

Caracterização e estabilidade oxidativa da farinha e óleo de linhaça marrom (*Linum usitatissimum* L.)

Characterization and oxidative stability of brown flaxseed oil and flour (*Linum usitatissimum* L.)

Caracterización y estabilidad oxidativa del aceite y la harina de linaza parda (*Linum usitatissimum* L.)

Recebido: 19/10/2020 | Revisado: 24/10/2020 | Aceito: 24/10/2020 | Publicado: 25/10/2020

Cristiano Silva da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6366-0837>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: cristianocostanutri@gmail.com

Dorasilvia Ferreira Pontes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7256-6818>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: dora@ufc.br

Stella Regina Arcanjo Medeiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0764-9406>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: stellaarcanjo@ufpi.edu.br

Maria Nilka de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0284-1677>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: nilka@ufc.br

Leiliane da Fonseca Lima Herculano

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8444-0892>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: lflherculano@gmail.com

Francisco Cardoso Figueiredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2938-6480>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: franciscofigueiredo@ufpi.edu.br

Márcia Maria Leal de Medeiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3570-6954>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: mmlealmed@gmail.com

Marcos Venânces de Souza Leão

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9976-1170>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: marcosleao1001@gmail.com

Resumo

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) possui ácidos graxos poli-insaturados, fibras, compostos fenólicos, antioxidantes e outros bioativos, que lhe confere *status* de alimento funcional. Este estudo objetivou verificar a composição físico-química e a quantidade de compostos fenólicos na farinha de linhaça, além da composição em ácidos graxos do óleo proveniente dessa farinha e a sua estabilidade oxidativa. A farinha de linhaça foi caracterizada quanto à umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, carboidratos, valor calórico e compostos fenólicos. Dessa farinha extraiu-se o óleo, que foi analisado em cromatógrafo para a determinação de seus ácidos graxos. A farinha de linhaça apresentou 4,85% de umidade, 3,28% cinzas, 17,56 proteína, 41,31% lipídios, 33,0% carboidratos, 574,03 de valor calórico e 211,53 mg EAG/100g de compostos fenólicos. O cromatograma do óleo de linhaça mostrou predominância de ácidos graxos insaturados (95,1%), sendo o de maior concentração o ácido linolênico (C18:3 – 53,58%), seguido do oleico (C18:1 – 25,98%), linoleico (C18:2 – 15,54%). O período de indução (PI) do óleo de linhaça reduziu com o aumento da temperatura, mostrando que temperaturas mais elevadas (110 °C e 120 °C) promoveram menor estabilidade oxidativa. Sugere-se observar a conservação da farinha e óleo de linhaça e dos produtos que os contenham em sua composição. E avaliar o teor dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) nos produtos adicionados de farinha e óleo de linhaça, especialmente aqueles submetidos a temperaturas acima de 120 °C, como nos produtos da panificação.

Palavras-chave: Ácido α -linolênico; Alimento funcional; Compostos fenólicos.

Abstract

Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) has polyunsaturated fatty acids, fibers, phenolic compounds, antioxidants and other bioactive substances, which gives it status as a functional food. This study aimed to verify the physical-chemical composition, the amount of phenolic

compounds in flaxseed flour, and the fatty acid composition of the oil from that flour. Flaxseed flour was characterized by moisture, ash, protein, lipids, carbohydrates, caloric value and phenolic compounds. The oil was extracted from this flour, which was analyzed in a chromatograph to determine its fatty acids. Flaxseed flour showed 4.85% moisture, 3.28% ash, 17.56 protein, 41.31% lipids, 33.0% carbohydrates, 574.03 calories and 211.53 mg EAG / 100g of phenolic compounds. The chromatogram of linseed oil showed a predominance of unsaturated fatty acids (95.1%), with the highest concentration being linolenic acid (C18: 3 - 53.58%), followed by oleic acid (C18: 1 - 25.98%), linoleic (C18: 2 - 15.54%) and to a lesser extent, saturated stearic (C18: 0 - 4.24%) and palmitic (C16: 0 - 0.66%). The induction period (PI) of flaxseed oil reduced with increasing temperature, showing that higher temperatures (110 ° C and 120 ° C) promoted less oxidative stability of this oil. Due to the results obtained, it is suggested to observe how to conserve flaxseed flour and oil and the products that contain them in their composition. And evaluate the content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in products added with flour and flaxseed oil, especially those submitted to temperatures above 120 ° C, as in bakery products.

Keywords: α -linolenic acid; Functional food; Phenolic compounds.

