EFEITO DA TEMPERATURA, TEMPO DE PROCESSAMENTO E REUTILIZAÇÃO DE ÓLEOS E GORDURAS NA PEROXIDAÇÃO LIPÍDICA

EFFECT OF TEMPERATURE, PROCESSING TIME AND REPEATED USE OF OIL AND FATS ON LIPID PEROXIDATION

Danielle Soares de Alcântara Santos[1], Ângela de Oliveira Godoy Ilha[1], Silvio José Valadão Vicente[2]

[1]Universidade Santa Cecília, Faculdade de Nutrição. [2]Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia Química.
E-mail para contato: danielle.alcantara06@mail.com

RESUMO - Peroxidação lipídica é uma reação que ocorre nos alimentos que leva a produção de moléculas oxidantes e citotóxicas que podem afetar a saúde humana. Condições que aumentam a ocorrência desta reação incluem o uso excessivo de calor e o tempo de preparo dos alimentos. Esta pesquisa visou estudar a peroxidação de óleo de soja e gordura bovina durante armazenagem em diferentes condições assim como a reutilização em processos de fritura. Foi verificado que a armazenagem até cinco meses aumentou a concentração dos peróxidos, sem comprometer os produtos. Observou-se também que após quatro reutilizações, tanto o óleo como a gordura se tornaram impróprios à ingestão humana.

Palavras-chave: Peroxidação lipídica; Óleos e gorduras; Temperatura de processamento; Tempo de processamento; Reutilização de óleos e gorduras.

ABSTRACT - Lipid peroxidation is a reaction that occurs in food and leads to the production of oxidizing and citotoxic molecules that can affect human health. Conditions that increase the occurrence of this reaction include excessive heat and food preparation time. This research aimed to study the kinetics of peroxidation of soybean oil and beef fat during storage under different conditions as well as the reuse in frying processes. It was found that storage for up to five months increased the concentration of peroxides, without compromising the products. It was also observed that after four reuses, both the oil and fat became unfit for human consumption.

Keywords: Lipid peroxidation; Oils and fats; Processing temperature; Processing time; Reuse of oil and fats.

1 INTRODUÇÃO

O aumento das substâncias oxidantes ou a diminuição das redutoras resultam no desequilíbrio da homeostase redox (chamado estresse oxidativo ou EO) com danos ao DNA, proteínas, lipídios e outras biomoléculas, alterando a estrutura e a atividade das mesmas e podendo causar sérios danos aos processos biológicos levando à doenças e, inclusive, à morte (Gaschles e Stockwell, 2017; Jelic et al, 2019).

A peroxidação lipídica (PL) ocorre nas mitocôndrias, membranas celulares e lipoproteínas formando compostos citotóxicos que contribuem para o EO. Pode ser iniciado pelo radical hidroxila (•OH) que remove um hidrogênio (H•) de um ácido graxo gerando um radical (L•) muito reativo. Esse reage com oxigênio (O_2) produzindo um radical peroxila (LOO•) que reage com outro ácido graxo em uma reação em cadeia. Os LOO• dão sequência à reação em cadeia ou se decompõe em compostos secundários que danificam biomoléculas e estruturas celulares (Halliwell e Gutteridge, 2015; Valgimigli, 2023).

A PL também ocorre de forma exógena (O_2, luz, temperaturas e radiações UV) com perda da qualidade dos alimentos durante a fabricação, transporte, armazenagem e preparo, produzindo os mesmos compostos deletérios à saúde (Fadda et al, 2022; Geng, Liu e Zhang, 2023; Dragoev, 2024). Logo, o entendimento destes mecanismos é relevante para Nutrição e outras ciências relacionadas aos alimentos (Ganéo, Germek e Jordão, 2024).

A PL aumenta o risco de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) como diabetes, Alzheimer e câncer, dentre outras, sendo fundamental controlar o EO para proteger a saúde dos consumidores (Halliwell e Gutteridge, 2015; Aranda-Rivera et al, 2022).

