da resistência à insulina, aumentam a expressão gênica da adiponectina e seu conteúdo circulante (SPRANGER et al., 2003).

Em estudo anterior observou-se associação positiva entre os níveis de adiponectina e alimentação adequada no consumo de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) - ácidos graxos da série n-3 e n-6 - e AGM, tanto em indivíduos saudáveis como em diabéticos, que apresentaram níveis séricos aumentados desta adipocina (REIS; BRESSAN; ALFENAS, 2010).

Os tipos de ácidos graxos consumidos na dieta também interferem neste processo inflamatório metabólico através de sua ação nos macrófagos, visto que estes aumentam em quantidade à medida que a obesidade progride (WEISBERG et al., 2003). Estes macrófagos se dividem em M1, com propriedades pró-inflamatórias, e M2, com característica anti-inflamatória (LUMENG; BODZIN; SALTIEL, 2007), conforme Figura 1.

Na obesidade, estas células imunes apresentam alteração fenotípica, gerando uma mudança de M2 para M1, em que o consumo de ácidos graxos saturados (AGS) ativam genes M1, os quais estimulam a produção de TNF- α e IL-6, enquanto

que ácidos graxos monoinsaturados (AGM) ativam os genes M2, relacionados à expressão de Arginase-1 e interleucina-10, citocinas com ação anti-inflamatória (CHAN et al., 2015).

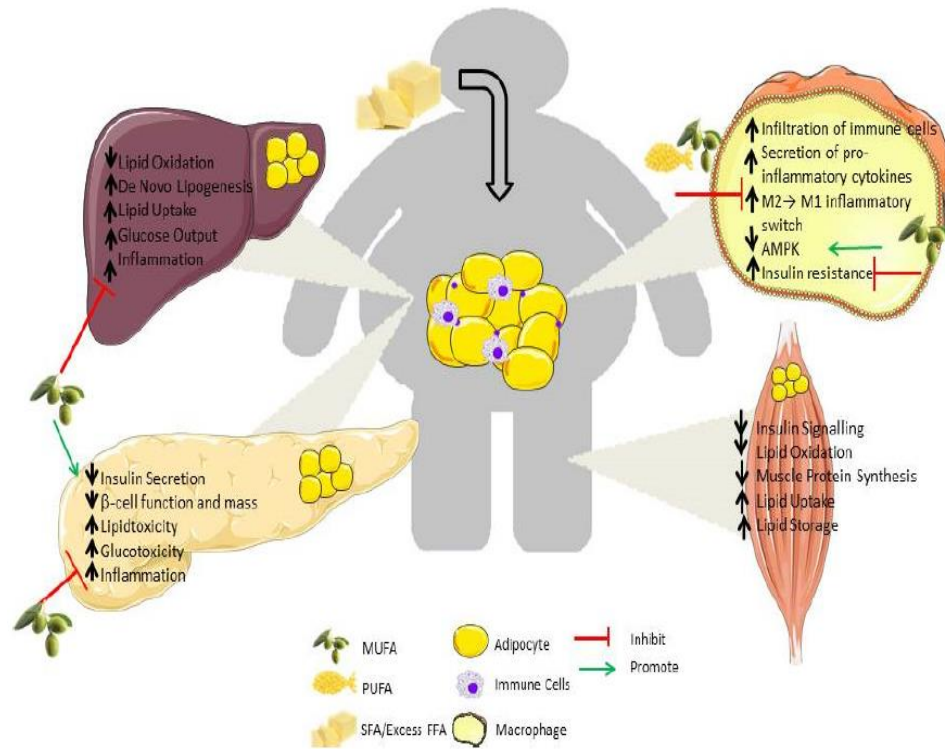


Figura 1 - Processo metabólico inflamatório modulado por constituintes dietéticos. Fonte: Lyons; Kennedy; Roche (2016).

A qualidade dos lipídios ingeridos, portanto, atua fortemente no funcionamento do corpo humano de modo geral, e desequilíbrios ou deficiências podem acarretar sérias consequências patológicas, sendo importante entender o metabolismo destes macronutrientes (ETTINGER, 2007).

2.2 Metabolismo lipídico

Os lipídios podem ser obtidos pela alimentação, atuando com diversas funções importantes, como: fonte de energia (calorias); veículo de vitaminas lipossolúveis; fonte de ácidos graxos essenciais e precursores dos eicosanoides (prostanoides e leucotrienos), e também podem ser obtidos pelo ciclo endógeno, através da síntese orgânica que se dá principalmente pelo fígado (BERG, TYMOCZO & STRYER, 2012).

Os lipídios biológicos representam um grupo de compostos variados quimicamente, cuja característica em comum que os define é o fato de serem hidrofóbicos, ou seja, insolúveis em água (NELSON; COX, 2014), necessitando juntar-se a proteínas para serem transportados, formando as lipoproteínas (LUSIS & PAJUKANTA, 2008). As lipoproteínas plasmáticas são constituídas por triacilgliceróis e ésteres de colesterol, uma monocamada superficial com fosfolípídeos e colesterol livre não esterificado, além de apoproteínas (apo) (MORITA, 2016).

A camada externa das lipoproteínas é composta por proteínas denominadas de apo, cuja designação ocorre pelas letras A, B, C, D e E, mais um número.. Basicamente, cada tipo de lipoproteína atua como veículos de transporte, proporcionando serviços de busca e entrega de lipídios, para que estes estejam disponíveis quando as células necessitam ou sejam removidos quando não sejam mais necessários (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

As lipoproteínas são designadas especialmente com base em sua densidade, variando com a taxa de lipídios (que possuem densidade baixa) e proteínas (que possuem densidade alta). Das maiores e mais leves até as menores e mais pesadas, as principais categorias de lipoproteínas são quilomícrons, lipoproteínas de densidade muito baixa (VLDL, do inglês *very low density lipoprotein*), lipoproteínas de baixa densidade (LDL, do inglês *low density lipoprotein*) e as lipoproteínas de alta densidade (HDL, do inglês *high density lipoprotein*) (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

A maior parte da digestão dos lipídeos ingeridos acontece no duodeno, mais precisamente nas células intestinais conhecidas como enterócitos, pelas enzimas pancreáticas lipase e colipase. Os ácidos graxos de cadeia longa e os monoacilgliceróis resultantes da lipólise, em conjunto com colesterol, fosfolípídeos e

vitaminas lipossolúveis, formam micelas com os ácidos biliares, no processo conhecido como emulsificação. Os constituintes destas micelas são captados pelos enterócitos, onde são re-sintetizados em triacilgliceróis e acondicionados sob a forma de quilomícrons (KIELA & GHISHAN, 2016). Os quilomícrons então hidrolisados são liberados no sistema linfático para serem utilizados por tecidos periféricos (HUSSAIN, 2014).

Ao contrário dos ácidos graxos de cadeia longa, os ácidos de cadeia média são absorvidos pelos enterócitos sem hidrólise e transportados diretamente pela veia porta, sendo muito utilizados no tratamento de indivíduos com má absorção lipídica (KIELA & GHISHAN, 2016).

Já na circulação sanguínea, transportados junto à albumina ou sob a forma de lipoproteínas, os ácidos graxos livres são captados para dentro das células através de transportadores proteicos da membrana plasmática e são transportados para o meio intracelular por meio das chamadas proteínas ligantes de ácidos graxos (FABP). Posteriormente, os ácidos graxos livres são ativados pela via acil-CoA ligadora de proteínas (ACBP) para o transporte à mitocôndria ou peroxissomos, onde ocorre a beta-oxidação (com formação de calor e ATP) ou transportado pelo retículo endoplasmático para esterificação de diferentes classes lipídicas. Além disso, alguns ácidos graxos livres ou acil-CoA podem se ligar a fatores de transcrição que regulam expressões gênicas ou ainda são convertidos em moléculas sinalizadoras, como eicosanoides (RUSTAN; DEVRON, 2005).

Pelo ciclo endógeno, o fígado é responsável por sintetizar ácidos graxos a partir do excesso de aminoácidos e carboidratos ingeridos. Estes ácidos graxos então formam os triacilgliceróis e são acondicionados nas VLDL, sendo secretadas na corrente sanguínea (SNIDER; MCGARRY; HANSON, 2011).

Da mesma forma que o quilomícron, a VLDL sofre a ação da enzima lipoproteína lipase e libera os ácidos graxos para tecidos periféricos, originando as Lipoproteínas de Densidade Intermediária (IDL) (DANTAS & PRADO, 2008). Esta partícula pode ser captada novamente por receptores hepáticos que reconhecem a IDL através da Apo B-100. A IDL também pode ser metabolizada no plasma à LDL. Esta, por sua vez, contém a maior quantidade de colesterol que é transportado aos tecidos periféricos, podendo depositar o excedente de colesterol nas artérias (WAITZBERG & BORGES, 2012).

As HDL são lipoproteínas heterogêneas, sintetizadas no fígado, intestino delgado e plasma, cuja composição inicial é formada por fosfolipídios, colesterol livre e apolipoproteínas A, C, E. No plasma resultam do rearranjo do excesso de material da lipólise dos quilomícrons e das VLDL. A HDL é conhecida como fator protetor do excesso de colesterol, capta o colesterol livre periférico, esterificando-o por atuação da enzima Lecitina Colesterol Aciltransferase (LCAT). A transferência do colesterol esterificado, da partícula HDL para a IDL e novamente para o fígado, ocorre por atuação da enzima de transferência de colesterol (CETP). Assim, o colesterol excedente retorna ao fígado para ser metabolizado, no chamado metabolismo reverso do colesterol (FARMER, 2009).

Devido ao processo de metabolismo reverso do colesterol, as HDL são consideradas lipoproteínas com efeitos anti-aterogênicos, por transportarem excesso de colesterol dos tecidos periféricos, como aquele situado nas paredes arteriais, e remanejar este colesterol para o fígado, onde exercerá outras funções, como composição de novas lipoproteínas, síntese de hormônios esteroidais, ácidos biliares ou vitaminas lipossolúveis (VON ECKARDSTEIN; NOFER; ASSMANN, 2001).

2.3 Lipídios: visão geral destes macronutrientes

Os lipídios são compostos de origem biológica insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos apolares. Sua estrutura molecular consiste especialmente de Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, e em algumas classes Fósforo, Nitrogênio e Enxofre (GONÇALVES, 2015).

São classificados predominantemente como simples ou complexos. Os primeiros são ésteres de ácidos graxos com algum tipo de álcool, como gorduras e ceras. Já os lipídios complexos ou compostos, são ésteres de ácidos graxos com álcool e algum outro composto, destacando-se os fosfolipídios, que além de ácido graxo e álcool possui um resquício de ácido fosfórico e bases nitrogenadas. Outros importantes lipídios complexos seriam os glicolipídeos e as lipoproteínas. Além destas classes lipídicas, existem os lipídios derivados (como é o caso de ácidos

graxos, glicerol, esteroides, outros álcoois, aldeídos gordurosos, hidrocarbonetos, corpos cetônicos, vitaminas lipossolúveis e hormônios) oriundos da hidrólise dos lipídios simples ou compostos (BOTHAM; MAYES, 2014).

Considerando aspectos fisiológicos e clínicos, os fosfolipídios, o colesterol, os triacilgliceróis e os ácidos graxos são os lipídios biologicamente mais relevantes. Os fosfolipídios constituem a estrutura básica das membranas celulares. O colesterol atua como constituinte das membranas celulares, influenciando em sua fluidez e na ativação de enzimas das membranas, além de ser precursor dos ácidos biliares, hormônios esteroides e da vitamina D. Os triacilgliceróis, oriundos de três ácidos graxos livres e uma molécula de glicerol, são uma das principais formas de armazenamento energético do organismo, depositados nos tecidos adiposo e muscular, e mobilizados de acordo com a demanda corporal (CHACRA, 2011).

Além destes lipídios, outros estão presentes em quantidades bem pequenas, porém, também possuem importante papel, como transportadores de elétrons, cofatores enzimáticos, pigmentos fotossensíveis, âncoras hidrofóbicas, agentes emulsificantes no trato digestivo, mensageiros intracelulares, hormônios e chaperonas que atuam no enovelamento de proteínas de membrana (NELSON; COX, 2014).

2.3.1 Ácidos graxos

A maioria dos lipídios contém ou é derivada de ácidos graxos, os quais são armazenados no organismo principalmente como ésteres de glicerol, que no homem encontram-se predominantemente sob a forma de triacilgliceróis, ou seja, três grupos hidroxila do glicerol esterificados com ácidos graxos. Os triacilgliceróis constituem a principal reserva de combustível do corpo, enquanto que os demais lipídios desempenham papel crucial como constituintes das membranas, como fosfolipídeos, glicolipídeos e o colesterol, cujas estruturas podem ser observadas na Figura 2 (SNIDER; MCGARRY; HANSON, 2011).

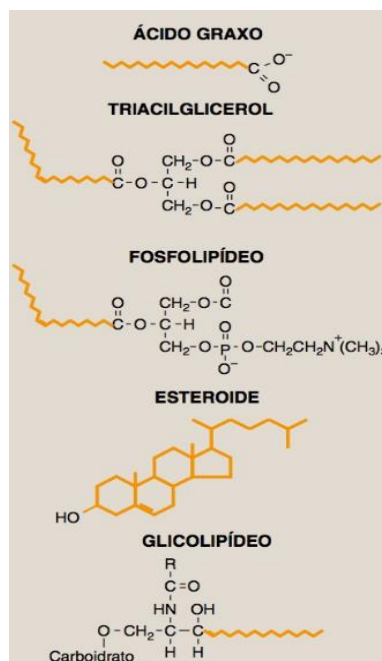


Figura 2 - Estruturas das principais classes lipídicas. A cor laranja representa as porções hidrofóbicas.

Fonte: Harvey; Ferrier (2012).

Os ácidos graxos correspondem a uma cadeia alifática de hidrocarbonetos com um grupo de ácido carboxílico em uma das extremidades e grupo metila na outra (Figura 3). Seu comprimento varia em média de 4 a 22 átomos de carbono, ligados covalentemente entre si, por ligação simples, uma dupla ligação ou até seis duplas ligações, classificando-os em saturados (AGS), monoinsaturados (AGM) e poli-insaturados (AGPI), respectivamente (MAEHRE et al., 2015).

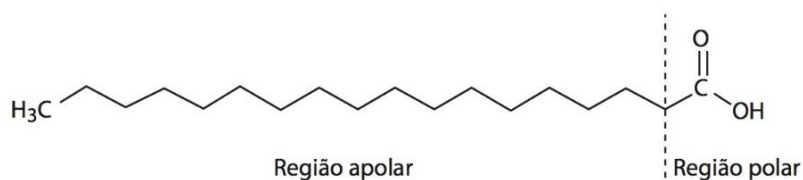


Figura 3 - Estrutura do ácido graxo.

Fonte: Melo; Silva; Filho (2013).

Além de serem classificados de acordo com as duplas ligações, os ácidos graxos podem ser classificados pelo número de carbonos. De modo geral, os ácidos graxos de cadeia curta apresentam entre 4 a 6 carbonos, os de cadeia média de 8 a 14, e os ácidos graxos de cadeia longa, de 16 a 20 ou mais (GALLAGHER, 2013). Na Figura 4 é possível observar a estrutura química dos principais ácidos graxos encontrados na natureza.

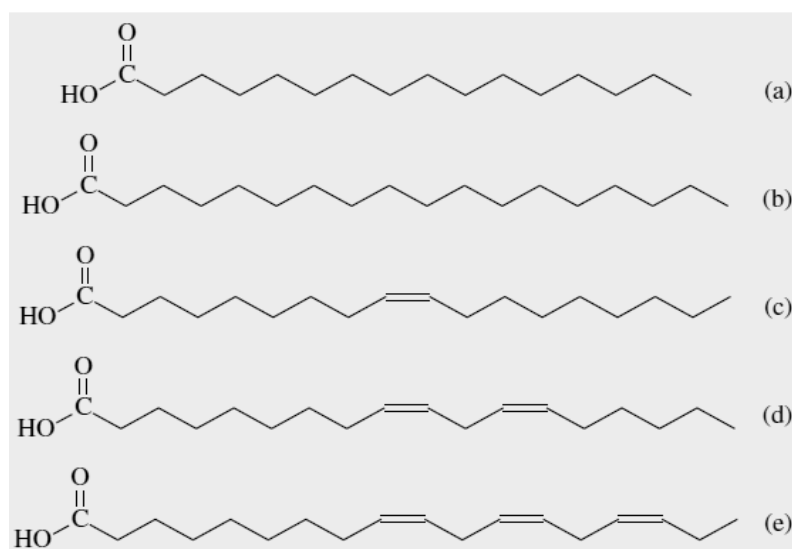


Figura 4 - Estrutura dos principais ácidos graxos encontrados na natureza. Ácidos graxos saturados: (a) Palmítico, com 16 carbonos e (b) Esteárico, com 18 carbonos; Ácidos graxos insaturados: (c) Oleico, com 18 carbonos e uma dupla ligação; Ácidos graxos poli-insaturados: (d) Linoleico, com 18 carbonos e duas duplas ligações; e (e) Linolênico, com 18 carbonos e três duplas ligações.