Resumen

La linaza (*Linum usitatissimum* L.) posee ácidos grasos poliinsaturados, fibras, compuestos fenólicos, antioxidantes y otras sustancias bioactivas, lo que le confiere estatus como alimento funcional. Este estudio tuvo como objetivo verificar la composición físico-química, la cantidad de compuestos fenólicos en la harina de linaza y la composición de ácidos grasos del aceite de esa harina. La harina de linaza se caracterizó por su humedad, cenizas, proteínas, lípidos, carbohidratos, valor calórico y compuestos fenólicos. De esta harina se extrajo el aceite, que se analizó en un cromatógrafo para determinar sus ácidos grasos. La harina de linaza mostró 4.85% de humedad, 3.28% de cenizas, 17.56 de proteína, 41.31% de lípidos, 33.0% de carbohidratos, 574.03 calorías y 211.53 mg EAG / 100g de Compuestos fenólicos. El cromatograma de aceite de linaza mostró predominio de ácidos grasos insaturados (95,1%), siendo la concentración más alta el ácido linolénico (C18: 3 - 53,58%), seguido del ácido oleico (C18: 1 - 25,98%), linoleico (C18: 2 - 15,54%) y, en menor medida, esteárico saturado (C18: 0 - 4,24%) y palmítico (C16: 0 - 0,66%). El período de inducción (PI) del aceite de linaza se redujo al aumentar la temperatura, mostrando que temperaturas más altas (110 ° C y 120 ° C) promovieron una menor estabilidad oxidativa de este aceite. Debido a los resultados obtenidos, se sugiere observar cómo conservar la harina y aceite de linaza y los

productos que los contienen en su composición. Y evaluar el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) en productos adicionados con harina y aceite de linaza, especialmente aquellos sometidos a temperaturas superiores a 120 ° C, como en productos de panadería.

Palabras clave: Ácido α -linolénico; Comida funcional; Compuestos fenólicos.

1. Introdução

A alimentação deve fornecer os nutrientes para a manutenção das funções vitais e garantir a energia para exercer as atividades diárias, mantendo assim o equilíbrio corporal. Grande parcela da população consome alimentos com baixo teor de fibras e de gorduras insaturadas. E ricos em açúcares e em gorduras saturadas, contribuindo para o aumento de doenças como diabetes, dislipidemias, câncer, problemas cardiovasculares e intestinais (Setayeshgar, et al., 2017). Dessa forma, seguir uma dieta saudável implica numa ingestão alta de vegetais e frutas; baixa em gordura, açúcar e sal, e que possua variedade e equilíbrio na sua composição (De Ridder, et al., 2017; Gaspar, et al., 2020.).

Diante desse quadro, a indústria alimentícia vem desenvolvendo produtos que possam ser adicionados ingredientes ou bioativos que exerçam funções benéficas para o organismo. Fibras alimentares e compostos bioativos, quando consumidos na dieta oferecem nutrientes, que desencadeiam bons efeitos metabólicos e fisiológicos ao organismo, podendo desempenhar o papel de coadjuvantes na prevenção de doenças crônicas (Illanes, & Guerrero, 2016; Rubio et al., 2018).

Rica em antioxidantes, proteínas e compostos fenólicos, a linhaça (*Linum usitatissimum L.*) ainda possui alto teor de ácido α -linolênico (ALA), fibras e lignanas, o que lhe confere o rótulo de alimento com alegação funcional. Suas duas variedades, a marrom e a dourada, que não apresentam grandes diferenças em sua composição química. No entanto a linhaça marrom possui maior teor de tocoferóis e atividade antioxidante, sendo produzida em maior escala no Brasil, embora tenha menor valor comercial (Barroso, et al., 2014; Lan, et al., 2020).

As propriedades funcionais da linhaça estão relacionadas à redução do colesterol total e LDL (*Low Density Lipoprotein*)-colesterol, das doenças cardiovasculares, dos triacilgliceróis, do câncer do cólon, além de exercer efeitos anti-inflamatórios (Costa & Rosa, 2010; Nandi, & Ghosh, 2015; Shim, et al., 2014).

A literatura reporta que o óleo de linhaça contém uma gama de ácidos graxos insaturados, sobressaindo-se o ácido α -linolênico, com percentual superior a 50%. E que,

infelizmente, quando esses ácidos graxos são expostos ao oxigênio, luz e temperaturas altas, tendem a se oxidar, reduzindo sua estabilidade e valor nutricional (Michotte et al., 2011; Tuncel, et al., 2017; Szydłowska-Czerniak, et al., 2020).

Dessa forma, este estudo teve como objetivo verificar a composição físico-química e a quantidade de compostos fenólicos na farinha de linhaça, a composição em ácidos graxos do óleo proveniente dessa farinha e a sua estabilidade oxidativa.