A exposição dos alimentos ao calor causa a PL sendo agravada na reutilização do óleo ou gordura em frituras (Fadda et al, 2022; Bustani e Soni, 2023). Alimentos com baixo controle de qualidade (comércios de rua, ambulantes, pastelarias etc.) podem ser prejudiciais à saúde humana, requerendo boas práticas de uso conforme a Resolução RDC Nº 216/2004 da ANVISA (Brasil, 2004) para minimizar os riscos aos consumidores.

A Instrução Normativa Nº 87 de 15 de março de 2021 da ANVISA estabelece os limites para o consumo humano de óleos e gorduras vegetais quanto à PL, com o máximo de 10 mEq/kg para produtos refinados e 15 mEq/kg para óleos prensados a frio e não refinados (Brasil, 2021). Já o *Codex Alimentarius* (1999) limita em 10 mEq/kg as gorduras animal.

Estudos têm sido publicados sobre a PL, mas a maior parte destes analisou apenas

amostras pontuais sem considerar efeitos após processos repetitivos ou durante longas armazenagens. Este estudo avaliou a cinética da PL em óleo e gordura submetidos a diferentes condições, contribuindo para o entendimento dos fatores que promovem a PL e fornecendo informações sobre a formação destes compostos. A compreensão sobre a PL é fundamental para o controle de compostos tóxicos nos alimentos, pelo risco de DCNT (Jomova et al, 2023; Valgimigli, 2023, Dragoev, 2024).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi dividido em duas etapas: 1) Evolução da PL em óleo e gordura armazenados em diferentes condições e; 2) Evolução da PL em óleo e gordura após processamento térmico em diferentes condições.

2.1 MATERIAIS

- Óleo de soja refinado (*Glycine max* L. Merr) embalado em garrafas PET (polietileno tereftalato) de 500 mL utilizado nos testes de armazenamento e de tratamento térmico.
- Gordura bovina (*Bos taurus*) utilizada nos testes de armazenamento e de tratamento térmico.
- Batata Asterix (*Solanum tuberosum L*) utilizada na etapa de processamento térmico. Foram cortadas em cubos de 1x1 cm antes das frituras (corte *macédoine*) para uniformidade das amostras de modo evitar vieses experimentais.

2.2 REAGENTES

Ácido acético glacial P.A. (99,5%), clorofórmio P.A. (99%), iodeto de potássio (KI) P.A. (99,6%), amido solúvel P.A. (99%), tiossulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$) P.A. (99,5%).

2.3 EQUIPAMENTOS

- *Cooktop* de indução elétrica com quatro bocas, marca Philco modelo Volcano.
- Termômetro culinário digital de imersão marca Hércules modelo Ter-15 (até 300 ºC).
- Garrafas de PET (200 mL) com tampa de rosca e batoque acoplado para óleos e frascos de vidro (200 mL) com tampa metálica de rosca e batoque acoplado para gordura.

2.4 MÉTODOS

2.4.1 Testes de armazenagem

a) Temperatura ambiente: as amostras foram mantidas à temperatura ambiente (20 - 30 °C) e ao abrigo da luz, simulando armazenagem doméstica ou em supermercados.

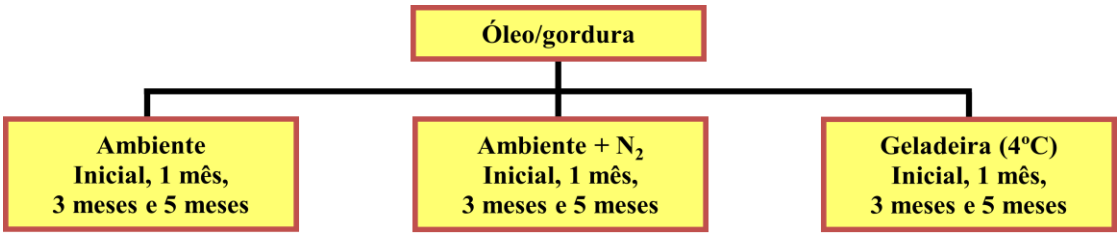
b) Temperatura ambiente com nitrogênio (N_2): os frascos com as amostras foram inertizados

com N_2 e fechados visando avaliar o efeito da redução do O_2 na taxa de PL.

c) Refrigeração: as amostras foram mantidas em geladeira (4 °C) simulando armazenamento em ambiente doméstico, visando retardar o processo oxidativo.