Fonte: Ramalho; Suarez (2012).

Os AGS são encontrados principalmente nas gorduras de origem animal: manteiga, carne gordurosa, banha, vísceras e, em menor porcentagem, nos óleos vegetais, excetuando-se o óleo de coco, onde predominam (SILVA & MURA, 2012).

Entre os AGI têm-se 3 tipos: ácido oleico com 1 ligação dupla ($C_n H_{2n-2} O_2$); ácido linoleico com 2 ligações duplas ($C_n H_{2n-4} O_2$); e o ácido linolênico, com 3 ligações duplas ($C_n H_{2n-6} O_2$). Os AGI encontram-se principalmente nos óleos vegetais, especialmente nos de soja, milho, algodão, girassol e linhaça. O ácido

graxo araquidônico (AA), importante mediador inflamatório, pode ser encontrado em pequenas quantidades nas gorduras animais (WAITZBERG & BORGES, 2012).

O ácido graxo oleico é classificado como monoinsaturado, pertencendo à família ω -9 ou série n-9, apontado como hipolipidêmico, reduzindo colesterol e LDL, responsáveis pela formação de ateromas. É encontrado em sementes, nozes e azeitonas (KRIS-ETHERTON, 2002).

Já os ácidos graxos linoleico e linolênico são considerados ácidos graxos essenciais, visto que são ausentes, ou seja, não podem ser sintetizados pelos tecidos em geral dos animais. Entretanto, os ácidos graxos insaturados essenciais são fundamentais na composição dos fosfolipídios, especialmente nas membranas celulares, mitocôndrias, microssomais, nucleares e participam do processo de coagulação sanguínea (DOUGLAS, 2012).

O ácido graxo linoleico é um expoente importante da série n-6, sendo presente em vegetais como: gergelim, girassol, canola, soja, linhaça, milho, algodão (TURATTI, 2012). O ácido graxo α -linolênico da família n-3 é encontrado em quantidades relevantes no girassol, gergelim, linhaça e soja (LUCAS, 2011).

Os ácidos graxos da série n-3 são entendidos por: ácido docosahexaenoico (DHA) e ácido eicosapentaenoico (EPA), de origem marinha, e α -linolênico (ALA), de origem vegetal. São responsáveis por exercer diferentes efeitos sobre características fisiológicas e metabólicas relacionadas às doenças cardiovasculares, tais como melhora da função autonômica, antiarrítmico, redução da agregação plaquetária e da pressão arterial, melhora da função do endotélio, protegendo de lesões, estabilização da placa de ateroma e redução de triacilglicerois (SANTOS et al., 2013).

Apesar de não serem capazes de sintetizar os ácidos graxos essenciais, linoleico e linolênico, os mamíferos metabolizam estes ácidos através de modificações por dessaturação e alongação, resultando nos AGPI. As enzimas dessaturases introduzem duplas ligações nas posições 4, 5 ou 6 (SNIDER; MCGARRY; HANSON, 2011). O α -linolênico consumido pode ser convertido em ácido esteradiônico (18:4, n-3) pela enzima delta-6 dessaturase e então o ácido esteradiônico pode passar por enlogação para ácido eicosatetraenoico (20:4, n-3). Assim como a enzima delta-5 que através de dessaturação gera EPA (20:5, n-3), que posteriormente é convertido em DHA (22:6, n-3) pela enzima delta-6 (BURDGE; CALDER, 2006; ARTERBURN; HALL; OKEN, 2006), conforme Figura 5.

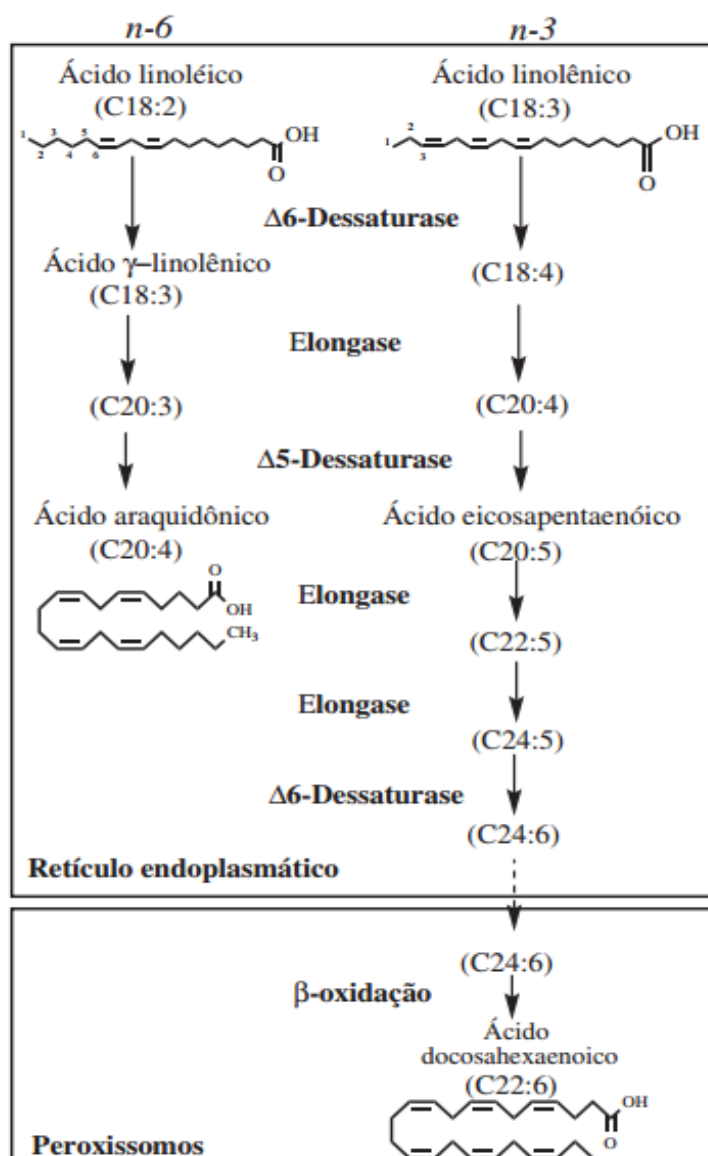


Figura 5 - Via de síntese de ácidos graxos insaturados das séries n-6 e n-3 em mamíferos.

Fonte: Appolinário et al. (2011).

No entanto, o metabolismo do AL utiliza as mesmas enzimas do processo de conversão a DHA, gerando o ácido araquidônico. A alta ingestão de AL ocasiona uma competição pelas enzimas, inibindo a formação de EPA e DHA, e aumentando a produção de AA (ADKINS; KELLEY, 2010).

O AA é considerado o principal precursor dos eicosanoides (prostanoides e leucotrienos). Os eicosanoides são metabólitos de ácidos graxos sintetizados através de sistema enzimático cicloxigenase ou 5-lipoxigenase (GANG et al., 2009).

Os eicosanoides, considerados moléculas sinalizadoras, são chamados de leucotrienos, prostaglandinas, tromboxanos e prostaciclins. São responsáveis por diferentes funções celulares, como quimiotaxia (deslocação de células sanguíneas), agregação plaquetária e crescimento celular. O tipo de eicosanoide e seu efeito biológico varia de acordo com o tipo celular, como por exemplo, células endoteliais produzem principalmente prostaciclins, enquanto que plaquetas normalmente geram tromboxanos. Geralmente os eicosanoides derivados de n-3 AGPI são menos potentes que aqueles derivados de n-6 AGPI (RUSTAN; DEVRON, 2005).

Em dietas ricas em AL, o AA é produzido excessivamente, resultando em um sistema imunológico bem mais ativo que pode contribuir no surgimento de doenças crônicas, como câncer, diabetes, acidente vascular encefálico e doença coronariana (RONTI, LUPATTELLI & MANNARINO, 2006; LUSIS, ATTIE & REUE, 2009).

2.3.2 Proporção de ácidos graxos das séries n-6:n-3

A evolução tecnológica no último século contribuiu para a mudança nos padrões de consumo de gordura, especialmente no surgimento e ingestão de ácidos graxos *trans* provenientes principalmente de produtos a base de óleos vegetais hidrogenados, encontrados, por exemplo, nos *junk foods*. Comparado ao período paleolítico, o hábito alimentar da dieta ocidental é pobre em AGPI n-3 e rico em gordura saturada, AGPI n-6 e ácidos graxos *trans* (MURPHY & BLOOM, 2007; SIMOPOULOS, 2006).

A *Food and Agriculture Organization* (FAO) e Organização Mundial de Saúde (OMS) alertam para o controle do consumo de alimentos fontes em AGPI n-6, recomendando maior ingestão de alimentos ricos em AGPI n-3, de modo que se mantenha a proporção entre estes dois componentes de n-6/ n-3 entre 5:1 ou 10:1 (FLAX PRIMER, 2012).

Os efeitos cardioprotetores da ingestão aumentada de AGPI da série n-3, estão especialmente ligados a benefícios no perfil lipídico. Em estudo de Yang et al. (2016) com ratos alimentados com uma mistura de óleos vegetais, cuja proporção de n-6:n-3 era de 1:1, percebeu-se redução nos triacilglicerois, não-HDL e LDL-c quando comparados ao grupo que recebeu dieta com proporção de 20:1 (n-6:n-3). De acordo com outro estudo, uma dieta com proporções adequadas de n-6:n-3 de 1:1 ou 5:1 auxilia na utilização e absorção de ácidos graxos (LI et al., 2015).

Além dos benefícios a parâmetros bioquímicos de lipídios séricos citados anteriormente, a adequada proporção de n-6 e n-3 reduz o processo inflamatório. Os AGPI n-6 são pró-inflamatórios, enquanto que os AGPI n-3 tem forte ação anti-inflamatória, portanto, a regulação da síntese de mediadores pró-inflamatórios e anti-inflamatórios é responsável pelo balanço ideal de ingestão de n-6 e n-3 (YANG et al., 2016).

Uma dieta rica em AGPI n-6 altera o estado fisiológico dos eicosanoides do AA, contribuindo para formação de trombos e ateromas, desordens alérgicas e pró-inflamatórias, e proliferação celular, aumentando eventos pró-trombóticos e pró-agregatórios, que elevam a viscosidade sanguínea, vaso-espamo e vaso constrição (SIMOPOULOS, 2006).

A razão aumentada de n-6:n-3 nos fosfolipídios plaquetários, aumenta o risco de morte cardiovascular, promovendo a incidência de uma série de doenças, que além de cardiovasculares, inclui doenças auto-imunes e inflamatórias e câncer, enquanto que aumentando a ingestão de AGPI n-3 tem-se efeitos supressivos sobre estas patologias (SIMOPOULOS; CLELAND, 2003). Como forma de prevenção secundária, uma dieta com proporção 4:1 já apresentaria enormes benefícios, com redução de 70% no risco de mortalidade total (DE LORGERIL et al., 1994).

2.4 Óleos e gorduras

Conforme visto anteriormente, os lipídios são abundantemente distribuídos na natureza. O ser humano ingere diferentes tipos de lipídios por meio da alimentação de gêneros de origem vegetal e animal (JAPUR, 2012). O consumo de lipídios é feito

predominantemente sob a forma de óleos e gorduras, grupo lipídico cujos principais componentes são ácidos graxos e seus derivados. Uma fonte oleaginosa, por exemplo, contém normalmente mais de 10 ácidos graxos diferentes (RAMALHO; SUAREZ, 2012).

Tanto os óleos quanto as gorduras são misturas de triacilgliceróis que ocorrem de forma natural. A gordura se apresenta sólida em temperatura ambiente enquanto que o óleo é líquido na mesma condição, sendo esta a diferenciação entre eles (CAREY, 2011).

Os óleos e gorduras de origem vegetal podem ser obtidos através de frutos (abacate, azeitona, dendê), sementes e grãos, como algodão, girassol, canola, milho, soja, amendoim, dentre outros. No entanto, os óleos e gorduras de origem animal são oriundos de alimentos produzidos por animais, como a manteiga, derivada do leite, e de partes do próprio animal, como, por exemplo, a banha de porco e o bacon (JAPUR, 2012).

Os óleos vegetais e as gorduras são importantes matérias-primas na produção de fermentos, margarinas, óleos para fritura, e outros produtos para fins alimentícios. Além disso, são as fontes mais densas de energia dentre os alimentos. Os óleos vegetais podem também fornecer vitaminas lipossolúveis e AGPI essenciais das séries n-6 e n-3 (linoleico e linolênico) (GHAZANI; MARANGONI, 2013).

Este grupo de alimentos além de desempenhar importantes funções na nutrição humana, também é responsável por conferir palatabilidade aos alimentos ou às preparações onde são adicionados. Também proporcionam estabilidade às preparações por isolar a umidade do alimento, além de conferir leveza, maciez e lubrificação (PHILIPPI, 2003).

2.4.1 Óleos vegetais

De acordo com a Resolução RDC nº 270 da ANVISA, de 22 de setembro de 2005, tem-se como definição que óleos vegetais e gorduras vegetais “são os produtos constituídos principalmente de glicerídeos de ácidos graxos de espécie(s)

vegetal(is). Podem conter pequenas quantidades de outros lipídeos como fosfolipídeos, constituintes insaponificáveis e ácidos graxos livres naturalmente presentes no óleo ou na gordura” (BRASIL, 2005).

A maior parte dos óleos vegetais deriva de sementes ou grãos, que normalmente fornecem dois elementos importantes: ácidos graxos e proteínas de boa qualidade (GUNSTONE, 2011). Os óleos comestíveis basicamente possuem constituintes saponificáveis, como ácidos graxos livres, fosfolipídios e triacilgliceróis, e constituintes insaponificáveis, que representam apenas 0,5 a 1,5% do conteúdo total, a exemplo de hidrocarbonetos e álcoois graxos (GARCÍA, 2012).

No cenário mundial nove óleos vegetais se destacam em termos de produtividade. O óleo mais produzido mundialmente é o óleo de palma, seguido do óleo de soja, canola, girassol, palmiste, amendoim, algodão, coco e oliva. O país onde ocorre maior produção de óleos vegetais de um modo geral é a Indonésia (aproximadamente 21%) estando o Brasil em sétimo lugar (USDA, 2016).

A grande produção do óleo de palma está atrelada à sua utilização como substituto da gordura *trans* nos alimentos industrializados após os alertas sobre os malefícios da gordura *trans*. O óleo de palma foi escolhido por apresentar baixo ponto de fusão e grande resistência à oxidação devido seu grande conteúdo de ácidos graxos saturados, destacando-se o ácido palmítico, que representa em média 40% de ácidos graxos saturados totais deste óleo (SANTOS et al., 2013).

No entanto, grandes entidades vêm recomendando maior consumo de fontes poli-insaturadas, destacando-se aquelas da série n-3, fazendo com que os alimentos ricos nestes ácidos graxos estejam em crescente ascensão, destacando-se castanhas, frutos do mar e sementes oleaginosas (FLAX PRIMER, 2012). Neste contexto, sementes de linhaça e gergelim, importantes oleaginosas, podem ser utilizadas na alimentação como forma de implementar o consumo dos AGPI essenciais das séries n-6 e n-3.

2.5 Linhaça e gergelim: importantes oleaginosas

2.5.1 Linhaça

O linho (*Linum usitatissimum*) é uma planta pertencente à família das Lináceas, sendo sua semente, denominada linhaça, um cereal (monocotiledônea) do grupo das oleaginosas, que se caracteriza por ser plana e oval. Possui uma extremidade pontiaguda e coloração que varia de marrom- avermelhada a dourada (SAMMOUR, 2007). Seu tamanho supera o da semente de gergelim, medindo cerca de 2,5 x 5,0 x 1,5 mm (FREEMAN, 1995). Possui textura crocante, mastigável e de sabor agradável (CARTER, 1996).