2. Metodologia

A pesquisa apresentou caráter experimental, com abordagem quantitativa. Foi desenvolvida nos Laboratórios de Tecnologia de Cereais da Universidade Federal do Ceará (UFC), no Laboratório de Bioeletroquímica da Universidade Federal do Piauí (UFPI), nos Laboratórios de Bromatologia e de Tecnologia de Alimentos da Universidade de Fortaleza (Unifor) e no Laboratório de Análise de Alimentos da Empresa Agroindústria Tropical. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.1 Matérias-primas

As sementes de linhaça marrom (Nativity Produtos Naturais) foram adquiridas em comércio local de Fortaleza, CE, Brasil.

2.2. Processamento da farinha de linhaça

As sementes de linhaça *in natura* foram trituradas em processador de alimentos e peneiradas em tamizador de granulometria igual a 0,84 mm. Em seguida, foram acondicionadas em sacos plásticos, lacrados e armazenados em refrigeração para análises posteriores. O percentual de rendimento da farinha de linhaça foi calculado a partir da equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = (\text{Peso da semente } in\ natura - \text{Peso da farinha}) \times 100 \quad (1)$$

2.3 Composição centesimal da farinha de linhaça marrom

A umidade foi determinada através do método 925.10, as cinzas conforme o método 923.03, e a proteína de acordo com o método 920.87 usando o fator de conversão de

nitrogênio em proteína de 6,25 (AOAC, 2005). A determinação de lipídios foi realizada por sistema de extração sob alta pressão e alta temperatura em equipamento Ankom (ANKOM, 2009), segundo método Am 5-04 da American Oil Chemist's Society (AOCS, 2005). A porcentagem de carboidratos foi calculada através da seguinte fórmula: % Carboidratos = $100\% - (\% \text{proteínas} + \% \text{lipídios} + \% \text{cinzas})$ (AOAC, 2005). Na determinação do valor calórico utilizou-se o sistema de Atwater, em que os teores de carboidratos, proteínas e lipídios foram multiplicados por 4; 4 e 9, respectivamente, somando-se os três resultados posteriormente (Santos, 2010).

2.4 Determinação de compostos fenólicos totais da farinha de linhaça

Os compostos fenólicos totais foram determinados com a utilização do reagente de Folin-Ciocalteu e leitura em espectrofotômetro UV/VIS a 700 nm. As curvas de calibração foram preparadas com ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g do produto (Morais et al., 2008).

2.5 Estudo do perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do óleo de linhaça

2.5.1 Extração do óleo de linhaça

A extração de lipídios foi realizada pelo método de Bligh e Dyer (1959), no qual a amostra foi higienizada e depois misturada ao clorofórmio e metanol (Hartman, & Lago, 1973), em proporção tal que um sistema monofásico fosse formado com água da amostra. Uma diluição e nova extração posteriores com volumes determinados de clorofórmio e água separou o sistema monofásico em duas camadas, formando um sistema bifásico constituído por uma camada clorofórmica, mais pesada contendo os lipídios e uma camada metanólica contendo a água e os compostos não lipídicos. A camada clorofórmica foi isolada e evaporada em banho-maria a 55 °C, com N₂. A amostra foi posteriormente armazenada sob refrigeração e protegida da luz para análise do perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massas (CG-MS).

2.5.2 Determinação do perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça

O perfil de ácidos graxos foi determinado a partir da esterificação do extrato lipídico para obtenção de ésteres metílicos (Hartman, & Lago, 1973), a fim de se realizar a

quantificação dos ácidos graxos em cromatógrafo a gás Trace GC Ultra – Thermo Scientific (Milão, Itália) acoplado com espectrômetro de massa modelo ISQ™ LT Single Quadrupole GC-MS System – Thermo Scientific. A separação cromatográfica foi realizada através de coluna cromatográfica capilar HP- 5MS Agilent DB-5 HT, tendo como gás de arraste o hélio, com vazão de 1 mL.min⁻¹, com a seguinte programação de temperatura para o forno: temperatura inicial de 100 °C, seguida de elevação a 180 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, sendo mantida nessa temperatura por 1 minuto; finalizando com uma taxa de aquecimento de 4°C.min⁻¹ e elevada até 270 °C, mantendo-se nesta temperatura por 10 minutos. As temperaturas do injetor e do detector foram 270 °C e da fonte de íons, 280 °C. O tempo de análise total foi de 42,50 minutos. Os ácidos graxos foram identificados por comparação por meio de grupos de retenção e perfis de fragmentação de massa. Os resultados foram expressos em porcentagem relativa de cada ácido graxo, a partir da fração total.