As amostras foram devidamente identificadas (tipo, condição de armazenagem e datas dos testes), permitindo o controle e a rastreabilidade dos ensaios (Figura 1).

Figura 1 – Condições de armazenagem para avaliação da PL.



Foram separadas quatro amostras de óleo contendo 180 mL em cada frasco. A cada período de amostragem, um dos frascos foi aberto e retiradas três alíquotas de 5 gramas cada para determinação em triplicata do índice de peróxidos.

Para a gordura, o tecido conjuntivo foi eliminado por fusão e filtração em peneira fina, sendo estocada em frascos *Mason Jar* contendo 180 mL de gordura cada. O armazenamento da gordura seguiu as mesmas condições para o óleo. A gordura foi aquecida para fusão e homogeneização antes da retirada das alíquotas para análise.

2.4.2 Testes de processamento térmico

As frituras foram feitas utilizando a relação batata/lipídio (40 g/200 mL) em todas as repetições. O óleo e a gordura foram testados em diferentes temperaturas, tempos e reutilizações. Como o *cooktop* não exibe temperaturas em ºC, mas em escala digital de 1 a 9, etapa prévia identificou as graduações adequadas ao estudo que foram nível 2 (144–149 ºC), nível 3 (210–215 ºC) e nível 4 (257–260 ºC). A escolha dessas faixas foi feita pela qualidade da batata frita obtida. O estudo foi conduzido em três etapas sequenciais:

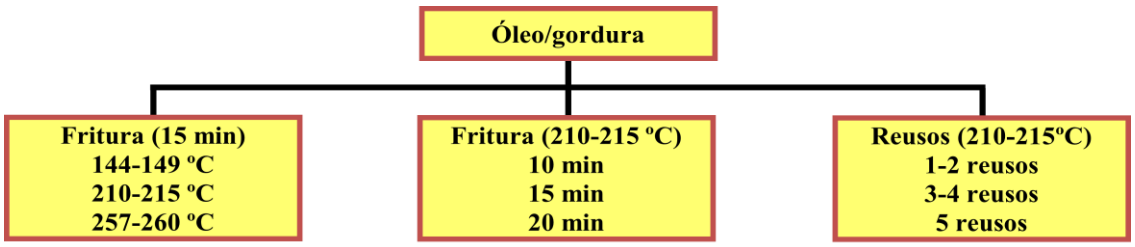
• Temperatura ideal: as batatas foram fritas em três temperaturas por 15 minutos de modo a se obter um produto aprazível. Finalizados os testes, o óleo e a gordura foram analisados. Com os resultados foi escolhida a temperatura mais adequada.

• Tempo ideal: usando a temperatura definida na etapa anterior foi variado o tempo de fritura para definir o tempo ideal. Finalizados os testes, foi realizada a determinação da PL no óleo e na gordura.

• Reutilização: após definir a temperatura e o tempo ideais de fritura, o óleo e a gordura foram sequencialmente reutilizados nestas condições visando identificar após quantas reutilizações a qualidade do lipídio ficou comprometida pela PL.

Os procedimentos deste estudo seguiram as diretrizes da Resolução RDC Nº 482/1999 da ANVISA (Brasil, 1999) no que se refere ao controle dos óleos e gorduras utilizados em alimentos. A sequência dos testes deste item pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 – Condições do tratamento térmico para avaliação da PL.