Até a década de 90, esta oleaginosa era utilizada principalmente na fabricação de roupas e papéis, e seu óleo e outros subprodutos em rações para animais (SINGH et al., 2011).

Desde então, esta semente passou a ganhar popularidade devido aos efeitos benéficos à saúde, como diminuição do risco de câncer, principalmente de mama e próstata, ação anti-inflamatória, efeito laxativo, melhoria nos sintomas da menopausa e osteoporose, bem como efeito cardioprotetor (GOYAL et al., 2014). A composição da semente de linhaça reflete adequadamente esta descrição, visto que é rica em ácido alfa-linolênico (ALA), fitoquímicos, fibras dietéticas e proteína (FLAX PRIMER, 2012).

Na composição centesimal da semente de linhaça encontra-se cerca de 30-40% de lipídios, 20-25% de proteínas, 20-28% de fibras, 4-8% de umidade, 3-4% de cinzas (ROTHENBURG & PEREIRA, 2006).

Além disso, esta semente possui elevado teor de vitaminas, A, D, E e K (ROTHENBURG & PEREIRA, 2006), e elevado teor dos minerais Manganês e Magnésio, assim como Cobre, Ferro, Zinco e Cálcio (DOLSON, 2010).

As fibras solúveis representam 30% da fibra dietética total da linhaça, auxiliam no controle dos níveis de glicose e redução dos níveis de colesterol sanguíneo, enquanto que as fibras insolúveis promovem melhoras no sistema digestivo e previnem a constipação, especialmente devido ao aumento do bolo fecal e à redução do período de trânsito intestinal (MORRIS, 2007).

Além disso, a semente de linhaça é rica em lignanas, que têm sido referenciadas por possuírem propriedades antioxidantes (NEWAIRY & ABDOL, 2009), apesar de serem consideradas como fibras insolúveis, as ligninas vegetais são quimicamente compostos fenólicos complexos que se apresentam associados aos carboidratos das paredes celulares de plantas, proporcionando rigidez e impermeabilidade à água. Para serem biodisponíveis, as ligninas precisam estar sob forma de lignanas, que além da função antioxidante, podem agir como fitoestrógenos nas terapias de reposição hormonal (WESTCOTT & MUIR, 2010).

Verifica-se um elevado incentivo da inclusão da linhaça na dieta humana, devido seu potencial funcional ou nutracêutico, prevenindo doenças ligadas ao coração. Esta oleaginosa apresenta compostos tanto com ação antioxidante, quanto hipolipidêmica, sendo efetiva na redução do estresse oxidativo, colesterol total, LDL e triacilglicerois (PRASAD, 2014).

O maior produtor e exportador da semente de linhaça e consequentemente de seu óleo, é o Canadá, seguido de China, Estados Unidos, Índia e Rússia (FAOSTAT, 2013).

O óleo de linhaça é um dos óleos oriundos de sementes mais predominantes em clima temperado. Destaca-se pelo rico conteúdo em α -linolênico (18:3 *cis* Δ 9,12,15) (HALL et al., 2016), o qual confere a este óleo propriedades importantes para aplicação alimentícia. O óleo de linhaça pode ser obtido por prensagem a frio ou extraído por solventes, entretanto, esta última extração se aplica ao uso industrial não relacionado à alimentação, direcionado, por exemplo, à produção de tintas e vernizes. O uso do óleo de linhaça tem recebido grande atenção devido às propriedades funcionais da semente de linhaça, conforme reportadas anteriormente, apresentando benefícios à saúde (GOYAL et al., 2014).

2.5.2 Gergelim

Outra importante oleaginosa é a semente de gergelim (*Sesamum indicum* L.), uma planta pertencente à família Pedaliaceae, cultivada tanto em países tropicais quanto subtropicais, sendo a nona oleaginosa mais cultivada no mundo, com

produção mundial estimada em 2.378.000 de toneladas/ano (ARRIEL; VIEIRA; FIRMINO, 2013).

O cultivo da semente de gergelim é considerado um dos mais antigos, reportado há mais de 4000 anos na Babilônia e Assíria, onde teve seu início (BEDIGIAN; HARLAN, 1986). Seu conteúdo lipídico é de aproximadamente 50% de seu peso, bem superior ao conteúdo do óleo de soja, por exemplo, com apenas 20%, inserindo a semente de gergelim na história alimentar dos povos há pelo menos 2000 anos. Na Ásia seu óleo é utilizado como flavorizante, sendo consumido bruto. Já o processo de torrefação da semente antes da extração do óleo produz numerosos compostos aromáticos e pigmentos marrons. Os processos de extração deste óleo se assemelham a outros óleos comerciais, tornando-o muito utilizado em saladas, seja refinado ou não (WHAN et al., 2014).

Além de ser muito utilizado pela indústria alimentícia especialmente na panificação, na fabricação de biscoitos, bolos, doces e margarina, o gergelim tem grande possibilidade de exploração, visto que se acomoda às condições semi-áridas de várias partes do mundo (RESHMA et al., 2010).

A composição média da semente se destaca por conter cerca de 60% de lipídios de excelente qualidade, semelhante ao óleo de oliva (monoinsaturado), 20% de proteínas, 10% de carboidratos e fibras 10%. Além de elevadas concentrações de minerais fósforo, potássio e magnésio (IBGE, 2011).

Esta oleaginosa possui ação hipolipidêmica, que pode estar relacionada à presença da lignanas e sesamina na semente de gergelim e com capacidade de inibir a absorção de colesterol pelo intestino (TAHA et al., 2014).

O gergelim contém um potente antioxidante denominado sesamol, que conforme estudo de Sharma et al. (2012) melhorou uma série de parâmetros inflamatórios de ratos que receberam dieta para indução de síndrome metabólica, quando estes receberam 8mg/kg de sesamol. Os efeitos obtidos foram reduções dos níveis de Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS), nitrotirosina, resistência à insulina, hiperinsulinemia, hiperglicemia, dislipidemia, fator de necrose tumoral-alfa (TNF-alfa), interleucina-6 (IL-6), leptina, resistina, sensibilidade à proteína C-reativa, transaminases hepáticas e fosfatase alcalina. Além de normalizar os níveis de adiponectina, óxido nítrico, pressão arterial, enzimas antioxidantes, esteatose hepática e deterioração dos hepatócitos.

Além disso, o óleo das sementes é rico em ácidos graxos insaturados: oleico e linoleico (CARVALHO, et al., 2012). Seu óleo possui diversas funções fisiológicas, como a redução dos lipídios plasmáticos e melhorias da atividade antioxidante e biodisponibilidade de gama tocoferol, além de promover função anti-inflamatória e potencial ação estrogênica (SEDIGHEB et al., 2013).

2.6 Estabilidade oxidativa de óleos vegetais

Considerando a importância dos óleos vegetais para o consumo humano, é fundamental além de se conhecer as propriedades nutricionais dos mesmos, investigar a sua qualidade (LI et al., 2013). A suscetibilidade e resistência de um óleo a sofrer oxidação varia de acordo com seu perfil de ácidos graxos. Óleos comestíveis com grande conteúdo de ácidos graxos insaturados, especialmente poli-insaturados, são mais predispostos à oxidação (KAPICH et al., 2010; PENNISI FORELL et al., 2010). Os óleos das sementes de linhaça e gergelim apresentam elevado teor de AGPI, em torno de 50% de sua composição (GUIMARÃES et al., 2013), estando mais suscetíveis à oxidação.

A ingestão de ácidos graxos oxidados oriundos de óleos de sementes pode causar uma série de complicações metabólicas, destacando-se danos celulares, hipertrofia de fígado e rins, alteração na composição lipídica dos tecidos, lesões hepático-biliares e cardíacas, devido à absorção intestinal e incorporação destes ácidos oxidados nas lipoproteínas, exacerbando o processo de estresse oxidativo e aterosclerótico (PENUMETCHA; KHAN; PARTHASARATHY, 2000).

Tanto processos induzidos por enzimas (a exemplo de lipoxigenases, citocromo P450s e cicloxigenases) como ações não-enzimáticas resultam em reações com oxidantes e radicais livres, que podem mediar o processo de oxidação lipídica (SPICKETT; FORMAN, 2015).

O processo oxidativo de lipídios está ligado à reação do oxigênio com lipídios insaturados, levando inicialmente à formação de peróxidos. Tal processo inicia-se através da interação do lipídio insaturado com o oxigênio na presença de algum

catalisador, como calor, radiação, luz ou reações químicas com íons metálicos, por exemplo (ARAUJO, 2015).

As espécies reativas de oxigênio (ERO), compostos produzidos naturalmente durante a respiração celular, e que também podem ser radicais livres, estão relacionadas à termo-oxidação lipídica quando em interação com os ácidos graxos insaturados, envolvendo reações induzidas por oxigênio. A forma eletrônica do oxigênio é denominada de triplete ou oxigênio fundamental, considerada de menor energia. Através da interação do oxigênio triplete com ácidos graxos insaturados na presença de algum catalisador forma-se o oxigênio singleto, muito reativo e responsável pela formação de peróxidos (GONÇALVES, 2015).

Uma das maiores causas de degradação em alimentos é a auto-oxidação, caracterizada como uma reação em cadeia, através de radical livre, envolvendo as seguintes etapas: iniciação, propagação e terminação. Seu controle é alvo da indústria alimentícia, de grande interesse econômico, visando reduzir ou evitar a formação de odores desagradáveis (ranço), formação de produtos tóxicos ao organismo e perda de valor nutricional (CURI et al., 2002), de acordo com esquematização do processo na Figura 6.

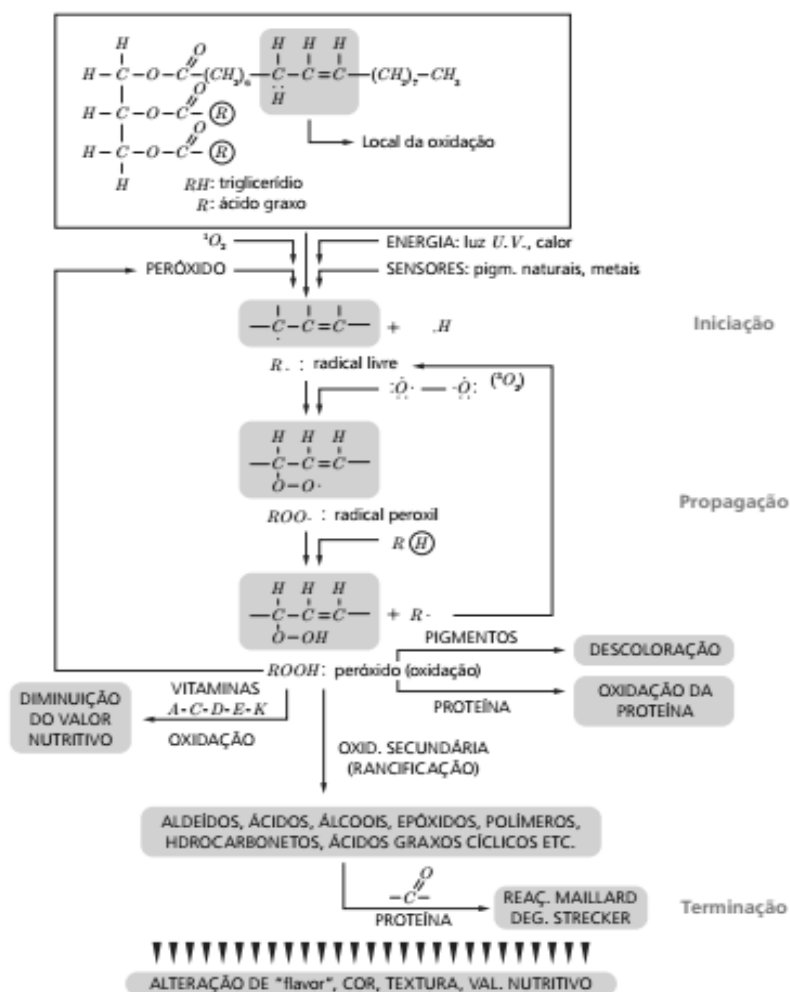


Figura 6 - Processo de oxidação lipídica e as alterações resultantes nos alimentos.

Fonte: Araújo (2004).

A rancificação é um processo comum em lipídios com ácidos graxos insaturados e susceptíveis à oxidação, degradação e polimerização por meio de radicais livres, tendo como resultado a geração de aldeídos, cetonas, álcoois, ácidos, hidrocarbonetos, e outros que também são responsáveis pelas características físico-químicas e sensoriais decorrentes da rancificação. Durante a iniciação (primeira fase) não há liberação de mau cheiro ou gosto rançoso, e ocorre a formação dos primeiros radicais livres; na propagação o cheiro e o gosto de ranço são percebidos e aumentam rapidamente, além de aumento na produção de peróxidos e seus produtos de decomposição; na terceira e última fase, a terminação, o aroma e sabor são bem fortes, além de alterações na cor e viscosidade dos lipídios, e também em sua composição (MOREIRA, 1999).

Além do processo de auto-oxidação, os lipídios podem sofrer foto-oxidação, a qual não há formação de radicais livres, sendo formados hidroperóxidos diretamente. Neste processo, a oxidação se inicia com a exposição do alimento à luz em conjunto a certas moléculas de fotossensores, a exemplo de riboflavina, mioglobina e clorofila, tendo como subproduto o peróxido. A oxidação também se dá por mecanismo enzimático, em que a lipoxigenase, presente em produtos de origem animal e vegetal, catalisa a oxigenação de importantes ácidos graxos insaturados, principalmente linoleico, linolênico e araquidônico, resultando em peróxidos ao longo do armazenamento e processamento (ARAÚJO, 2015).

A estabilidade oxidativa também sofre influência da quantidade e tipo de metais presentes no óleo (BOUAID; MARTINEZ; ARACIL, 2007). Existe a preocupação de verificar a quantidade de minerais presentes em quantidades tóxicas para a saúde dos consumidores (CINDRIC; ZEINER; STEFFA, 2007).

A presença de elementos traços como os metais ferro, cobre, manganês e níquel diminuem significativamente a estabilidade oxidativa de óleos e gorduras, ao passo que o magnésio e sódio reduzem a eficiência dos processos de hidrogenação, branqueamento e refino (CHAIYASIT et al., 2007).

Assim como existem fatores pró-oxidantes que favorecem o processo oxidativo, têm-se mecanismos de defesa denominados de antioxidantes. Os antioxidantes são capazes de agir diretamente na reação oxidativa ou impedir a ação dos agentes pró-oxidantes (GONÇALVES, 2015).

2.7 Capacidade antioxidante de óleos vegetais

Os antioxidantes naturais dos óleos vegetais apresentam bioatividade no organismo humano, e também são responsáveis por proteger os óleos da ação de radicais livres envolvidos na peroxidação lipídica (CHAIYASIT et al., 2007).

Além de serem constituídos predominantemente por triacilgliceróis, geralmente ricos em ácidos graxos poli-insaturados, e alguns lipídeos formados durante o processamento, como mono e diacilgliceróis e ácidos graxos livres, os óleos vegetais possuem pequenas quantidades de esteróis, tocoferóis, tocotrienóis,

compostos fenólicos, pigmentos (carotenoides e clorofilas) e metais de transição como ferro e cobre (CHAIYASIT et al., 2007).

A fração hidrofílica apresenta os compostos fenólicos, e a fração lipofílica apresenta os tocois, os esteróis, os carotenoides, as clorofilas e os acilglicerois (CASTELO-BRANCO; TORRES, 2011).

Os tocoferóis possuem um anel aromático substituído e uma cadeia lateral longa de isoprenoide. São considerados antioxidantes naturais, visto que o anel aromático reage com os radicais livres e os destrói, evitando dano oxidativo aos lipídios de membrana, e fazem parte de um grupo lipídico coletivo denominado vitamina E (NELSON; COX, 2014). Os tocoferóis são fabricados por síntese, e se dividem em quatro tipos de acordo com a localização dos grupos metila no anel: α , β , γ , δ (Figura 7). Sua ação antioxidante se deve principalmente à capacidade de doar seus hidrogênios fenólicos aos radicais livres lipídicos cessando a propagação em cadeia (RAMALHO; JORGE, 2006).