2.5.3 Estabilidade oxidativa do óleo de linhaça

A estabilidade oxidativa do óleo de linhaça foi determinada pelo Período de Indução (PI), através do aparelho 873 Biodiesel Rancimat – Metrohm (Herisau, Suíça) de acordo com o método EN 14112 da European Committee for Standardization (ECS, 2003). Utilizou-se 3 gramas de amostra do óleo, os quais foram aquecidos a temperatura constante de 110 °C sob um fluxo de ar de 10 L.h⁻¹. Com o objetivo de fazer um estudo cinético também foram feitas análises da estabilidade oxidativa do óleo nas temperaturas de 80, 90, 100 e 120 °C. O tempo necessário para o aumento da condutividade da água foi calculado automaticamente por *software* do equipamento, correspondendo ao período de indução em horas.

3. Resultados e Discussão

3.1 Rendimento da farinha de linhaça marrom

Após a trituração das sementes de linhaça e posterior peneiração para separar as partículas da casca do restante do grão, pesou-se a farinha, obtendo-se um rendimento de 70%. O bagaço e a farinha de linhaça, por conter uma elevada quantidade de fibra alimentar, apresentam-se como ingredientes com capacidade para aumentar o valor nutricional e as propriedades sensoriais dos alimentos (Wirkijowska, et al., 2020).

3.2 Composição centesimal da farinha de linhaça marrom

A composição centesimal da farinha da linhaça marrom apresentou alto teor de lipídios e de proteína (Tabela 1). Mueller et al. (2010) obtiveram valores de cinzas e lipídios iguais a 3,5% e 45,2%, respectivamente, enquanto o teor de proteína foi de 23,4%. Zou et al., (2017), ao estudarem 13 cultivares de linhaça, encontraram valores de umidade que variaram entre 5,66-7,55%, de cinzas entre 2,76-3,63%, teor de proteína mínimo de 21,0% e máximo de 27,0% e teor de lipídios em uma faixa de 28,9 a 41,4%, sendo este último próximo do encontrado na atual pesquisa. Contudo, variações são percebidas, uma vez que os estudos foram realizados em diferentes países ou com amostras distintas.

A variação no teor desses componentes se deve às pesquisas realizadas em diferentes países ou com diferentes cultivares da semente.

Tabela 1 - Composição centesimal e valor energético da farinha de linhaça marrom.

Análises	Resultados
Umidade (%)	4,85 ± 0,10
Cinzas (%)	3,28 ± 0,02
Proteína (%)	17,56 ± 0,66
Lipídios (%)	41,31 ± 0,56
Carboidratos (%)	33,00
Valor Energético (Kcal)	574,03

Fonte: Autores.

3.3 Compostos fenólicos totais da farinha de linhaça

O teor de compostos fenólicos da farinha de linhaça foi de 211,53 mg EAG/100g. Estudo desenvolvido por Kaur et al. (2017) apresentou resultado inferior ao da atual pesquisa, 91,8 mg EAG/100g. Os compostos fenólicos são benéficos à saúde e relacionados à atividade antioxidante. Nesse contexto, destacam-se os ácidos ferúlico e p-cumárico, bem como as lignanas, com propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias, antitrombóticas, antialérgicas, antioxidantes vasodilatadoras (Balasundram, Sundran, & Samman, 2006; Muñoz-González, et al., 2021; Tuncel, et al., 2017). Os ácidos fenólicos são constituídos principalmente de ácido p-hidroxibenzóico, ácido clorogênico e ácido ferúlico, concentrados principalmente na parte não lipídica da linhaça (Taylor, et al., 2011).

3.4 Estudo do perfil de ácidos graxos e estabilidade oxidativa do óleo de linhaça

3.4.1 Perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça

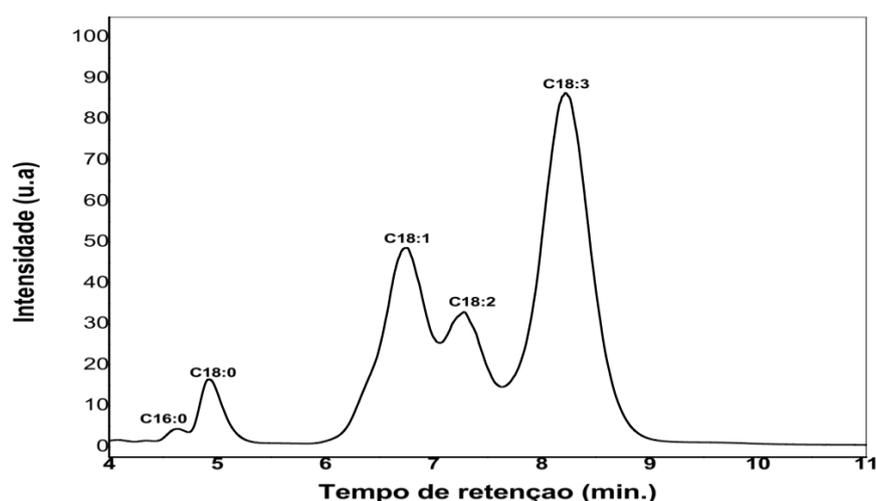
A Tabela 2 e a Figura 1 ilustram o resultado do perfil de ácidos graxos presentes no óleo de linhaça obtido por rota metálica. O cromatograma da Figura 1 apresenta picos de diferentes intensidades e tempos de retenção, sendo o de maior intensidade na amostra, o éster de ácido linolênico (C18:3), seguido do oleico (C18:1), linoleico (C18:2) e em menores intensidades, os saturados esteárico (C18:0) e palmítico (C16:0).