2.4.3 Método analítico para peroxidação lipídica e análise estatística

Utilizou-se método volumétrico (iodometria) indicado pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). As análises foram feitas em triplicata e apresentadas como média ± desvio padrão. A análise estatística utilizou o teste "t" de Student com nível de significância $\alpha = 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ÍNDICE DE PERÓXIDOS APÓS ARMAZENAGEM

As análises iniciais exibiram baixos valores de PL para o óleo (2,47 ± 0,34 mEq/kg) e para a gordura (2,41 ± 0,25 mEq/kg), estando adequados para alimentação humana (Brasil, 2005) e sem diferença estatisticamente significativa ($p = 0,837$). Os produtos foram armazenados conforme o Item 2.4.1, sendo analisados após 1, 3 e 5 meses.

3.1.1 Armazenagem de óleo de soja

Após armazenagem, o óleo exibiu os valores da Tabela 1 obtendo-se as seguintes informações:

a) O armazenamento após cinco meses exibiu gradual aumento da PL sem ultrapassar o limite seguro para consumo humano (Brasil, 2021), o que justifica a validade geralmente praticada pelos produtores de óleo (seis meses).

b) Após o mesmo período em geladeira, os resultados foram próximos aos da armazenagem

em ambiente, sugerindo que neste intervalo de temperatura e tempo, a PL nestas duas condições se mantiveram no mesmo patamar (p = 0,220).

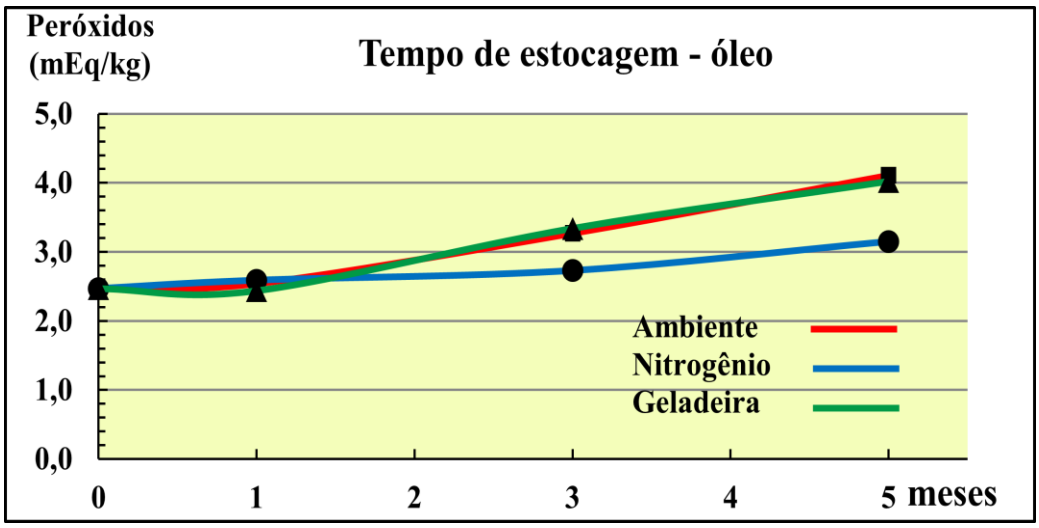
c) Após o mesmo período com inertização de N_2, a PL foi bastante reduzida. Comparando-se as médias obtidas após cinco meses em ambiente e sob N_2, ficou evidente que o processo oxidativo foi bem menor nas amostras com inertização com N_2 (p < 0,05). Entretanto, esta prática em domicílios, ainda que favorável contra a PL é limitada pela não disponibilidade do N_2 para tal.

Tabela 1 – PL (mEq/kg) em óleo durante armazenagem.

Condição	Inicial	1 mês	3 meses	5 meses
Ambiente	**2,16 2,83 2,41 média = 2,47 dp = 0,34**	**2,94 2,40 2,28 média = 2,54 dp = 0,35**	**3,50 3,04 3,28 média = 3,27 dp = 0,23**	**4,20 4,05 4,08 média = 4,11 dp = 0,08**
Geladeira		**2,41 2,30 2,61 média = 2,44 dp = 0,16**	**3,48 3,27 3,26 média = 3,34 dp = 0,12**	**4,00 4,10 3,96 média = 4,02 dp = 0,07**
Sob N_2		**2,60 2,76 2,41 média = 2,59 dp = 0,18**	**3,02 2,57 2,62 média = 2,73 dp = 0,25**	**3,12 3,44 2,88 média = 3,15 dp = 0,28**

Para melhor visualização das informações obtidas é apresentada a Figura 3.