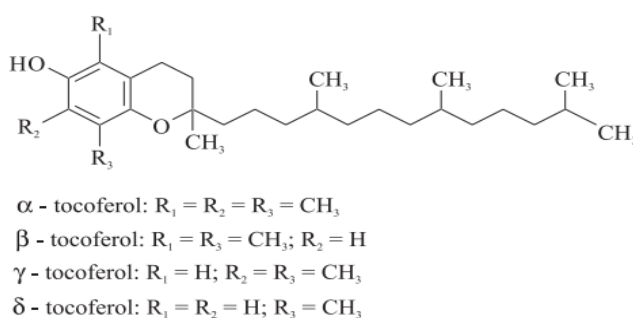


Figura 7 - Estrutura dos tocoferóis.

Fonte: Ramalho; Jorge (2006).

Já os antioxidantes fenólicos atuam sequestrando os radicais livres, e algumas vezes quelam metais (SHAHIDI; JANITHA; WANASUNDARA, 1992), atuando na etapa de iniciação e também na propagação do processo oxidativo. Os produtos intermediários resultantes desta atividade antioxidante são relativamente estáveis graças à ressonância do anel aromático exposta por estas substâncias (NAWAR, 1996).

Os pigmentos naturais presentes em óleos vegetais, carotenoides e clorofilas, conferem a cor característica dos óleos e também influenciam em sua estabilidade oxidativa quando não passam por processo de refino. Os carotenoides,

principalmente o β -caroteno, são capazes de impedir ou desacelerar a iniciação ou a propagação da oxidação em óleos por meio da inativação de oxigênio singlete e dos radicais peroxila (ROOI), respectivamente (CASTELO-BRANCO; TORRES, 2011).

Em experimento com óleo de soja exposto à luz, o β -caroteno foi capaz de reduzir a oxidação mesmo em presença de clorofilas, consideradas fotosensibilizadores que na presença de luz atua como pró-oxidante. Vale ressaltar, que embora as clorofilas apresentem ação pró-oxidante nos óleos vegetais expostos à luz, quando estes se encontram protegidos da luz, as clorofilas atuam como antioxidantes primários, desempenhando importante papel contra a oxidação em conjunto com outros antioxidantes (CHOE; MIN, 2006).

Todas as etapas envolvidas na produção de um óleo, desde o cultivo, extração, refino, transporte, distribuição, e comercialização, atuam diretamente na qualidade final do óleo (OETTERER; REGITANO-D'AECE; SPOTO, 2006).

2.8 Parâmetros de qualidade e identidade de óleos e gorduras

A identificação e avaliação de grande parte de óleos e gorduras são realizadas por meio de índices e reações de características dos mesmos. As análises normalmente utilizadas são as dos chamados índices, que expressam as propriedades físicas ou químicas dos óleos e gorduras. Deste modo são determinados os índices de iodo, saponificação e peróxidos, e outros de constantes físicas como o índice de refração. Além disso, utiliza-se de métodos de cromatografia gasosa para conhecer o conteúdo de ácidos graxos destes elementos (BRASIL, 2005).

De forma objetiva, o Índice de Iodo representa a medição de insaturação de óleos e gorduras, representado em gramas de iodo absorvido por 100,0g de amostra. Geralmente os óleos e gorduras comestíveis apresentam índice de iodo entre 65 e 130, pois acima deste valor a instabilidade oxidativa é elevada. O índice de acidez também é um parâmetro utilizado, e reflete na determinação de ácidos graxos livres, normalmente expressos em porcentagem de ácido oleico (ARAÚJO, 2015).

O índice de peróxido é utilizado para verificar se há formação de hidroperóxidos e peróxidos (FRANKEL, 2005). Tal indicador é muito sensível logo no estágio inicial de oxidação, indicando que a deterioração do sabor e odor está prestes a ocorrer, devido à formação de novos compostos de baixo peso molecular, como aldeídos, cetonas, álcoois e hidrocarbonetos (ARAÚJO, 2015). De acordo com o *Codex Alimentarius* (1999), o índice de peróxido (mEq/kg) deve ser inferior a 10 para óleos refinados e menor que 15 para óleos prensados a frio e não refinados.

Quanto ao índice de refração, este aumenta diretamente com mais insaturações e com o comprimento da cadeia dos ácidos graxos; enquanto que o índice de saponificação verifica os ácidos graxos de cadeia curta, ou seja, aumenta à medida que tem-se mais ácidos graxos de baixo peso molecular (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2005).

2.9 Técnicas ópticas para análise de óleos

Técnicas ópticas, como as de espectroscopia, têm sido muito utilizadas para caracterizar e monitorar a estabilidade e qualidade de óleos vegetais, por serem precisas e rápidas (CHIMENEZ et al., 2012). Estas técnicas de espectroscopia, quando comparadas a métodos clássicos, possuem outras importantes vantagens, como alta sensibilidade, menor consumo de reagentes e baixos limites de detecção e quantificação (OLIVEIRA, 2013).

As espectroscopias de absorção e fluorescência molecular permitem monitorar a qualidade de óleos ricos em tocoferóis, carotenóides e clorofila (OLIVEIRA, 2013). Estes compostos absorvem e emitem energia em comprimentos de ondas específicos e pré-determinados, como no caso dos α -tocoferóis em que é possível observar as emissões características na região de 325 nm, e para a clorofila na região de 650nm a 730nm. Produtos formados a partir da degradação também emitem energia em comprimentos específicos, como é o caso dos tetraenos conjugados na região de 350 nm a 500 nm, resultantes da degradação de moléculas insaturadas como linolenato de metila (VASCONCELO, 2015).

2.9.1 Espectroscopia de absorção de luz ultravioleta - visível (UV-Vis)

A técnica de absorção UV- Vis pode ser empregada para determinar a termo-degradação de óleos vegetais, mensurando através dos picos de absorção observados a formação de dienos, trienos e peróxidos em óleos, que são os resultados da oxidação (DANTAS et al., 2011).

Esta técnica consiste basicamente na atuação de um espectrofotômetro de absorção, que compara as intensidades transmitidas sob dois canais: um com a amostra e outro onde se coloca um composto de referência (CHIMENEZ, 2012).

Registra-se o espectro no ultravioleta por irradiação da amostra com luz UV de constante modificação de comprimento de onda. A energia é absorvida quando o comprimento de onda representa o nível de energia necessário para excitar um elétron para um nível maior. Tal absorção é demonstrada em um gráfico com registro do comprimento de onda (em nm) versus a absorbância, sendo que a quantidade de luz UV absorvida recebe a denominação de absortividade molar da amostra (MCMURRY, 2011).

A conjugação de duplas ligações gera uma menor diferença energética nos orbitais, deslocando o espectro característico para maiores comprimentos de onda, com aumento de aproximadamente 30 nm para cada dupla ligação adicional (CHIMENEZ, 2012).

2.9.2 Espectroscopia de fluorescência

Esta análise representa a emissão de radiação eletromagnética oriunda de moléculas que foram excitadas. Tal fenômeno é conhecido como fotoluminescência, quando a ocorre a excitação da molécula pela elevação de elétrons de valência de menor energia para outro orbital mais energético devido à absorção de fótons de luz (SILVA, 2014).

A fluorescência permite determinar uma grande variedade de espécies orgânicas e inorgânicas, ocorrendo em sistemas químicos gasosos, líquidos e sólidos que podem ser simples ou complexos (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).

As medidas de luminescência são especificamente mais sensíveis do que as medidas de absorção. No entanto, o espectro de excitação se assemelha muito ao espectro de absorção, visto que quanto maior a absorbância no comprimento de onda de excitação (ou seja, quando absorve luz), mais moléculas são estimuladas para o estado excitado e conseqüentemente mais emissão será notada (HARRIS, 2013).

De forma objetiva a luminescência é dividida em fluorescência e fosforescência, a depender da natureza do estado excitado envolvido no processo. Caso o estado excitado seja singleto, cujo spin do elétron no orbital excitado mantém sua orientação original, tem-se a fluorescência. Já quando a orientação do elétron é invertida para o estado excitado tripleto este processo é denominado de fosforescência. A fluorescência é um fenômeno inerentemente mais comum que a fosforescência (SILVA, 2014).

2.10 Estabilidade oxidativa: método de Rancimat

Alternativamente, tem-se o método de Rancimat proposto por Hardon e Zurcher (1974), que mostra o intervalo de tempo necessário para atingir o grau de oxidação do óleo quando esta aumenta abruptamente. Este tempo é denominado Período de Indução (PI) e é expresso em horas.

Esta técnica é utilizada na determinação da estabilidade oxidativa, através do monitoramento da rancidez de óleos vegetais. Consiste no aumento da condutividade de água deionizada, responsável por reter ácidos voláteis liberados durante o processo oxidativo, tendo como temperatura padrão 110 °C por no mínimo 6 horas, conforme padrão europeu estabelecido EN14112 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003).

Desta forma é importante monitorar a estabilidade oxidativa de fontes vegetais de lipídeos, como os óleos de gergelim e linhaça, duas fontes lipídicas poli-

insaturadas amplamente consumidas na alimentação com a finalidade de obter efeitos benéficos à saúde, e aliar um experimento in vivo com o intuito de analisar parâmetros morfométricos e bioquímicos, para que posteriormente possa-se extrapolar em pesquisa envolvendo humanos. A qualidade e estabilidade de um óleo são de extrema importância para a saúde, pois somente assim têm-se os constituintes antioxidantes e ácidos graxos poli-insaturados mantidos, evitando também danos celulares por processos oxidativos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

Caracterizar os óleos de linhaça e gergelim através de seu comportamento óptico, bem como seu perfil de ácidos graxos e minerais, e seu impacto em parâmetros metabólicos de ratos *wistar*.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar o perfil de ácidos graxos e de minerais nos óleos de linhaça e gergelim;
- Caracterizar os óleos de linhaça e gergelim em relação à sua qualidade e identidade;
- Avaliar a estabilidade oxidativa dos óleos de linhaça e gergelim através de suas propriedades ópticas e pelo método de Rancimat;
- Verificar o impacto destes óleos nos exames bioquímicos de colesterol total e frações, triacilglicerois e glicemia de animais quando inseridos em sua dieta;
- Analisar a influência da inserção destes óleos no peso e crescimento dos animais através de parâmetros morfométricos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima

Utilizaram-se óleos de linhaça dourada e gergelim prensados a frio adquiridos da Pazze Indústria de Alimentos, localizada em Panambi, Rio Grande do Sul, Brasil, para caracterização e inserção nas dietas experimentais. Além de banha de porco Frimesa® para elaboração da dieta do grupo controle com gordura animal.

4.1.1 Perfil de ácidos graxos dos óleos de linhaça e gergelim

Para determinar a composição de ácidos graxos das dietas, seu conteúdo lipídico foi extraído com mistura de solventes contendo a relação 2:1:0,8 de metanol: clorofórmio: água destilada, de acordo com extração à frio pelo método de Bligh and Dyer (BRASIL, 2005). Os óleos das dietas e a matéria-prima utilizada - óleos de linhaça e gergelim - foram saponificados, esterificados e transferidos para hexano. Utilizou-se cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama (Marca Agilent Technologies, modelo 6890 N) nas seguintes condições: temperatura do injetor de 225 °C; temperatura do detector de 285 °C; temperatura da coluna (HP-88 100 m x 0,250 mm) de 160 °C inicial por 3 minutos, rampa de 3 °C/min até 190 °C por 6 minutos e rampa de 6 °C/min até temperatura final de 230 °C por 12 minutos, totalizando 37,67 minutos de corrida, razão de split 100:1, fluxo de gás hidrogênio 40 mL/min, fluxo de ar sintético 450 mL/min, fluxo de gás hélio 40 mL/min e volume de injeção 1 µL.

Os picos de ácidos graxos foram identificados através da comparação do tempo de retenção relativo dos picos existentes na amostra com o tempo de retenção relativo dos ésteres metílicos de ácidos graxos de padrão mix (Supelco FAME C8-C22, 99 % de pureza). O tempo de retenção relativo foi calculado através da contaminação das amostras e do padrão mix com um padrão interno

(Undecanoato de Metila). A proporção dos ésteres metílicos foi determinada através da integração das áreas dos picos.

4.1.2 Perfil de minerais do óleo de gergelim e linhaça: Espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES)

As amostras foram pesadas e digeridas em mistura de $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$. O preparo das amostras seguiu as seguintes etapas: pesou-se 0,5g de amostras adicionadas de 5,0 ml de HNO_3 (65% Merck) e 3,0 ml de H_2O_2 (35% Merck Mellipore) no sistema de digestão de micro-ondas Speedwave®, Berghof, Alemanha. Após o processo de digestão as amostras foram diluídas em 100 ml de água ultra pura, visto que a concentração ácida final das amostras foi bastante elevada (4% HNO_3).

Nesta pesquisa, a concentração dos elementos (K, Ca, Na, P, Mg, Fe, Si, Mo, Mn, Z, Cr, e Cu) foi determinada pela técnica ICP-OES (Thermo Scientific - iCAP 6000 Series). As concentrações dos diferentes elementos foram determinadas utilizando o padrão de curvas de calibração obtido do padrão de soluções destes elementos (Merck). As análises de cada amostra foram realizadas em triplicata.

4.1.3 Análises de qualidade e identidade dos óleos

O índice de refração foi obtido através do refratômetro de Abbé calibrado com água destilada, cujo índice de refração é 1,3330, a 20 °C. A determinação do índice de peróxido foi realizada com solução ácido acético-clorofórmio e iodeto de potássio, com posterior repouso ao abrigo de luz, titulação com solução tiossulfato de sódio a 0,01N e adição de amido solúvel como indicador para observar alteração de cor. Para obtenção do índice de iodo, os óleos foram introduzidos em erlenmeyers com tetracloreto de carbono e solução de Wijs, além de tiossulfato de sódio para titulação até mudança de cor do preto ao rosado. O índice de saponificação foi determinado

com adição de hidróxido de potássio e fenolftaleína às amostras, com titulação de ácido clorídrico até o desaparecimento da cor rosa. Também realizou-se análise para índice de acidez, através de adição de solução éter-álcool, indicador fenolftaleína e titulação com hidróxido de sódio até surgimento da coloração rósea. Todas as análises foram realizadas em triplicata seguindo o proposto pela *Association Of Official Analytical Chemists* (ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2005).

4.1.4 Espectroscopia dos óleos: absorção na região UV-Vis e fluorescência

Os dados de absorção UV-Vis foram obtidos através de espectrofotômetro (Varian, Cary-50) e uma célula quartz com 10 mm de comprimento. Este espectrofotômetro possui como fonte de excitação uma lâmpada pulsante de xenônio, um monocromador Czerny-Turner (0,25 m) e um detector diodo Si. Os óleos foram diluídos em hexano (Panreac, grau espectroscópico 99,9%) a 0.1g.L^{-1} , e absorção espectra UV-Vis obtida entre 220 e 420 nm. Todas as mensurações foram realizadas em temperatura ambiente.

As medições de fluorescência dos óleos foram analisadas com fluorômetro (Varian, Cary Eclipse), composto por uma lâmpada pulsante de xenônio (80 Hz) como fonte de excitação, dois monocromadores, sendo um para excitação com seleção de comprimento de onda e o outro para emissão do comprimento de onda, e a um tubo fotomultiplicador (R928) para detecção de sinal de fluorescência. O mapa de contorno de fluorescência dos óleos foi obtido por excitação entre 300 e 650 nm, enquanto que a emissão coletada entre 350 e 750 nm. O suporte de amostras foi uma curvete de quartzo com comprimento de percurso de 10 mm com quatro lados polidos. Todas as medições foram efetuadas à temperatura ambiente.

4.1.5 Estabilidade oxidativa: Rancimat

A estabilidade oxidativa foi determinada pelo método de Rancimat EN 14112 utilizando o instrumento de Rancimat (modelo 893, Professional Biodiesel Rancimat). O período de indução (PI) foi determinado quando 3,0 g de amostra do óleo foi colocado em taxa de fluxo contínuo (10 L h^{-1}) a temperatura constante (110°C) (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003).

4.2 Experimento animal

4.2.1 Animais

O presente estudo foi desenvolvido de acordo com as regulamentações e guias éticos, e também aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFMS sob o número de protocolo 681/2015 (ANEXO A). Tal aprovação é fundamental dentro de princípios internacionais, como o *International Principles for Biomedical Research Involving Animals* (CIOMS), Geneva, 1985 e *Universal Declaration of Animal Rights* (UNESCO) - Bruxelas, Bélgica, 1978.

Cinquenta e seis ratos Wistar (*Rattus norvegicus*) jovens (21 dias de vida) pesando $66,87 \pm 6,36\text{g}$ foram utilizados durante o experimento em ambiente controlado (temperatura controlada a $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$) mantido sob ciclo de 12 horas luz/escuro, alimentação e ingestão hídrica *ad libitum*.