Tabela 2 - Perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça.

Ácidos graxos	Percentual (%)
Ácido linolênico (C18:3)	53,58
Ácido oleico (C18:1)	25,98
Ácido linoleico (C18:2)	15,54
Ácido esteárico (C18:0)	4,24
Ácido palmítico (C16:0)	0,66

Fonte: Autores.

Figura 1 - Picos de intensidade referentes ao perfil de ácidos graxos do óleo de linhaça.



Fonte: Autores.

Uma forma de enriquecer uma dieta com os ácidos linoleico (ômega 6) e linolênico (ômega 3) é adicionar às refeições óleos vegetais como chia, amendoim, soja, oliva, girassol e linhaça, que são ricos nesses ácidos graxos (Bañares, et al., 2019).

Observou-se que o óleo de linhaça apresentou predominância de ácidos graxos insaturados (95,1%), resultados próximos aos encontrados por Laidens et al. (2019). O óleo de linhaça é rica em Ômega 3 (Ishak et al., 2018), portanto, a alta concentração do ácido linolênico (53,58%) já era esperada, visto que resultado semelhante tem sido relatado por outros autores (Khattab, & Zeitoun, 2013; Rombaut, et al., 2017; Piva et al., 2018).

O perfil de ácidos graxos se assemelha ao encontrado por Zou et al. (2017), que obtiveram valores entre 45,5-55,8% para a série C18:3; 12,2-14,5% para C18:2; 17,4-25,3% para C18:1; 3,35-6,45% para C18:0; e 4,66-5,71% para C16:0. Os ácidos graxos insaturados possuem atividades benéficas à saúde, pois apresentam proteção cardiovascular, reduzem o desenvolvimento de aterosclerose, pressão sanguínea e as taxas de triglicerídeos no organismo humano (Edel, et al., 2015).

Os ácidos graxos monoinsaturados, como o ácido oleico, estão associados à prevenção de doenças cardiovasculares por diminuir o LDL-colesterol e aumentar o HDL-colesterol. Esses ácidos estão presentes em maior quantidade em óleos de linhaça e oliva. Ácidos graxos saturados C18:0 (ácido esteárico, por exemplo) parecem ter efeito neutro sobre o aumento de colesterol (Costa, & Rosa, 2010; Santos et al., 2013).

A partir das informações sobre o percentual de lipídios totais da farinha de linhaça (41,31%) e da porcentagem de ácido α -linolênico presente no óleo desta matéria-prima (53,58%), verificou-se que a farinha de linhaça (100 g) contém um total de 22,14 mL de ácido α -linolênico. Observando as recomendações do *Institute of Medicine* (IOM, 2005) para o consumo desse ácido graxo (1,6 g para homens a partir de 14 anos e 1,1 g para mulheres com idade igual ou superior a 14 anos), constata-se que a ingestão diária de 7,22 g de farinha de linhaça, para homens, e 4,96 g para mulheres pode suprir a necessidade diária de ácido α -linolênico.

3.4.2 Estabilidade oxidativa do óleo de linhaça

A Tabela 3 apresenta o período de indução (PI) de óleo de linhaça, quando submetido a diferentes temperaturas. Observou-se que o PI diminuiu conforme o acréscimo da temperatura, o que mostra que temperaturas mais elevadas (neste caso 110 °C e 120 °C) promovem menor estabilidade oxidativa do óleo de linhaça. Tal fato se deve à composição deste óleo, formado principalmente por ácidos graxos insaturados, que devido suas duplas ligações apresentam baixo ponto de fusão. Quanto maior a insaturação, menor a estabilidade do óleo (Kerrihard, et al., 2015, Redondo-Cuevas, et al., 2018).