Figura 3 – PL (mEq/kg) em óleo sob diferentes estocagens.



3.1.2 Armazenagem de gordura bovina

Após a armazenagem por cinco meses da gordura bovina nas mesmas três condições já citadas, as amostras foram analisadas sendo obtidos os valores da Tabela 2.

Analisando estes valores, puderam ser obtidas as seguintes informações:

d) A armazenagem à temperatura ambiente causou pequeno aumento da PL, um pouco inferior ao óleo pela maior presença de ésteres graxos saturados (menor tendência a PL) e a rápida solidificação da gordura após os testes, reduzindo a penetração do O_2 ao interior da massa da gordura.

e) A armazenagem em geladeira causou baixo nível de PL pelos mesmos fatores acima mencionados (presença de ésteres graxos saturados e rápida solidificação da amostra).

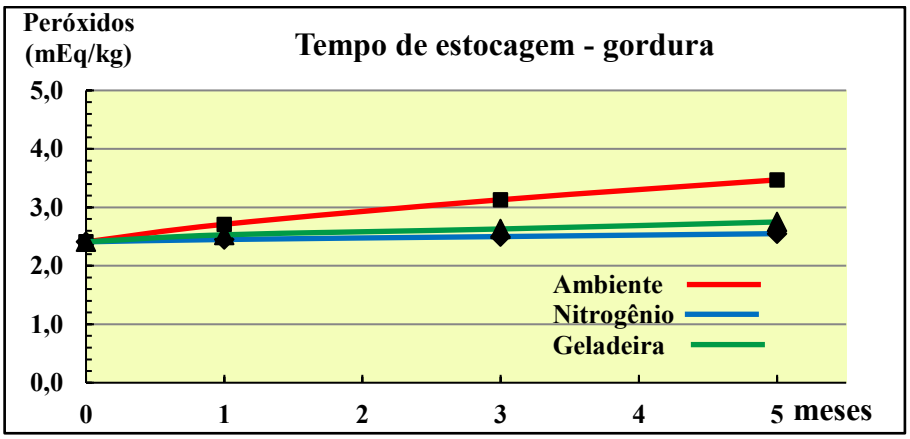
f) A armazenagem sob N_2 causou ainda menor grau de PL graças aos fatores acima mencionados (principalmente a restrição de O_2) e a baixa temperatura, que retardam a reação em cadeia.

Tabela 2 – PL (mEq/kg) em gordura durante armazenagem.

Condição	Inicial	1 mês	3 meses	5 meses
Ambiente	2,38 2,68 2,18 média = 2,41 dp = 0,25	3,01 2,41 2,71 média = 2,71 dp = 0,30	3,41 2,83 3,15 média = 3,13 dp = 0,29	3,86 3,21 3,33 média = 3,47 dp = 0,35
Geladeira		2,36 2,64 2,58 média = 2,53 dp = 0,15	2,89 2,62 2,38 média = 2,63 dp = 0,26	3,01 2,51 2,74 média = 2,75 dp = 0,25
Sob N_2		2,29 2,58 2,49 média = 2,45 dp = 0,15	2,21 2,64 2,65 média = 2,50 dp = 0,25	2,61 2,39 2,65 média = 2,55 dp = 0,14

Para melhor visualização das informações obtidas é apresentada a Figura 4.

Figura 4 – PL (mEq/kg) em gordura sob diferentes estocagens.



3.2 ÍNDICE DE PERÓXIDOS APÓS PROCESSAMENTO TÉRMICO

Este item visou avaliar a PL em óleo e gordura após reutilizações. Três etapas foram desenvolvidas: determinação da temperatura ótima de fritura, tempo ideal de processamento e reutilização do óleo e da gordura.