4.2.2 Delineamento

Os animais foram distribuídos de forma randomizada em três grupos experimentais e um grupo controle, variando somente a fonte lipídica (OL para óleo

de linhaça; OG para óleo de gergelim; OLG para óleo de linhaça e óleo de gergelim) e o grupo controle com gordura animal (GC). Todos os grupos receberam formulações de dieta de acordo com o *American Institute of Nutrition* (AIN) (REEVES; NIELSEN; FAHEY, 1993), modificadas somente as fontes lipídicas durante 60 dias de tratamento.

Grupo GC: Gordura animal (Controle);

Grupo OL: Óleo de linhaça;

Grupo OG: Óleo de gergelim;

Grupo OLG: 50% de óleo de linhaça + 50% de óleo de gergelim;

Em relação aos parâmetros morfométricos, para obtenção do peso corporal os animais foram pesados duas vezes por semana, enquanto que a avaliação do consumo alimentar dos animais foi realizada por gramas de ração/dia. Utilizou-se a quantidade restante de alimento em cada gaiola pela diferença de peso da ração oferecida no dia anterior por animal.

4.2.3 Eutanásia

Ao final do experimento, os animais foram anestesiados com isoflurano (anestésico inalatório) e posterior eutanásia por exsanguinação e confirmação de morte em câmara de gás carbônico.

Além disso, após a eutanásia, as gorduras viscerais (epididimal, mesentérica, retroperitoneal e omental) (CHAU et al., 2014) foram pesadas em balança eletrônica semianalítica (Bel Diagnóstica®) e os valores expressos em gramas. Tais valores também foram utilizados para o cálculo de índice de adiposidade de acordo com a seguinte fórmula (Equação 1) (TAYLOR; PHILLIPS, 1996):

$$\text{Equação 1: } \frac{\text{Soma do peso dos sítios de gorduras brancas}}{\text{Peso final corporal}} \times 100$$

4.2.4 Exames bioquímicos

As amostras de sangue foram coletadas e centrifugadas para obter as frações séricas e determinar os níveis de triacilglicerois, colesterol total, LDL, HDL, VLDL, não-HDL e glicose sanguínea. O colesterol total e suas frações, bem como triacilglicerois e glicose foram determinadas através de método enzimático-colorimétrico com kits específicos e medições de espectrofotometria (HAGEN & HAGEN, 1962; FLEG, 1973; CAREY, FELBRUEGGE & WESTGARD, 1974).

4.3 Análise estatística

Os dados foram expressos em média e desvio padrão da média (DP). Os resultados foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade e análises paramétricas através de ANOVA de uma via seguido de teste de Bonferroni para *post hoc*. O teste *T-Student* foi usado quando necessário. Todos os grupos foram comparados. Utilizou-se $p < 0,05$ como significância estatística entre os grupos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do óleo de linhaça e gergelim: perfil de ácidos graxos

A tabela 1 apresenta o perfil de ácidos graxos das matérias-primas utilizadas, óleo de gergelim e óleo de linhaça, bem como o perfil das dietas elaboradas com estas fontes e com gordura animal.

Em relação às dietas elaboradas e aos óleos vegetais, a dieta do grupo controle (GC), cuja fonte lipídica é a gordura animal (banha de porco), apresentou maior quantidade de ácidos graxos saturados (37,08 %), sendo o ácido palmítico (C 16:0) o mais predominante. O conteúdo total de ácidos graxos monoinsaturados também se mostrou superior na dieta do grupo controle, destacando-se o conteúdo de ácidos graxos n-9 (oleico).

Quanto ao total de ácidos graxos poli-insaturados, destacam-se o óleo de linhaça e a dieta do grupo OL, cuja fonte lipídica foi óleo de linhaça, em que o teor de ácidos graxos da série n-3 é o maior dentre os demais grupos. O óleo de gergelim, bem como a dieta OG, apresentou maior teor de ácidos graxos linoleicos da série n-6.

Os conteúdos de ácidos graxos oleico, linoleico e linolênico no óleo de linhaça em nosso trabalho, são semelhantes ao encontrado por outros dois estudos com óleo prensado a frio, cujos valores foram de aproximadamente 20%, 15% e 50% respectivamente. O mesmo foi observado para o óleo de gergelim também prensado a frio, cujos valores apresentados por Ribeiro et al. (2016) foram aproximadamente 37%, 43% e 3% respectivamente, similares aos reportados neste trabalho (Tabela 1).

Tabela 1 - Perfil de ácidos graxos (%) dos óleos de gergelim e linhaça, e das dietas elaboradas.

Ácidos graxos	GC	OG	OL	OGL	Óleo de gergelim	Óleo de linhaça
Saturados (AGS)						
Cáprico, C10:0	0,15±0,02	—	—	—	—	—
Láurico, C12:0	0,30±0,04	—	0,12±0,01	—	—	—
Mirístico, C14:0	1,53±0,15	0,24±0,01	0,24±0,01	0,26±0,03	—	—
Palmítico, C16:0	23,12±0,96	13,03±0,05	6,20±0,12	9,78±0,50	12,12±0,44	5,80±0,15
Ácido heptadecanóico, C17:0	0,38±0,01	—	—	—	—	—
Esteárico, C18:0	11,32±0,04	3,31±0,03	3,21±0,03	3,44±0,07	3,43±0,07	3,76±0,09
Araquídico, C20:0	0,24±0,01	0,64±0,15	0,10±0,00	0,35±0,02	0,61±0,04	0,20±0,03
Behênico, C22:0	0,14±0,02	0,13±0,00	0,13±0,01	0,22±0,05	0,21±0,02	0,16±0,01
TOTAL AGS	37,18	17,35	10,00	14,04	16,37	9,92
Monoinsaturados (AGMI)						
Palmitoleico, C16:1	1,86±0,09	0,24±0,00	0,11±0,00	0,27±0,02	0,20±0,01	0,28±0,01
Ácido elaídico (<i>trans</i>), C18:1	0,19±0,04	—	—	—	—	—
Oleico, C18:1 (ω 9)	35,53±0,49	32,61±0,08	16,32±0,05	25,92±0,17	33,43±0,30	20,84±0,32
Cis-11-eicosênico, C20:1	0,80±0,04	0,25±0,01	0,16±0,04	0,21±0,01	0,26±0,03	0,23±0,03
Erúcido, C22:1	0,27±0,01	—	—	—	—	—
TOTAL AGMI	38,65	33,29	16,85	26,40	34,35	21,34
Poli-insaturados (AGPI)						
Linoleico, C18:2 (ω 6)	16,37±0,12	43,89±0,18	15,68±0,01	30,74±0,02	43,58±0,02	17,37±0,14
Linolênico, C18:3 (ω 3)	1,07±0,05	1,08±0,00	51,89±0,14	23,38±0,11	1,84±0,02	46,41±0,16
TOTAL AGPI	17,44	44,96	67,57	54,12	45,42	63,78

Nota: As médias foram determinadas em duplicata. Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão. GC: grupo controle (gordura animal); OG: óleo de gergelim; OL: óleo de linhaça; OGL: óleo de gergelim + óleo de linhaça.

Em outro estudo de Guimarães et al. (2013) com óleo de linhaça e gergelim extraídos a quente por Soxhlet, o percentual de ácidos graxos insaturados foi inferior ao encontrado no presente trabalho, principalmente para o ácido graxo linoleico reportado, segundo os autores com $28,35 \pm 0,46$ % para linhaça e $12,25 \pm 0,05$ % para o óleo de gergelim. Os ácidos graxos linolênicos também apresentam valores inferiores para o óleo de linhaça e gergelim, com $39,90 \pm 0,14$ % e $0,29 \pm 0,01$ %, respectivamente, demonstrando que óleos extraídos a frio são as melhores opções para consumo quando o objetivo é a manutenção dos níveis de AGPI das séries n-3 e n-6.

5.2 Perfil de minerais no óleo de gergelim e linhaça

Os elementos Alumínio, Ferro, Potássio, Sódio e Fósforo apresentam-se em maiores concentrações no óleo de gergelim, enquanto que Silício, Níquel, Cálcio e Zinco encontram-se em maiores quantidades no óleo de linhaça, sendo que este último mineral foi detectado somente no óleo de linhaça. O elemento-traço em maior quantidade nos dois óleos é o Fósforo (Tabela 2).

Tabela 2 - Conteúdo de minerais presentes no óleo de gergelim e linhaça (mg/kg).

Minerais	Óleo de gergelim	Óleo de linhaça
Alumínio	0,0832	0,0196
Cádmio	0,0002	0,0002
Cromo	0,0077	0,0075
Molibdênio	0,0281	0,0282
Silício	0,0349	0,0375
Cobalto	0,0011	0,0014
Ferro	0,0303	0,0145
Magnésio	Nd	Nd
Manganês	0,0027	0,0023

Níquel	0,0234	0,0263
Berílio	0,0003	0,0004
Cálcio	0,0615	0,1617
Potássio	0,0903	0,0579
Sódio	0,8839	0,7747
Fósforo	30,015	29,822
Cobre	0,0038	0,0039
Zinco	Nd	0,0032

Nota: Os elementos cujos valores não foram detectados são apresentados como Nd.

Considerando a análise de conteúdo dos elementos-traços destes óleos, os metais de transição Ferro e Cobre, que mais interferem no processo oxidativo de óleos, apresentam-se dentro dos limites estipulados para óleos vegetais de no máximo 0,1 e 0,02 mg/kg, respectivamente. Enquanto que no caso do Manganês e Níquel, outros minerais importantes na estabilidade oxidativa (CHAIYASIT et al., 2007), apenas o Níquel esteve um pouco acima do valor encontrado no óleo de linhaça.

5.3 Espectroscopia de absorção na região UV-Vis do óleo de gergelim e linhaça

A Figura 8 mostra os espectros de absorção molecular dos óleos de linhaça e gergelim numa concentração de 0,1 g L⁻¹ quando diluídos em hexano. Como observado, ambos os óleos apresentam uma absorção na região do UV com bandas entre 220 e 320 nm.

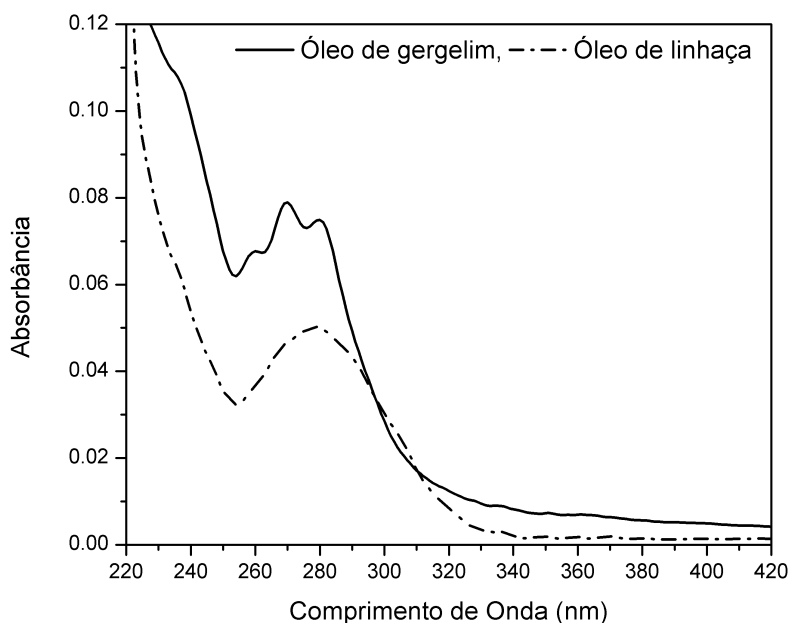


Figura 8 - Absorção espectroscópica molecular do óleo de gergelim e linhaça diluídos em hexano a 0,1 g L⁻¹, obtidos entre 220-420 nm em temperatura ambiente.

A análise de absorbância molecular dos óleos vegetais também expressa os tipos de ácidos graxos insaturados presentes, destacando-se os ácidos graxos oleico e linoleico, principais responsáveis pela banda larga de absorção com máximo em torno de 280 nm (MAGALHÃES et al., 2014). Além dos ácidos graxos insaturados, a absorção molecular de óleos vegetais entre 225 e 350 nm também tem a contribuição dos tocoferóis (ALBUQUERQUE, 2005), destacando-se o óleo de gergelim, o qual conforme trabalho anterior apresenta valores significativos de γ -tocoferol que variam de 56,9 a 99,3 mg.kg⁻¹, seguidos de δ -tocoferol (0,44 a 3,05 mg.kg⁻¹) e α -tocoferol (0,034 a 0,175 mg.kg⁻¹) (WILLIAMSON et al., 2008).

5.4 Espectroscopia de fluorescência do óleo de gergelim e linhaça

Quanto aos resultados de fluorescência, como mostrado na Figura 9, o mapa de contorno do óleo de linhaça destaca a emissão dos carotenoides que florescem entre 500 e 650 nm quando excitados entre 300 e 420 nm, e das clorofilas que

emitem em torno de 670 nm. Na emissão do óleo de gergelim, assim como o observado para a linhaça, é possível notar a emissão das clorofilas.

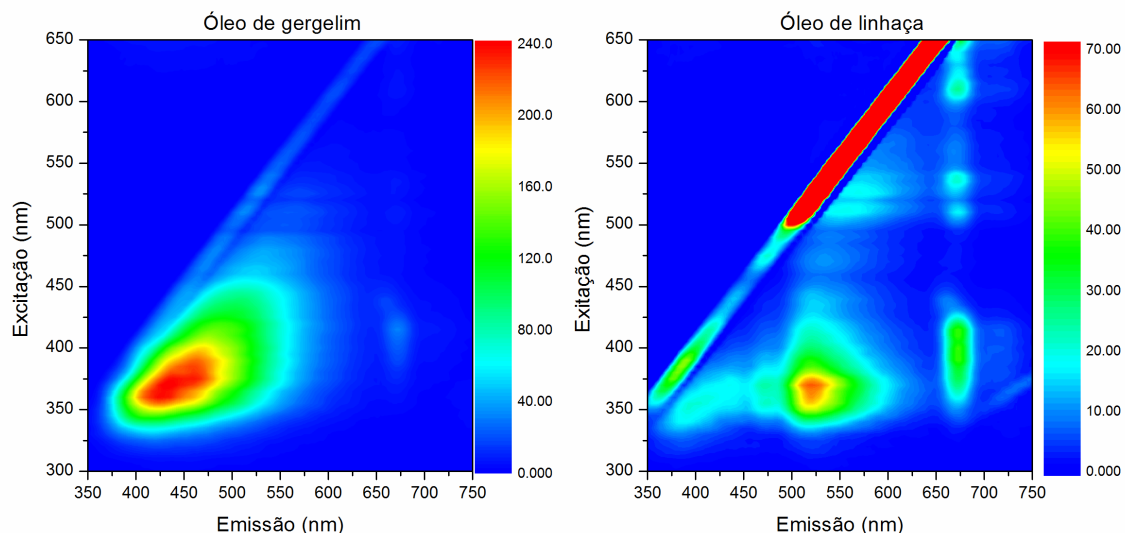


Figura 9 - Mapa de excitação-emissão do óleo de gergelim e linhaça obtido quando excitados entre 300 e 650 nm e coletados entre a faixa de emissão de 350 e 750 nm.

A espectroscopia de fluorescência apresenta a emissão de alguns antioxidantes no óleo de linhaça, no caso carotenoides e também clorofila, todavia, apesar da emissão de antioxidantes naturais neste óleo, verificou-se menor estabilidade oxidativa quando comparado ao óleo de gergelim, visto que o óleo de linhaça apresenta maior teor de ácidos graxos linolênicos. Estes ácidos têm como subprodutos de sua degradação os tetraenos conjugados, que possuem um máximo de fluorescência em torno 420 nm. Além disso, quanto maior o número de duplas ligações maior a suscetibilidade à oxidação (MAGALHÃES et al., 2014).

5.5 Qualidade e identidade dos óleos de gergelim e linhaça

A estabilidade de óleos também pode ser obtida através de dados para qualidade e identidade dos mesmos (Tabela 3), como através da concentração de

hidroperóxidos e peróxidos formados, podendo-se utilizar para este fim o índice de peróxido, cujo valor apresentou-se superior no óleo de gergelim ($P < 0.05$). Ambos os óleos apresentam índice de peróxido dentro do preconizado, que deve ser inferior a 15 meq/kg para óleos brutos extraídos por prensa (CODEX ALIMENTARIUS, 1999), demonstrando que não estavam em processo de oxidação.