A estabilidade oxidativa depende da temperatura, da composição do óleo e concentração de antioxidante natural. Período de indução ou medida da estabilidade oxidativa, onde se inicia a processo de propagação da reação oxidativa (Gomes, & Kurozawa, 2020).

Tabela 3 - Período de Indução (horas) do óleo de linhaça em diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	ln(PI)	PI (horas)
80	1,324419	3,76
90	1,022451	2,78
100	0,307485	1,36
110	-0,11653	0,89
120	-0,77653	0,46

ln(PI): logaritmo natural de PI. PI: período de indução. Fonte: Autores.

Barroso et al. (2014) reportaram que o período de indução e a estabilidade oxidativa do óleo da linhaça marrom foi maior do que da dourada, durante seus armazenamentos (365 dias), provavelmente devido a sua maior concentração de tocoferóis e capacidade antioxidativa. Redondo-Cuevas et al. (2018) estudaram a estabilidade oxidativa de 22 diferentes gorduras e óleos e verificaram que o óleo de milho apresentou um período de indução de 0,84 horas, sendo o que que mais se assemelha ao óleo de linhaça, ao contrário do óleo de coco prensado a frio, que mostrou-se mais estável, com um período de indução de 65,01 horas. O óleo de coco, por conter grande quantidade de ácido láurico (ácido graxo saturado) torna-se menos propenso à degradação oxidativa.

Os métodos de determinação acelerada apresentam resultados em menor tempo, reduzindo assim o consumo de reagentes. Como desvantagem, esses métodos tem uma validade restrita, pois o mecanismo de oxidação é modificado à medida que o óleo é submetido ao aquecimento, à luz ou contato com metais. Os testes realizados em temperatura ambiente têm resultados mais próximos da estocagem real (Cini, et al., 2013).

4. Considerações Finais

A farinha de linhaça apresentou 211,53 mg EAG/100g de compostos fenólicos, que são antioxidantes. Essa farinha exibiu ou alto teor de lipídios com maior concentração em ácido α -linolênico (C 18:3), seguido do oleico (C 18:1), linoleico (C 18:2) e em menores intensidades, os saturados, esteárico (C 18:0) e palmítico (C 16:0).

O óleo proveniente dessa farinha mostrou um decréscimo em sua estabilidade oxidativa (baixo PI), com o aumento da temperatura de exposição do óleo. Provavelmente, isso foi decorrente do alto percentual de seus ácidos graxos insaturados.

O que pode demandar cuidados quanto à conservação da farinha e óleo de linhaça e dos produtos que os contenham em sua composição. Além disso, faz-se necessário avaliar o teor dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), principalmente do α -linolênico nos produtos adicionados de farinha e óleo de linhaça, especialmente aqueles submetidos a temperaturas acima de 120 °C, como é o caso de produtos da panificação.

Referências

American Oil Chemists' Society - AOCS. (2005). *Official methods and recommended practices of the AOCS*. (5a ed.), Champaign: AOCS.

Ankom. (2009). *Technology method 2: rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction*. Macedon, 2.

Association of Official Analytical Chemists - AOAC. (2005). *Official Methods of analysis of AOAC International*. (18a ed.) Washington: AOAC.

Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plant and agri-industrial byproducts: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.07.042.

Bañares, C., Martin, D., Reglero, G., & Torres, C. F. (2019). Protective effect of hydroxytyrosol and Rosemary extract in a comparative study of the oxidative stability of Echium oil. *Food Chemistry*, 290, 316-323. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.141.

Barroso, A. K. M., Torres, A. G., Branco, V. N. C., Ferreira, A., Finotelli, P. V., Freitas, S. P., & Leão, M. H. M. da R. (2014). Brown and golden flaxseed: chemical and functional properties of the seeds and the cold-pressed oils. *Ciência Rural*, 44(1), 181-187. doi: 10.1590/S0103-84782014000100029.

Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *The Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911-917. doi: 10.1139/o59-099.

Cini, J. R. de M., Borsato, D., Guedes, C. L. B., Silva, H. C. da, & Coppo, R. L. (2013). Comparação dos métodos de determinação da estabilidade oxidativa de biodiesel B100, em mistura com antioxidantes sintéticos: aplicação do delineamento simplex-centroide com variável de processo. *Química Nova*, 36(1), 79-84. doi: 10.1590/S0100-40422013000100015.

Costa, N. M. B., & Rosa, C. O. B. (2010). *Alimentos funcionais: componentes bioativos e efeitos fisiológicos*. Rio de Janeiro: Rubio.

De Ridder, D., Kroese, F., Evers, C., Adriaanse, M. & Gillebaart, M. (2017). Healthy diet: Health impact, prevalence, correlates, and interventions. *Psychology and Health*, 32(8), 907-941. doi: 10.1080/08870446.2017.1316849.