3.2.1 Determinação da temperatura ótima de processamento térmico

Nesta etapa foram utilizadas as temperaturas definidas previamente e as amostras foram processadas durante 15 minutos, dando ênfase à qualidade da batata frita.

Após os processamentos térmicos, foram determinadas as PL (IAL, 2008) sendo que os valores individuais, médias e desvios padrão obtidos podem ser vistos na Tabela 3.

Após fritura foi observado aumento gradual da PL conforme a elevação da temperatura, uma vez que maior exposição ao calor provoca maior degradação oxidativa dos lipídios. Este comportamento é amplamente descrito na literatura (Bustani e Soni, 2023).

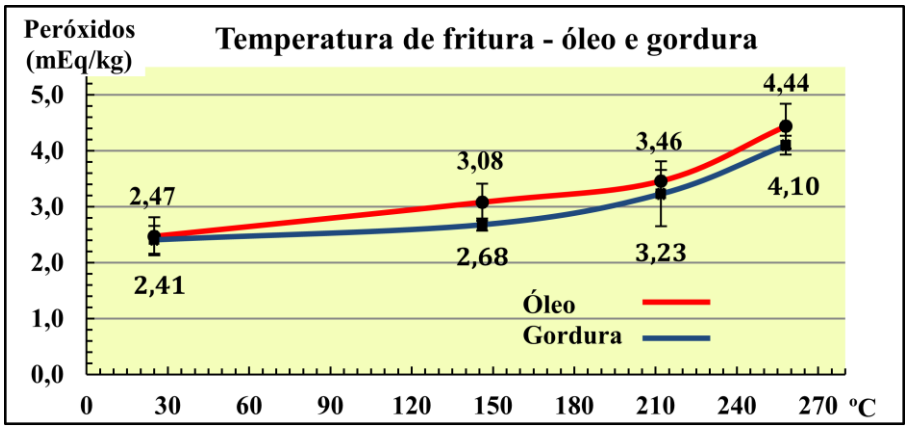
Avaliando a qualidade da batata frita optou-se pela faixa de temperatura de 210-215 ºC pela melhor qualidade obtida para a batata frita (crocância, aspecto, odor e paladar).

Tabela 3 – PL (mEq/kg) em óleo e gordura na avaliação da temperatura de processamento.

Fritura (óleo)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média e dp
Ambiente	2,16	2,83	2,41	2,47 ± 0,34
144-149 ºC	2,81	2,98	3,45	3,08 ± 0,33
210-215 ºC	3,24	3,64	3,49	3,46 ± 0,20
257-260 ºC	4,26	4,16	4,89	4,44 ± 0,40
Fritura (gordura)	**Amostra 1**	**Amostra 2**	**Amostra 3**	**Média e dp**
Ambiente	2,38	2,68	2,18	2,41 ± 0,25
144-149 ºC	2,55	2,74	2,75	2,68 ± 0,11
210-215 ºC	3,81	3,21	2,66	3,23 ± 0,58
257-260 ºC	4,25	3,91	4,15	4,10 ± 0,17

Para melhor visualização é apresentada a Figura 5

Figura 5 – PL (mEq/kg) em óleo e gordura na avaliação da temperatura de processamento.