Tabela 3 - Índices de qualidade e identidade do óleo de gergelim e linhaça.

Índices	Óleo de gergelim	Óleo de linhaça
Índice de Peróxido (meq kg ⁻¹)	6,62±0,35*	2,11±0,17
Índice de Acidez em Ácido Oleico (mg KOH.g ⁻¹)	3,93±0,01*	4,53±0,01
Índice de Saponificação (mg KOH.g ⁻¹)	166,38±1,30	163,75±0,70
Índice de Refração a 20°C	1,474±0,01	1,484±0,01
Índice de Iodo (g I ₂ . 100 ⁻¹ g)	112,20±3,49*	173,71±5,45

Valores expressos em média ± desvio padrão. * $p < 0,05$ indica diferença estatística entre os elementos de mesma linha (Teste t- Student).

O índice de acidez e de iodo foram maiores no óleo de linhaça ($P < 0.05$). Demais índices também são utilizados para complementar as análises de qualidade e identidade de óleos e gorduras, sendo o índice de iodo realizado para determinar o grau de instauração presente (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2005). Em nosso estudo, este índice apresenta-se semelhante ao encontrado por Isiuku e Ibemesi (2015) de 175 % para o óleo de linhaça. Em virtude do maior número de insaturações, o óleo de linhaça possui maior índice de iodo quando comparado ao óleo de gergelim, conforme apresentado na Tabela 3 ($p < 0,05$).

Valores igualmente maiores foram observados para o óleo de linhaça nos índices de acidez ($p < 0,05$), cujos resultados são influenciados diretamente pelo número de ácidos graxos livres, insaturações e comprimento das cadeias de ácidos graxos (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2005). Em contrapartida, o índice de saponificação foi maior no óleo de gergelim, visto que este

índice aumenta à medida que se tem mais ácidos graxos de cadeia curta (O'BRIEN, 2009).

5.6 Estabilidade oxidativa dos óleos: método de Rancimat

Complementar a essas análises, o método de Rancimat é utilizado para averiguar a estabilidade oxidativa de um óleo a partir da determinação do Período de Indução (PI). Os resultados demonstraram que o óleo de linhaça é mais suscetível à oxidação, apresentando um PI de 1,95 h, enquanto o PI do óleo de gergelim é de 4,88 h. É importante ressaltar que o PI foi determinado através do ponto de inflexão da segunda derivada das curvas de condutividade elétrica em função do tempo, mostrada na Figura 10.

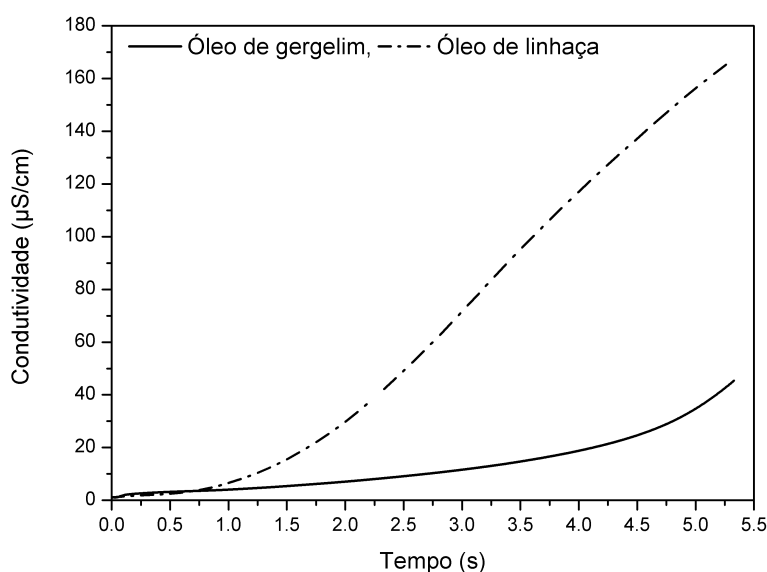


Figura 10 - Condutividade elétrica versus tempo determinado pelo método de Rancimat quando 3,0 g de óleo é submetido a uma taxa de fluxo constante (10 L h^{-1}) a uma temperatura constante (110°C).

Tais resultados mostram que o óleo de gergelim é mais estável que o óleo de linhaça devido ao menor período de indução deste. A suscetibilidade de um óleo ao

processo de oxidação está intrinsecamente relacionada com o teor de ácidos graxos insaturados, em especial os poli-insaturados, ficando evidente a maior estabilidade oxidativa observada para o gergelim, visto que a linhaça possui um perfil de ácidos graxos poli-insaturados (63,78 %) superior ao de gergelim (45,42 %), conforme Tabela 1.

O óleo de gergelim apresenta vários constituintes secundários, porém, muito importantes e com ação antioxidante, como o sesamol, sesamina e sesamolina, que conferem estabilidade química elevada e maior resistência à oxidação do óleo de gergelim quando comparado a outros óleos vegetais (BELTRÃO; FREIRE; LIMA, 1994; FIRMINO, 1996). A estabilidade oxidativa de óleos vegetais é fundamental para a saúde de quem irá consumi-los, visto que o processo oxidativo contribui para o desencadeamento de uma série de doenças degenerativas, incluindo aterosclerose, câncer, infarto, asma, doença cardiovascular, artrite, hepatites, catarata e outros danos de retina, contribuindo também para o envelhecimento celular (BARTOSZ; KOŁAKOWSKA, 2011).

5.7 Experimento Animal

Considerando o elevado teor de AGPI essenciais e a tendência de se utilizar mais fontes destes ácidos graxos em substituição às gorduras saturadas, verificou-se também neste estudo o efeito do consumo dos óleos de linhaça e gergelim em parâmetros morfométricos e bioquímicos de ratos *wistar* quando comparados à gordura animal (banha de porco), fonte de gordura saturada.

Parâmetros morfométricos de ingestão alimentar, peso corporal, sítios de gorduras e índice de adiposidade (IA), bem como níveis séricos de colesterol total, HDL, não-HDL, LDL, VLDL, triacilgliceróis e glicose dos ratos foram determinados após 60 dias de tratamento com as dietas.

O peso corporal final (Gráfico 1) foi menor nos grupos que receberam óleo de linhaça na composição de suas rações (OL e OGL) ($p < 0,05$), inferindo que a presença de AGPI essenciais, principalmente da série n-3, desempenhou efeito positivo nesta redução de peso corpóreo ao final do experimento.

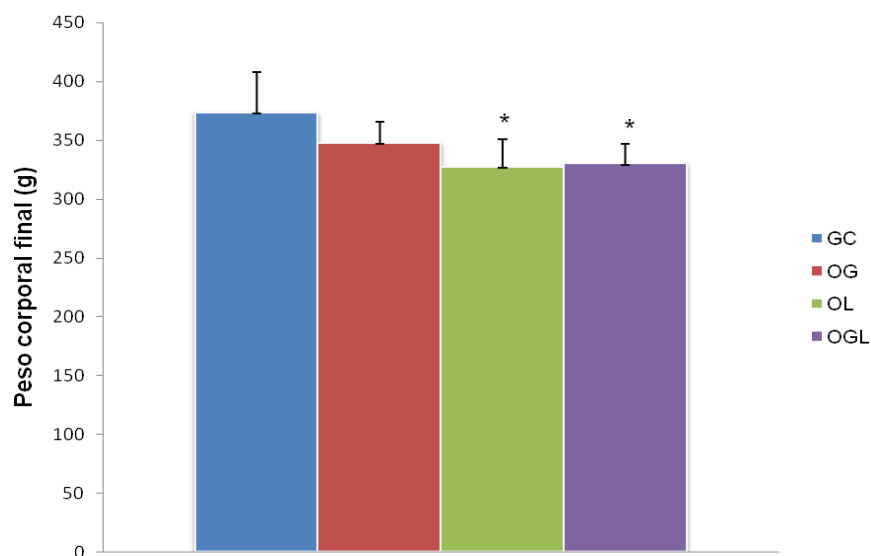


Gráfico 1 - Peso corporal final (g) dos animais após 60 dias de experimento. Valores com asterisco (*) representam diferença estatística ($p < 0,05$) quando comparados ao grupo controle (GC) pelo teste ANOVA de uma via seguido de post test Bonferroni. GC: grupo controle (gordura animal); OG: óleo de gergelim; OL: óleo de linhaça; OGL: óleo de gergelim + óleo de linhaça.

A ingestão alimentar dos animais que receberam o óleo de linhaça e/ou gergelim não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) em relação ao grupo controle (GC) que recebeu gordura animal em sua dieta, demonstrando que não houve influência na fome e/ou saciedade destes animais, conforme tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros morfométricos de ingestão alimentar (g/dia), peso das gorduras viscerais (g) e índice de adiposidade (%) dos animais após 60 dias de tratamento.

Parâmetros	GC	OG	OL	OGL
Ingestão alimentar	17,96±2,70	17,24±2,86	15,71±2,30	15,93±3,58
Gordura Epididimal	8,57±1,92	6,25±1,59*	4,52±1,03*	4,69±1,24*
Gordura Mesentérica	5,51±1,42	4,02±0,94*	3,56±0,90*	3,02±0,63*
Gordura Retroperitoneal	8,35±2,09	5,97±1,59*	4,55±0,96*	4,94±1,78*
Gordura Omental	0,34±0,15	0,39±0,10	0,30±0,14	0,45±0,10
Índice de adiposidade	6,10±1,30	4,75±0,98*	3,92±0,62*	3,94±0,89*

Valores com asterisco (*) apresentam diferença estatística ($p<0,05$) quando comparados ao grupo controle (GC) pelo teste ANOVA de uma via seguido de *post test* Bonferroni. GC: grupo controle (gordura animal); OG: óleo de gergelim; OL: óleo de linhaça; OGL: óleo de gergelim + óleo de linhaça.

Os pesos das principais gorduras viscerais (Tabela 4), epididimal, mesentérica e retroperitoneal, foram menores em OG, OL e OGL ($p<0,05$), e consequentemente menor índice de adiposidade (IA) ($p<0,05$), refletindo possível ação benéfica dos ácidos graxos de cadeia longa na composição do tecido adiposo. O IA aumentado no GC aponta maior quantidade de tecido adiposo branco visceral nestes animais. Tal tecido é tido como importante desencadeador de processos pró-inflamatórios e resistência à insulina (TRAYHURN; BING; WOOD, 2006), o que pode ter contribuído para os níveis igualmente aumentados de glicemia neste grupo ($p<0,05$).

Quanto aos parâmetros bioquímicos (Tabela 5), os grupos OL e OLG apresentaram menores valores para colesterol total, VLDL e triacilgliceróis. Os menores níveis de colesterol total podem ser justificados pela presença AGPI, visto que a maior presença de insaturações nestas fontes dietéticas atua na fluidez das membranas, diminuindo a interação fosfolípídio-colesterol, sendo um fator protetor na homeostase do colesterol (NIU; MITCHELL; LITMAN, 2005).

Tabela 5 - Parâmetros bioquímicos dos animais após 60 dias de tratamento com dietas contendo óleo de gergelim e óleo de linhaça quando comparados ao grupo controle com gordura animal.

Parâmetros	GC	OG	OL	OGL
Colesterol Total (mgdL ⁻¹)	93,0±12,7 ^a	87,9 ±6,8 ^a	67,1 ±6,0 ^b	65,8±7,6 ^b
HDL (mgdL ⁻¹)	53,0 ± 9,5 ^a	47,8 ± 4,9 ^a	30,9 ± 3,3 ^b	40,4±11,5 ^b
LDL (mgdL ⁻¹)	19,6±5,4 ^a	22,4±4,1 ^a	20,8±2,6 ^a	9,9±7,0 ^b
Não-HDL (mgdL ⁻¹)	40,0±3,9 ^a	40,1±2,8 ^a	36,7±3,1 ^a	25,4±6,9 ^b
VLDL (mgdL ⁻¹)	20,4 ± 3,7 ^a	17,7 ± 2,9 ^a	16,0 ± 1,6 ^b	15,4±1,2 ^b
Triacilgliceróis (mgdL ⁻¹)	101,9 ± 18,4 ^a	88,6 ± 14,5 ^a	79,8 ± 7,8 ^b	77,2±6,0 ^b
Glicose (mgdL ⁻¹)	270,9 ± 43,3 ^a	215,9 ± 38,1 ^b	200,6 ± 32,1 ^b	184,3±44,0 ^b

Nota: Valores expressos em média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística entre o grupo controle e os demais grupos. $p < 0,05$ pelo ANOVA de uma via com *post test* Bonferroni. GC: grupo controle (gordura animal); OG: óleo de gergelim; OL: óleo de linhaça; OGL: óleo de gergelim + óleo de linhaça.

As demais reduções observadas nos grupos OL e OLG, como de triacilgliceróis e VLDL, também se devem à presença de AGPI, especialmente da série n-3, que resultam de uma série de ações anti-inflamatórias destes ácidos graxos, como inibição de vias de sinalização inflamatórias (atividade de fator nuclear- κ B) e menor expressão gênica responsável pela síntese de ácidos graxos (Proteína de Ligação a Elemento Regulador de Esterol-1), desempenhando efeitos cardioprotetores (ADKINS; KELLEY, 2010).

Em relação aos níveis de HDL, houve uma diminuição significativa nos grupos OL e OGL ($p < 0,05$) em relação aos demais. Os níveis mais elevados de HDL em GC e OG podem estar associados aos valores para colesterol total e frações igualmente aumentados nestes grupos. Um estudo anterior também observou redução do HDL após uma dieta rica em AGPI, entretanto, apesar destes níveis reduzidos observou-se que a capacidade de remover o colesterol das células não foi significativamente afetada, demonstrando que não houve prejuízo da função do HDL, mesmo com níveis plasmáticos reduzidos (KRALOVA LESNA et al., 2008). Além disso, deve-se ressaltar que o HDL não é influenciado somente pela dieta, mas também por outros fatores importantes, genéticos ou ambientais, como o exercício físico (LU et al., 2008).

A associação das duas fontes de AGPI essenciais, das séries n-6 e n-3 no grupo OGL, reduziu ($p < 0,05$) dois importantes parâmetros associados ao processo aterosclerótico, LDL e Não-HDL (MORITA, 2016). A dieta fornecida a OGL possui perfil de ácidos graxos essenciais adequado em termos de proporção de AGPI n-6:n-3 (Tabela 1), de 30,74/23,38, que resulta em aproximadamente 1:1, semelhante à dieta de nossos antepassados no período paleolítico (SIMOPOULOS, 2006), dentro do recomendado para efeitos cardioprotetores, de no máximo 5:1 de n-6:n-3 conforme outros autores (YANG et al., 2016), reforçando a importância de seguir esta proporção na alimentação.

6 CONCLUSÃO

- Os óleos de linhaça e gergelim apresentaram-se de acordo com os parâmetros de qualidade e identidade preconizados;
- O óleo de gergelim se mostrou mais estável que o óleo de linhaça por meio de seu comportamento óptico e pelo método de Rancimat;
- No estudo *in vivo*, os grupos que receberam óleo de linhaça (n-3) apresentaram menor peso corpóreo em relação ao grupo controle (gordura saturada);
- As gorduras viscerais e o índice de adiposidade apresentaram-se reduzidos com a inclusão dos óleos de linhaça e/ou gergelim (AGPI n-3 e n-6);
- Redução nos lipídios séricos, especialmente LDL e não-HDL – efeito anti-aterogênico na combinação destas duas fontes lipídicas;
- Ótima estratégia de suplementação nas dietas ocidentais atuais quando as proporções de AGPI de n-6:n-3 são de aproximadamente 1:1 – efeito cardioprotetor.