Edel, A., Aliani, M., & Pierce, G. N. (2015). Stability of bioactives in flaxseed and flaxseed-fortified foods. *Food Research International*, 77, 140-155. doi: 10.1016/j.foodres.2015.07.035.

European Committee for Standardization – ECS. (2003). *Method EN 14112:2003: fat and oil derivatives - fatty acid methyl esters (FAME). Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test)*. Berlin.

Gaspar, M. C. de M. P., Garcia, A. M., & Larrea-Killinger, C. (2020). How would you define healthy food? Social representations of Brazilian, French and Spanish dietitians and young laywomen. *Appetite*. 53, 104728. doi: 10.1016/j.appet.2020.104728.

Gomes, M. H. G., & Kurozawa, L. E. (2020). Improvement of the functional and antioxidant properties of rice protein by enzymatic hydrolysis for the microencapsulation of linseed oil. *Journal of Food Engineering*, 267, 10976. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109761.

Hartman L., & Lago R. C. A. (1973). *Rapid preparation of fatty acid methyl ester from lipids. Laboratory Practice*, 22, 475-476 passim. PMID: 4727126.

Illanes, A., & Guerrero, C. (2016). Chapter 2 – Functional foods and feeds: probiotics, prebiotics and synbiotics. In Illanes, A., Guerrero, C., Vera, C., Wilson, L., Conejeros, R., & Scott, F. (Editors). *Lactose-Derived Prebiotics*. Academic Press, 35-86, ISBN 9780128027240. doi: 10.1016/B978-0-12-802724-0.00002-0.35-86.

Institute of Medicine - IOM. (2005). *Dietary Reference Intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/10490.

Ishak, W. M. W., Katas, H., Yuen, N. P., Abdullah, M. A., & Zulfakar, M. H. (2019). Topical application of omega-3-, omega-6-, and omega-9-rich oil emulsions for cutaneous wound healing in rats. *Drug Delivery and Translational Research*, 9(2), 418-433. doi: 10.1007/s13346-018-0522-8.

Kaur, M., Singh, V., & Kaur, R. 2017. Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 9, 14-20. doi: 10.1016/j.bcdf.2016.12.002.

Kerrihard, A. L., Nagy, K., Craft, B. D., Beggio, M., & Pegg, R. B. (2015). Oxidative stability of commodity fats and oils: modeling based on fatty acid composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92, 1153–1163. doi: 10.1007/s11746-015-2686-4.

Khattab, R. Y., & Zeitoun, M. A. (2013). Quality evaluation of flaxseed oil obtained by different extraction techniques. *LWT – Food Science Technoogy.*, 53(1), 338–345. doi: 10.1016/j.lwt.2013.01.004.

Laidens, C. de P., Postaué, N., Stevanato, N., & Silva, C. da. (2019). Extração a baixa pressão do óleo de sementes de linhaça utilizando etanol como solvente. *e-xacta*, 12(2), 1-10. doi: 10.18674/exacta.v12i2.2736.

Lan, Y., Ohm, J.-B., Chen, B., & Rao, J. (2020). Physicochemical properties and aroma profiles of flaxseed proteins extracted from whole flaxseed and flaxseed meal. *Food Hydrocolloids*, 104, 105731. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105731.

Michotte, D., Rogez, H., Chirinos, R., Mignolet, E., Campos, D., & Larondelle, Y. (2011). Linseed oil stabilisation with pure natural phenolic compounds. *Food Chemistry*, 129, 1228–1231. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.05.108.

Morais, S. A. L. de, Aquino, F. J. T. de, Nascimento, E. A. do, Oliveira, G. S. de, Chang, R., Santos, N. C. dos, & Rosa, G. M. (2008). Análise de compostos bioativos, grupos ácidos e da atividade antioxidante do café arábica (*Coffea arabica*) do cerrado e de seus grãos defeituosos (PVA) submetidos a diferentes torras. *Food Science and Technology*, 28(Supp 1.), 198-207. doi: 10.1590/S0101-20612008000500031.

Mueller, K., Eisner, P., Yoshie-Stark, Y., Nakada, R., & Kirchhoff, E. (2010). Functional properties and chemical composition of fractionated brown and yellow linseed meal (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Engineering*, 98, 453-460. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.01.028.

Muñoz-González, I., Ruiz-Capillas, C., Salvador, M., & Herrero, A.M. (2021). Emulsion gels as delivery systems for phenolic compounds: nutritional, technological and structural properties, *Food Chemistry*, 339, 128049. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128049.