3.2.2 Determinação do tempo ideal de processamento térmico

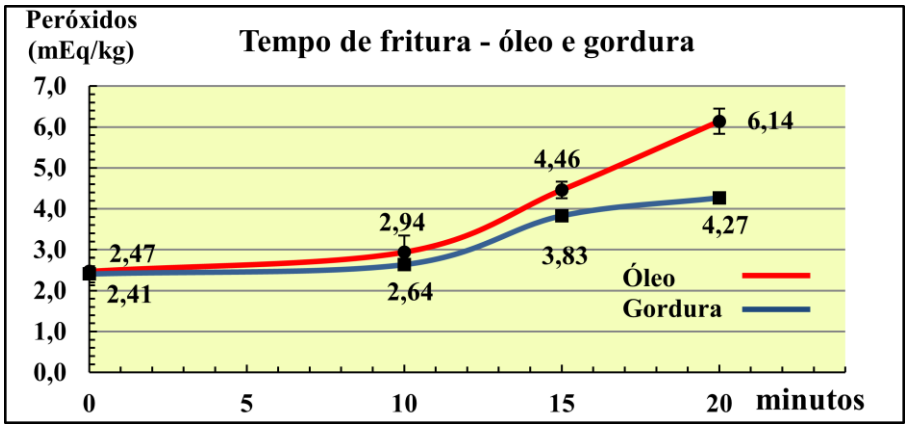
Em 210-215 ºC variou-se o tempo entre 10-20 minutos. O óleo e a gordura foram submetidos à determinação da PL (IAL, 2008) e os valores podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 – PL (mEq/kg) em óleo e gordura após diferentes tempos de processamento.

Fritura (óleo)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média ± dp
0 (ambiente)	2,16	2,83	2,41	2,47 ± 0,34
10 min	3,29	3,04	2,49	2,94 ± 0,41
15 min	4,24	4,64	4,49	4,46 ± 0,20
20 min	6,21	5,80	6,41	6,14 ± 0,31
Fritura (gordura)	**Amostra 1**	**Amostra 2**	**Amostra 3**	**Média ± dp**
0 (ambiente)	2,38	2,68	2,18	2,41 ± 0,25
10 min	2,82	2,38	2,73	2,64 ± 0,23
15 min	4,41	3,81	3,26	3,83 ± 0,58
20 min	4,21	4,13	4,48	4,27 ± 0,18

Avaliando o produto obtido adotou-se como ideal o tempo de 15 minutos. Para melhor visualização das informações obtidas é apresentada a Figura 6.

Figura 6 – PL (mEq/kg) no óleo e gordura em função da temperatura de processamento.



Foi notado aumento dos índices de PL conforme o tempo de fritura, pois exposições mais longas provocam maior reação.

3.2.3 Determinação das reutilizações

Utilizando 210-215 ºC e 15 minutos para cada fritura, foram feitas reutilizações do óleo e gordura até atingir 10 mEq/kg que é o limite para consumo humano (Tabela 5).

Tabela 5 – PL (mEq/kg) em óleo e gordura após reutilizações.

Reutilização (óleo)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média ± dp
0 (ambiente)	2,16	2,83	2,41	2,47 ± 0,34
1	3,24	3,64	3,49	3,46 ± 0,20
2	6,35	5,98	5,68	6,00 ± 0,34
3	8,43	8,12	7,66	8,07 ± 0,39
4	10,03	11,14	10,86	10,68 ± 0,58
5	12,71	12,61	13,02	12,78 ± 0,21
Reutilização (gordura)	**Amostra 1**	**Amostra 2**	**Amostra 3**	**Média ± dp**
0 (ambiente)	2,38	2,68	2,18	2,41 ± 0,25
1	3,41	2,81	2,26	2,83 ± 0,58
2	4,72	5,19	5,04	4,98 ± 0,24
3	7,52	7,12	6,73	7,12 ± 0,40
4	9,68	10,02	10,61	10,10 ± 0,47
5	11,66	12,50	11,98	12,05 ± 0,42

Após estas repetições, foram obtidas as seguintes conclusões:

a) Para o óleo e a gordura, a PL aumentou após cada reutilização, confirmando a necessidade de acompanhamento deste parâmetro em estabelecimentos comerciais.