REFERÊNCIAS

- ADKINS, Y.; KELLEY, D. S. Mechanisms underlying the cardioprotective effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 21, n. 9, p. 781–792, set. 2010.
- ALBUQUERQUE, M.L.S.; GUEDES, I.; ALCÂNTARA, P., Jr.; MOREIRA, S.G.C.; BARBOSA, N. M. Neto; CORREA, D.S.; ZILIO, S.C. Characterization of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil by absorption and emission spectroscopies. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 6, p. 1113-1117, nov./dez. 2005.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Manual of methods of analysis of foods: oils and fats**. 18.ed. New Delhi, 2005. p. 6-30.
- ARRIEL, N. H. C.; VIEIRA, D. J.; FIRMINO, P. T. **Situação atual e perspectivas da cultura do gergelim no Brasil**. EMBRAPA, Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro, p.10-17, 2013.
- MELO, I. L. P.; SILVA, A. M. O.; FILHO, J.M. Parte 1: Lipídios. Em: Cozzolino, S.M.F.; Cominetti, C. (Org.). **Bases bioquímicas e fisiológicas da nutrição: nas diferentes fases da vida, na saúde e na doença**. 1 ed. Barueri: Manole, 2013.v. 1, p. 76-107.
- APPOLINÁRIO, P.P; DEROGIS, P. B. M. C.; YAMAGUTI, T.H.; MIYAMOTO, S. Metabolismo, oxidação e implicações biológicas do ácido docosaheptaenoico em doenças neuro degenerativas. **Química Nova**, v. 34, n. 8, p. 1409-1416, jul. 2011.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 6. ed. Viçosa: UFV, 2015.
- ARTERBURN LM, HALL EB, OKEN H. Distribution, interconversion, and dose response of n-3 fatty acids in humans. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 83, n. 6, p. 1467S-1476S, jun. 2006.
- BEDIGIAN, D.; HARLAN, J.R. Evidence for cultivation of sesame in the ancient world. **Economic Botany**, v. 40, n. 2, p.137-154, abr. 1986.
- BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, E. C.; LIMA, E. F. **Gergelim Cultura no Trópico Semi-árido Nordestino**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1994. 52 p. (Circular Técnica, 18).

BERG, J. M.; TYMOCZO, J. L.; STRYER L. Biossíntese de lipídios de membranas e esteróides. **Bioquímica**. Rio de Janeiro: Guanabara e Koogan, p. 222-297, 2012.

BOUAID, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Long storage stability of biodiesel from vegetable and used frying oils. **Fuel**, v. 86, n. 16, p. 2596-2602, nov. 2007.

BOTHAM, K. M.; MAYES, P. A. Lipídeos com importância fisiológica. In: MURRAY, R. K.; BOTHAM, K. M.; RODWELL, V.W.; BENDER, D.A.; KENNELLY, P.J.; WEIL, P. A. **Bioquímica Ilustrada de Harper**, 29. ed., AMGH editora: Porto Alegre, 140-150, 2014.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC 270 de 22 de setembro de 2005**. Regulamento Técnico Para Óleos Vegetais, Gorduras Vegetais e Creme Vegetal.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política Nacional de Alimentação e Nutrição**. Brasília: Ministério da Saúde, 2012.

BURDGE, G.C.; CALDER, P.C. Dietary α -linolenic acid and health-related outcomes: a metabolic perspective. **Nutrition Research Reviews**, v.19, n. 1, p. 19:26–52, jun. 2006.

CAREY, F. **Química Orgânica**. 7. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2011. vol. 2.

CARTER, J.F. Sensory evaluation of flaxseed of different varieties. **Proceedings Flax Institute**, v.56, n.1, p.201-203, set. 1996.

CARVALHO, R.H.R.; GALVÃO, E.L.; BARROS, J.A.C.; CONCEIÇÃO, M.M.; SOUSA, E.M.B.D. Extraction, fatty acid profile and antioxidant activity of sesame extract (*Sesamum indicum* L.). **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 29, n.2, p. 409-420, abr./jun. 2012.

CASTELO-BRANCO, V. N.; TORRES, A. G.; Capacidade antioxidante total de óleos vegetais comestíveis: determinantes químicos e sua relação com a qualidade dos óleos. **Revista de Nutrição**, v. 24, n. 1, p.173-187, jan./fev. 2011.

CHACRA, A.P.M. Metabolismo dos lipídios: Principais aspectos fisiológicos e fisiopatológicos. In: MATOS, A.F.G. (org.). **Endocardiometabologia na prática clínica**. 1.ed., Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 64-74, 2011.

CHAIYASIT, W.; ELIAS, R.J.; MCCLEMENTS, D.J.; DECKER, E.A. Role of physical structures in bulk oils on lipid oxidation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, n. 3, p. 299-317, mar. 2007.

CHAN, K.L.; PILLON, N.J.; SIVALOGANATHAN, D.M.; COSTFORD, S.R.; LIU, Z.; THÉRET, M.; CHAZAUD, B.; KLIP, A. Palmitoleate Reverses High Fat-induced

Proinflammatory Macrophage Polarization via AMP-activated Protein Kinase (AMPK). **The Journal of Biological Chemistry**, v. 290, n. 27, p.16979-16988, jul. 2015.

CHAU, Y.Y.; BANDIERA, R.; SERRELS, A.; MARTÍNEZ-ESTRADA, O.M.; QING, W.; LEE, M.; SLIGHT, J.; THORNBURN, A.; BERRY, R.; MCHAFFIE, S.; STIMSON, R.H.; WALKER, B.R.; CHAPULI, R.M.; SCHEDL, A.; HASTIE, N. Visceral and subcutaneous fat have different origins and evidence supports a mesothelial source. **Nature Cell Biology**, v. 16, n. 4, p. 367-375, abr. 2014.

CHIMENEZ, T.A.; MAGALHÃES, K.F.; CAIRES, A.R.L.; OLIVEIRA, S.L. Fluorescence as an analytical tool for assessing the conversion of oil into biodiesel. **Journal of Fluorescence**, v. 22, n. 4, p. 1177-1182, jul. 2012.

CHOE, E.; MIN, D.B. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 5, n. 4, p. 169-186, set. 2006.

CINDRIC, I.J.; MICHAELA, Z.; STEFFAN, I. Trace elemental characterization of edible oils by ICP–AES and GFAAS. Trace elemental characterization of edible oils by ICP–AES and GFAAS. **Microchemical Journal**, v. 85, n. 1, p. 136-139, jan. 2007.

CODEX ALIMENTARIUS. STANDARD FOR NAMED VEGETABLE OILS CODEX STAN 210-1999 Adopted. **Journal of Chemical Information and Modeling**, p. 1–13, 1999.

CURI, R.; POMPEIA, C; MIYASAKA, C. K; PROCÓPIO, J. **Entendendo a gordura: os ácidos graxos**. São Paulo: Manole, 2002.

DANTAS, M. B; ALBUQUERQUE, A. R.; BARROS, A. K.; RODRIGUES FILHO, M.G.; ANTONIOSI FILHO, N.R.; SINFRÔNIO, F.S.M.; ROSENHAIM, R.; SOLEDADE, L.E.B.; SANTOS, I.M.G.; SOUZA, A.G. Evaluation of the oxidative stability of corn biodiesel. **Fuel**, v. 90, n. 2, p. 773–778, fev. 2011.

DANTAS, E. H. M.; PRADO, E. S. Efeitos dos Exercícios Físicos Aeróbio e de Força nas Lipoproteínas HDL, LDL e Lipoproteína (a). **Arquivos Brasileiros sobre Cardiologia**, v. 79, n. 4, p. 667-670, 2008.

DE LORGERIL, M.; RENAUD, S.; MAMELLE, N.; SALEN, P.; MARTIN, J.L.; MONJAUD, I. Mediterranean α -linolenic acid-rich diet in secondary prevention of coronary heart disease. **Lancet**, v. 343, n. 8911, p. 1454-1459, jun. 1994.

DOLSON, L. **Flax Seed: The Low Carb Whole Grain Nutrition, Health Benefits of Flax Seed**. 2010. Disponível em: <<http://lowcarbdiets.about.com/od/whattoeat/a/flaxinfo.htm>>. Acesso em: 13 set. 2016.

DOUGLAS, C. R. R. **Tratado de Fisiologia aplicado à Nutrição**. São Paulo: Robe Editorial, 2012.

ETTINGER, S. Macronutrientes: Carboidratos, Proteínas e Lipídios. **Krause: Alimentos, Nutrição e Dietoterapia**. São Paulo: Roca, p. 31-63, 2007;

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Fatty acid methyl esters (fame) - determination of oxidation stability (accelerated oxidation test). Method EN14112; 2003.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization. 2013. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html>>. Acesso em: 13 set. 2016.

FARMER, J. A. Dislipidemia e Outros fatores de Risco de Doença Arterial Coronária. **Tratado de Medicina Cardiovascular**. São Paulo, Ed. Roca. 5.ed. v. II, p. 1202-1224, 2009.

FIRMINO, P. T. **Gergelim: Sistemas de Produção e seu Processo de Verticalização, Visando Produtividade no Campo e Melhoria da Qualidade da Alimentação Humana**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1996. (Prêmio Jovem Cientista)

FLAX PRIMER: **A health and nutrition primer**. Canada: Flax council of Canada, 2012.

FRANKEL, E.N. **Lipid Oxidation**. 2.ed. England: The Oily Press, 2005.

FREEMAN, T.P. Structure of flaxseed. In: CUNNANE, S.C.; THOMPSON, L. U. (Eds). **Flaxseed in Human Nutrition**. Champaign Illinois: AOCS Press, 1995. p. 11-21.

GALIC, S.; OAKHILL, J.S.; STEINBERG, G.R. Adipose tissue as an endocrine organ. **Molecular and Cellular Endocrinology**, v. 316, n. 2, p. 129-139, mar. 2010.

GHAZANI, S. M.; MARANGONI, A. G. Minor components in canola oil and effects of refining on these constituents: A review. **JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 7, p. 923-932, 2013.

GUNSTONE, F. D. Vegetable Oils in Food Technology. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2011.

GONÇALVES, E.C.B.A. Os lipídeos nos alimentos. In: **Análise de Alimentos: Uma Visão Química da Nutrição**. 4. ed. São Paulo: Varela, 2015, p. 73-90.

GOYAL, A.; SHARMA, V.; UPADHYAY, N.; GILL, S.; SIHAG, M. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. **Journal of Food of Science and Technology**, v. 51, n.9, p. 1633-1653, set. 2014.

GUIMARÃES, A. C. Dislipidemias. **Doenças do Coração: Prevenção e Tratamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, p. 121-128, 2013.

GUIMARÃES, R.C.A.; MACEDO, M.L.R.; MUNHOZ, C.L.; FILIU, W.; VIANA, L.H.; NOZAKI, V.T.; HIANE, P.A. Sesame and flaxseed oil: nutritional quality and effects on serum lipids and glucose in rats. **Food Science and Technology**, v. 33, n.1, p. 209-217, mar. 2013.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. Metabolismo dos Lipídios. In: Guyton, A.C.; Hall, J.E. (Org.). **Tratado de Fisiologia Médica**. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. Cap. 68, p.861 -870.

HADORN, H.; ZURCHER, K. Zurbestimmung der oxidations stabilitat von olen und fetten. *Deutsche Lebensmittel Rundschau*, v. 70, p. 57-75,1974.

HARO, C.; GARCIA-CARPINTERO, S.; ALCALA-DIAZA, J.F.; GOMEZ-DELGADO, F.; DELGADO-LISTA, J.; MARTINEZ, P.P.; ZUÑIGA, O.A.R.; QUINTANA-NAVARRO, G.M.; LANDA, B.B.; CLEMENTE, J.C.; LOPEZ-MIRANDAA, J.; CAMARGO, A.; PEREZ-JIMENEZ, F. The gut microbial community in metabolic syndrome patients is modified by diet. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.27, p. 27-31, jan. 2016.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. cap. 17.

HARVEY, R.A.; FERRIER, D. R. Metabolismo dos Lipídeos. In: HARVEY, R.A.; FERRIER, D. R. **Bioquímica Ilustrada**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. Cap 15, pp. 173-180.

HENDRANI, A.D.; ADESIYUN, T.; QUISPE, R.; JONES, S.R.; STONE, N.J.; BLUMENTHAL, R.; MARTIN, S.S. Dyslipidemia management in primary prevention of cardiovascular disease. **Current Guidelines and Strategies**, v. 8, n. 2, p. 201-210, fev. 2016.

HOLLER, F.J.; SKOOG, D.A.; CROUCH, S.R. **Princípios de Análise Instrumental**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. p.1056.

HUSSAIN, M.M. Intestinal Lipid Absorption and Lipoprotein Formation. **Current Opinion in Lipidology**, v. 25, n. 3, p. 200-206, jun. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: **Tabelas de composição nutricional dos alimentos consumidos no Brasil**. Rio de Janeiro. IBGE; 2011.

JAPUR, C.C. Óleos e gorduras. In: JAPUR, C.C.; VIEIRA, M. N. (Coord.). **Nutrição e metabolismo: Dietética Aplicada Na Produção de Refeições**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. Cap. 10, p. 105-119.

KAPICH, A.N.; KORNEICHUK, T.V.; HATAKKA, A.; HAMMEL, K.E. Oxidizability of unsaturated fatty acids and of a non-phenolic lignin structure in the manganese peroxidase-dependent lipid peroxidation system. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 46, n.2, p. 136-40, fev. 2010.

KAUR, J. **A comprehensive review on metabolic syndrome**. Cardiology Research and Practice, v. 2014, mar. 2014.

KIELA, P.R.; GHISHAN, F.K. Physiology of intestinal absorption and secretion. **Best Practice & Research Clinical Gastroenterology**, v. 30, n. 2, p. 145-159, abr. 2016.

KRALOVA LESNA, I. et al. Replacement of dietary saturated FAs by PUFAs in diet and reverse cholesterol transport. **Journal of Lipid Research**, v. 49, n. 11, p. 2414-2418, 2008.

KRIS-ETHERTON, E. Bioactive compounds in foods: Their role in prevention of cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, v.113, p.71-88, dez. 2002.

LI, F.; DUAN, Y.; LI, Y.; TANG, Y.; GENG, M.; OLADELE, O.A.; KIM, S.W.; YIN, Y. Effects of dietary n-6:n-3 PUFA ratio on fatty acid composition, free amino acid profile and gene expression of transporters in finishing pigs. **British Journal of Nutrition**, v. 113, n. 5, p. 739-748, mar. 2016.

LI, H., FAN, Y., LI, J., TANG, L., HU, J., DENG, Z. Evaluating and Predicting the Oxidative Stability of Vegetable Oils with Different Fatty Acid Compositions. **Journal of Food Science**, v. 78, n. 4, p. 633-641, abr. 2013.

LU, Y. et al. Multiple genetic variants along candidate pathways influence plasma high-density lipoprotein cholesterol concentrations. **Journal of Lipid Research**, v. 49, n. 12, p. 2582-2589, 2008.

LUCAS, E.A.; LIGHTFOOT, S.A.; HAMMOND, L.J.; DEVAREDDY, L.; KHALIL, D.A.; DAGGY, B.P.; SMITH, B.J.; WESTCOTT, N.; MOCANU, V.; SOUNG, D.Y.; ARJMANDI, B.H. Flaxseed reduces plasmas cholesterol and arteriosclerotic lesion formation in hamsters. **Artherosclerosis**, v. 173, n. 2, p. 223-229, abr. 2004.

LUMENG, C.N.; BODZIN, J.L.; SALTIEL, A.R. Obesity induces a phenotypic switch in adipose tissue macrophage polarization. **The Journal of Clinical Investigation**, v. 117, n. 1, p. 175–184, jan. 2007.

LUSIS, A. J.; PAJUKANTA, P. A treasure trove for lipoprotein biology. **Nature Genetics**, v. 40, n. 2, p.129–130, fev. 2008.

LUSIS, A.J.; ATTIE, A.D.; REUE, K. Metabolic syndrome: from epidemiology to systems biology. **Nature Reviews Genetics**, v. 9, n. 11, p. 819-830, nov. 2009.

LYONS, C.L.; KENNEDY, E.B.; ROCHE, H.M. Metabolic Inflammation-Differential Modulation by Dietary Constituents. **Nutrients**, v. 8, n.5, p. 247, abr. 2016.

MAEHRE, H.K.; JENSEN, I.J.; ELVEVOLL, E.O.; EILERTSEN, K.E. ω -3 Fatty Acids and Cardiovascular Diseases: Effects, Mechanisms and Dietary Relevance. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 9, p. 22636-22661, set. 2015.

MAGALHÃES, K. F.; Caires, A.R.L.; Silva, M.S.; Alcantarad, G.B.; Oliveira, S.L. **Endogenous fluorescence of biodiesel and products thereof: Investigation of the molecules responsible for this effect. Fuel**, v. 119, p. 120-128, mar. 2014.

GALLAGHER, M. L. Ingestão: Os Nutrientes e seu Metabolismo. In: MAHAN, L.K.; ESCOTT-STUMP, S.; RAYMOND, J.L. **Krause: Alimentos, Nutrição e Dietoterapia**. 13.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 40-47.