Nandi, I., & Ghosh, M. (2015). Studies on functional and antioxidant property of dietary fibre extracted from defatted sesame husk, rice bran and flaxseed. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 5(2), 129-136. doi: 10.1016/j.bcdf.2015.03.001.

Piva, G. S., Weschenfelder, T. A., Franceschi, E., Cansian, R., Paroul, N., & Steffens, C. (2018). Linseed (*Linum usitatissimum*) oil extraction using different solvents. *Food Technology and Biotechnology*, 56(3), 366-372. doi: 10.17113/ftb.56.03.18.5318.

Redondo-Cuevas, L., Castellano, G., Torrens, F., & Raikos, V. (2018). Revealing the relationship between vegetable oil composition and oxidative stability: a multifactorial

approach. *Journal of Food Composition and Analysis*, 66, 221-229. doi: 10.1016/j.jfca.2017.12.027.

Rombaut, N., Savoie, R., Hecke, E. V., & Thomasset, B. (2017). Supercritical CO₂ extraction of linseed: optimization by experimental design with regards to oil yield and composition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119, 2-9. doi: 10.1002/ejlt.201600078.

Rubio, C., González-Wellera, D., Caballero, J. M., Romano, A. R., Paz, S., Hardisson, A., Gutiérrez, A., & J., Revert, C. (2018) Metals in food products with rising consumption (brewer's yeast, wheatbran, oat bran, sesame seeds, flaxseeds, chia seed). A nutritional and toxicological evaluation. *Journal of Functional Foods*, 48, 558–565. doi: 10.1016/j.jff.2018.07.051.

Santos, F. L., Azeredo, V. B., Andrade, C. T., Marques, I. P., Romeiro, G. A., & Araújo, K. G. L. (2013). Efeito da adição de farinha de linhaça à dieta sobre a concentração de colesterol e ácidos graxos em camarões. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65(3), 909-917. doi: 10.1590/S0102-09352013000300041.

Santos, R. C. (2010). O valor energético dos alimentos: exemplo de uma determinação experimental, usando calorimetria de combustão. *Química Nova*, 33(1), 220-224. doi: 10.1590/S0100-40422010000100038.

Setayeshgar, S., Ekwaru, J. P., Maximova, K., Majumdar, S. R., Storey, K. E., McGavock, J., & Veugelers, P. J. (2017). Dietary intake and prospective changes in cardiometabolic risk factors in children and youth. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(1): 39-45. doi: 10.1139/apnm-2016-0215.

Shim, Y. Y., Guia, B., Arnison, P. G., Wang, Y., Reaney, M. J. T. (2014). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 38(1), 5-20. doi: 10.1016/j.tifs.2014.03.011.

Szydłowska-Czerniak, A., Tymczewska, A., Momot, M., & Włodarczyk, K. (2020). Optimization of the microwave treatment of linseed for cold-pressing linseed oil - Changes in

its chemical and sensory qualities. *LWT - Food Science and Technology*, 126, 109317. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109317.

Taylor, D. C., Smith, M. A., Fobert, P., Mietkiewska, E. & Weselake, R.J.(2011). Plant systems. Metabolic engineering of higher plants to produce bio-industrial oils. In Moo-Young, M (Ed.). *Comprehensive biotechnology* (2nd Edition), 4, 67-85. Record identifier 65ef62b7-48ad-429f-9c05-3860098f6bd6. Hardcover ISBN: 9780444533524.

Tuncel, N. C., Uygur, A., & Yüceer, Y. K. (2017). The Effects of Infrared Roasting on HCN Content, Chemical Composition and Storage Stability of Flaxseed and Flaxseed Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(6),1-8. doi: 10.1007/s11746-017-2982-2.

Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Sobota, A., Nawrocka, A., Blicharz-Kania, A., & Andrejko, D. The possibility of using by-products from the flaxseed industry for functional bread production. *LWT – Food Science and Technology*, 118, 108860. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108860.

Zou, X. G., Chen, X. L., Hu, J. N., Wang, Y. F., Gong, D. M., Zhu, X. M., & Deng, Z. Y. (2017). Comparisons of proximate compositions, fatty acids profile and micronutrients between fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.). *Journal Food Composition and Analysis*, 62,168–176. doi: 10.1016/j.jfca.2017.06.001.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Cristiano Silva da Costa – 25%

Dorasílvia Ferreira Pontes – 15%

Stella Regina Arcanjo Medeiros – 15%

Maria Nilka de Oliveira – 10%

Leiliane da Fonseca Lima Herculano – 10%

Francisco Cardoso Figueiredo – 10%

Márcia Maria Leal de Medeiros – 5%

Marcos Venânces de Souza Leão – 5%