HALL, L.M.; BOOKER, H.; SILOTO, R.M.P.; JHALA, A.J.; WESELAKE, R.J. Flax (*Linum usitatissimum* L.). In: MCKEON, T. A.; HAYES, D.G.; HILDEBRAND, D.F.; WESELAKE, R.J. (Eds). **Industrial Oil Crops**. 1.ed. Nova Iorque/Urbana: Elsevier/AOCS Press, 2016. p. 157-184.

MCMURRY, J. **Química Orgânica**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. cap. 14.

MOHAMED, S. Functional foods against metabolic syndrome (obesity, diabetes, hypertension and dyslipidemia) and cardiovascular disease. **Trends in Food Science & Technology**, v. 35, n. 2, p. 114-128, fev. 2014.

MOREIRA, A. V. B. **Avaliação da atividade antioxidante de sementes de mostarda (*Brassica alba* L.)**. 1999. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) Departamento de Nutrição, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MORRIS, H.D. **Linaza: Una recopilación sobre sus efectos en la salud y nutrición**. 4.ed., 2007.

MORITA, S.J. Metabolism and Modification of Apolipoprotein B-Containing Lipoproteins Involved in Dyslipidemia and Atherosclerosis. **Biological and Pharmaceutical Bulletin**, v. 39, n. 1, p. 1-24, set. 2016.

MURPHY, K.G.; BLOOM, S.R. Gut hormones and the regulation of energy homeostasis. **Nature**, v. 444, n. 7121, p. 854-859, dez. 2007.

NAWAR, W.W. Lipids. In: FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**. 3.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. cap.5, p.226-319.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

NEWAIRY, A.S.; ABDOL, H.M. Protective role of flax lignans against lead acetate induced oxidative damage and hyperlipidemia in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 47, n. 4, p. 813–818, abr. 2009.

NIU, S.; MITCHELL, D. C.; LITMAN, B. J. Trans Fatty Acid Derived Phospholipids Show Increased Membrane Cholesterol and Reduced Receptor Activation as Compared to Their Cis Analogs. **Biochemistry**, v. 44, n. 11, p. 4458-4465, mar. 2005.

O'BRIEN, R.D. **Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications**. CRC Press, New York, p.766, 2009.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M.; SPOTO, M. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. 1.ed. Barueri: Manole, 2006.

OLIVEIRA, I. P. **Estudo da degradação térmica de misturas dos óleos da macaúba (*Acrocomia aculeata*) por espectroscopia molecular**. 2013. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2013.

PENNISI FORELL, S.C.; RANALLI, N.; ZARITZKY, N.E.; ANDRÉS, S.C.; CALIFANO, A.N. Effect of type of emulsifiers and antioxidants on oxidative stability, colour and fatty acid profile of low-fat beef burgers enriched with unsaturated fatty acids and phytosterols. **The American Meat Science Association**, v.86, n. 2, p. 364-370, out. 2010.

PENUMETCHA, M.; KHAN, N.; PARTHASARATHY, S. Dietary oxidized fatty acids: an atherogenic risk ? **The Journal of Lipid Research**, v. 41, n. 9, p.1473–1480, set. 2000.

PHILIPPI, ST. Óleos e gorduras. In: **Nutrição e técnica dietética**. Barueri: Manole, 2003. p. 155-163.

POWER, K.A.; LEPP, D.; ZAREPOOR, L.; MONK, J.M.; WU, W.; TSAO, R.; LIU, R. Dietary flaxseed modulates the colonic microenvironment in healthy C57Bl/6 male mice which may alter susceptibility to gut-associated diseases. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 28, p. 61-69, fev. 2016.

PRASAD, K. Dietary flax seed in prevention of hypercholesterolemic atherosclerosis. **Atherosclerosis**, v.132, n.1, p.69-76, 2014.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, nov. 2012.

REIS, C. E. G.; BRESSAN, J.; ALFENAS, R. C. G. Effect of the diet components on adiponectin levels. **Nutrición Hospitalaria**, v. 25, n. 6, p. 881–888, nov./dez. 2010.

RESHMA, M.V.; BALACHANDRAN, C.; ARUMUGHAN, C.; SUNDERASAN, A.; SUKUMARAN, D.; THOMAS, S.; SARITHA, S.S. Extraction, separation and characterisation of sesame oil lignan for nutraceutical applications. **Food Chemistry**, v. 120, n. 4, p.1041-1046, jun. 2010.

RIBEIRO, S.A.O.; NICACIO, A.E.; ZANQUI, A.B.; BIONDO, P.B.F.; ABREU-FILHO, B.A.; VISENTAINER, J.V.; GOMES, S.T.M.;MATSUSHITA, M. Improvements in the quality of sesame oil obtained by a green extraction method using enzymes. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, p. 464-470, 2016.

RICCARDI, G.; RIVELLESE, A.; WILLIAMS, C. O Sistema Cardiovascular. In: Gibney, M. J.; Macdonald, I. A.; Roche, H. M. (Ed.). **Nutrição & Metabolismo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. cap. 11, p. 203 - 223.

RONTI, T.; LUPATTELLI, G.; MANNARINO, E. The endocrine function of adipose tissue: An update. **Clinical Endocrinology**, v. 64, n. 4, p.355-365, abr. 2006.

ROTHENBURG, H. C.; PEREIRA, F. M. Avaliação dos efeitos da ingestão de semente de linhaça (*Linum usitatissimum*) em ratos hipercolesterolêmicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.7 p.1-8, 2006.

RUSTAN, A.C.; DEVRON, C.A. **Fatty Acids: Structures and Properties. Encyclopedia Of Life Sciences**, John Wiley & Sons, Ltd. www.els.net, 2005.

SAMMOUR, R.H. Proteins of linseed (*Linum usitatissimum*) extraction and characterization. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v. 40, n. 2, p. 121-126, 2007.

SANTOS, R.D. et al. Sociedade Brasileira de Cardiologia. I Diretriz sobre o consumo de Gorduras e Saúde Cardiovascular. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 100, p. 1-40, 2013.

SHAHIDI, F.; JANITHA, P. K.; WANASUNDARA, P. D. Phenolic Antioxidants. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 1, p. 67-103, 1992.

SHARMA, A. K. et al. Sesamol alleviates diet-induced cardiometabolic in rats via up-regulating PPAR γ , PPAR α and e-NOS. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 23, n. 11, 2012, p.1482-1489, nov. 2012.

SEDIGHEH, A. et al. Antihyperlipidemic Effects of *Sesamum indicum* L. in Rabbits Fed a High-Fat Diet. **The Scientific World Journal**, v.2013, p. 5, 2013.

SIERRA, L.; ROCO, J.; ALARCON, G.; MEDINA, M.; NIEUWENHOVE, C.V.; BRUNO, M.P.; JEREZ, S. Dietary intervention with *Salvia hispanica* (Chia) oil improves vascular function in rabbits under hypercholesterolaemic conditions. **Journal of Functional Foods**, v.14, p. 641-649, abr. 2015.

SILVA, V. D. **Estudo da estabilidade termo-oxidativa de óleos, biodiesel e diesel: Avaliação a partir da espectroscopia de fluorescência**. 2014. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal da Grande Dourados/UFGD, Dourados, 2014.

SILVA, V.D., CONCEIÇÃO, J.N., OLIVEIRA, I.P., LESCANO, C.H., MUZZI, R.M., FILHO, O.P.S., CONCEIÇÃO, E.C., CASAGRANDE, G.A., CAIRES, A.R.L. Oxidative stability of baru (*Dipteryx alata Vogel*) oil monitored by fluorescence and absorption spectroscopy. **Journal of Spectroscopy**, p.1-7, 2015.

SIMOPOULOS, A.P. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 60, n. 9, p. 502-507, nov. 2006.

SIMOPOULOS, A.P. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v.60, n. 9, p. 502-507, nov. 2006.

SIMOPOULOS, A.P.; CLELAND, L.G. **Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio: the scientific evidence**. World review of nutrition dietetics, vol. 92. Basel: Karger, 2003.

SINGH, K.K.; MRIDULA, D.; REHAL, J.; BARNWAL, P. Flaxseed - A potential source of food, feed and fiber. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.51, n. 3, p. 210–222, mar. 2011.

SNIDER, M. D., MCGARRY, J. D., HANSON, R.W. Metabolismo de Lipídeos. Síntese, Armazenamento e Utilização de Ácidos Graxos e Triacilgliceróis. In: DEVLIN, T.M. (coord.). **Manual de bioquímica com correlações clínicas**. São Paulo: Blucher, 2011, p. 694–726.

SPICKETT, C.M.; FORMAN, H.J. **Lipid Oxidation in Health and Disease**. Taylor and Francis Inc, 2015.

SPINELLI, M. G. N. Obesidade e dislipidemia: Uma preocupação cada vez mais precoce. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, v. 19, n.4. p. 203-208, 2014.

SPRANGER, J. et al. Adiponectin and protection against type 2 diabetes mellitus. **Lancet**, v.361, n. 9353, p. 226-228, 2003.

TAHA, N.M. et al. Effect of Sesame Oil on Serum and Liver Lipid Profile in Hyperlipidemic Rats. **Alexandria Journal of Veterinary Sciences**, v. 43, p. 18-25, 2014.

TAYLOR, B.A.; PHILLIPS, S.J. Detection of obesity QTLs on mouse chromosomes 1 and 7 by selective DNA pooling. **Genomics**, v. 34, n. 3, p. 389–98, jun. 1996.

TORTORA, G.J.; DERRICKSON, B. Metabolismo de Lipídios. In: Tortora, G.J.; Derrickson, B. **Princípios de Anatomia e Fisiologia**, 14 ed., 960-963, Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 2016.

TRAYHURN, P.; BING, C.; WOOD, S. Adipose Tissue and Adipokines-Energy Regulation from the Human Perspective. **The Journal of Nutrition**, v.136, n.7, p.1935S-1939S, 2006.

USDA. USDA Foreign Agricultural Service. Foreign Agricultural Service. Oilseeds: World markets and trade September 2016. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2016.

VASCONCELO, M.S. **Estudo da degradação térmica do óleo e biodiesel de gergelim preto (*Sesamum indicum* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) por técnicas espectroscópicas**. 88 f. 2015. Dissertação (Mestrado em química), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015.

VON ECKARDSTEIN A, NOFER JR, ASSMANN G. High density lipoproteins and arteriosclerosis. Role of cholesterol efflux and reverse cholesterol transport. **Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology**, v. 21, p. 13-27, 2001.

TURATTI, J.M. **Óleos vegetais como fontes de alimentos funcionais**. Óleos e Grãos, v. 56, p. 20-27, 2012.

WAITZBERG, D. L.; BORGES, V. Gorduras. **Nutrição Oral, Enteral e Parenteral na Prática Clínica**. São Paulo: Atheneu, p. 64-67, 2012.

WHAN, I.; LI, H.; FU, G.; CHEN, X.; CHEN, F.; XIE, M. The relationship of antioxidant components and antioxidant activity of sesame seed oil. **Journal of Food and Science Agriculture**, v. 95, p. 2571-2578, 2014.

WEISBERG, S.P.; MCCANN, D.; DESAI, M.; ROSENBAUM, M.; LEIBEL, R.L.; FERRANTE, A.W. Obesity is associated with macrophage accumulation in adipose tissue. **The Journal of Clinical Investigation**, v. 112, p. 1796-1808, 2003.

WESTCOTT N.D.; MUIR A.D. Flax seed lignan in disease prevention and health promotion. **Phytochemistry Reviews**, v. 2, p. 401-417, 2010.

WHO Technical Report Series 894 **Obesity: Preventing and Managing The Global Epidemic**. World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2000.

WILLIAMSON, K.S.; MORRIS, J.B.; PYE, Q.N.; KAMAT, C.D.; HENSLEY, K. A survey of sesamin and composition of tocopherol variability from seeds of eleven

diverse sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes using HPLC-PAD-ECD. **Phytochemical Analysis**, v.19, p. 311-322, 2008.

YANG, L.G.; SONG, Z.X.; YIN, H.; WANG, Y.Y.; SHU, G.F.; LU, H.X.; WANG, S.K.; SUN, G.J. Low n-6/n-3 PUFA Ratio Improves Lipid Metabolism, Inflammation, Oxidative Stress and Endothelial Function in Rats Using Plant Oils as n-3 Fatty Acid Source. **Lipids**, v. 51, p. 49-59, 2016.

ANEXO A - CERTIFICADO DE APROVAÇÃO DA COMISSÃO DE ÉTICA EM USO DE ANIMAIS (CEUA) - UFMS



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA/UFMS



C E R T I F I C A D O

Certificamos que o projeto intitulado "Sementes de gergelim e linhaça na dieta de ratos Wistar: efeito do óleo nos lipídios e séricos e impacto na microbiota e vilosidade intestinal", Protocolo nº 681/2015 sob a responsabilidade de **Rita de Cássia Avellaneda Guimarães** - que envolve a utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata, para fins de pesquisa científica – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovada pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS/CEUA da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul/UFMS, em reunião ordinária do dia 26 de maio de 2015.

Vigência do Projeto	01/10/2015 a 06/12/2015
Espécie/Linhagem ou Raça	<i>Rattus norvegicus</i> / Wistar
Números de Animais	56
Peso/Idade	21 dias
Sexo	Macho
Origem (fornecedor)	Biotério Central/CCBS/UFMS

Maria Araújo Teixeira

Coordenadora da CEUA/UFMS
Campo Grande, 27 de maio de 2015.

ANEXO B - CARTA DE ACEITE DE PUBLICAÇÃO E ARTIGO CIENTÍFICO SUBMETIDO

Journal of the Science of Food and Agriculture



Decision Letter (JSFA-16-2445.R2)

From: JSFA@wiley.com

priscilas.figueiredo@hotmail.com, pri.figueiredo92@gmail.com, cahjordao@gmail.com, jeandreaugusto@hotmail.com, nunysnutri@yahoo.com.br, anderson.caires@ufms.br, santanamichels@gmail.com, jeeser@gmail.com, wfiliu@terra.com.br, priscila.hiane@ufms.br, aragao60@hotmail.com, ocfanco@gmail.com, rita.guimaraes@ufms.br

CC: Paul_Smith@cargill.com

Subject: Accept - Journal of the Science of Food and Agriculture - Manuscript JSFA-16-2445.R2

Body: 14-Dec-2016

JSFA-16-2445.R2

Dear Miss Figueiredo,

I am delighted to inform you that your manuscript, "Oxidative stability of sesame and flaxseed oils and their effects on morphometric and biochemical parameters in an animal model", is now accepted for publication in the Journal of the Science of Food and Agriculture. Within the next few days the corresponding author will receive an email from Wiley's Author Services system which will ask them to log in and will present them with the appropriate license for completion. Your article cannot be published until the publisher has received the appropriate signed license agreement.

The article will be published online within the next few days as an Accepted Article. This will be an unedited version but will be fully citable and will constitute the paper's official publication date.

Once the paper has been copy-edited and typeset you shall receive the proofs. Please check the proof carefully and return any corrections. After any amendments have been made, the Accepted Article will be taken down, and the final version will be published in Early View, before being assigned to an issue.

If material from another publisher has been used, and you have not already done so, please provide scanned copies of the Permissions form by emailing them to JSFAproofs@wiley.com.

The Permission Request form can be found at:
<http://onlinelibrarystatic.wiley.com/central/prf/UKsprf.pdf>

Now that your manuscript has been accepted for publication you have the option to publish your article with open access so that it will be accessible to subscribers and non-subscribers of this journal. Your article can be published OnlineOpen in return for a payment of an open access publication fee (US\$3000). You can complete the payment of the open access publication fee via the OnlineOpen Form which you can find at:

https://authorservices.wiley.com/bauthor/onlineopen_order.asp

Thank you for your support and we look forward to seeing more of your work in the future.

Yours sincerely,

Dr Paul Smith
Associate Editor
Journal of the Science of Food and Agriculture
JSFA@wiley.com

P.S. We believe your images might be appropriate for use on the cover of the journal. If you would like to submit images from your paper, or an alternative original image related to the work, please email your suggestions to covers@wiley.com for consideration. Please know, we are currently asking authors to contribute toward the production cost of cover illustrations. Please see our Cover FAQ at <http://olabout.wiley.com/WileyCDA/Section/id-828302.html> for details on cover image preparation.

Date Sent: 14-Dec-2016