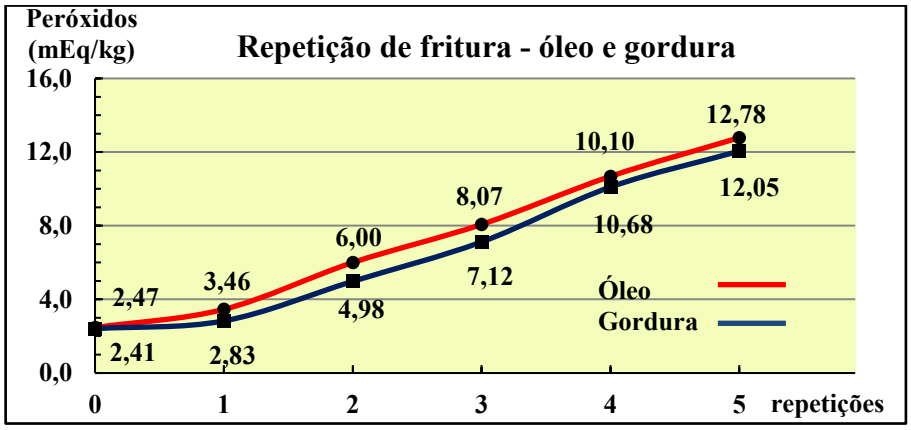
b) Após quatro reutilizações, a PL superou 10 mEq/kg, limite considerado seguro para uso em nutrição humana (Brasil, 2021; *Codex Alimentarius, 1*999).

c) A PL foi um pouco menos acentuada na gordura pela maior presença de triglicerídeos saturados com 41,96% saturados e 58,04% insaturados, comparado ao óleo com 15,25% saturados e 84,75% insaturados (Bilska e Krzywdzinska-Bartkowiak, 2025).

d) A PL nas gorduras é também reduzida uma vez que à temperatura ambiente a mesma solidifica reduzindo a disponibilidade de O_2 para a reação em cadeia.

As informações obtidas são apresentadas na Figura 7.

Figura 7 – PL (mEq/kg) no óleo e gordura após as reutilizações.



4 CONCLUSÕES

Verificou-se que tanto o óleo como a gordura sofreram PL durante armazenagem, porém para o período de cinco meses (dentro do prazo de validade habitual do óleo de soja) a qualidade dos produtos não foi comprometida. A ANVISA não define o limite para a reutilização de óleo ou gordura em frituras. Entretanto, o presente estudo verificou que após quatro reutilizações, o óleo e a gordura ultrapassaram o limite de 10 mEq/kg, antes mesmo de haver a produção de fumaça, espuma, escurecimento ou alteração do odor, podendo formar sustâncias tóxicas e prejudiciais à saúde, aumentando o risco de DCNT.

5 REFERÊNCIAS

Aranda-Rivera et al. RONS and Oxidative Stress: An Overview of Basic Concepts. *Oxygen*. 2(4), 2022, 437-478.

Bilska, A.; Krzywdzinska-Bartkowiak, M. The influence of vegetable oil addition levels of the fatty acid profile and oxidative transformation dynamics in liver sausage-type

processed meats. *Foods*. 14(3), 2025, 380.

BRASIL. Resolução RDC Nº 482 de 23 de setembro de 1999. Dispõe sobre Regulamento Técnico referente a Óleos e Gorduras. *Ministério da Saúde – Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA.* Brasília, DF, 1999.

BRASIL. Resolução RDC N° 216 de 15 de setembro de 2004. Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. *Ministério da Saúde – Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA.* Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Resolução RDC Nº 270 de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para óleos vegetais. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Instrução Normativa nº 87 de 15 de março de 2021. Estabelece as características de qualidade que devem ser atendidas pelos óleos e gorduras vegetais. *Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA.* Brasília, DF, 2021.

Bustani, S.; Soni, S. Review on the Impact of Peroxide Value from Edible Oil: Indian Perspective. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*. 10(2), 2023, 26-33.

Codex Alimentarius. Standard for named animal fats. *Food and Agriculture Organization/* World Health Organization, 1999.

Dragoev, S.G. Lipid Peroxidation in Muscle Foods: Impact on Quality, Safety and Human Health. *Foods.* 13(5), 2024, 797-857.

Fadda, A. et al. Innovative and Sustainable Technologies to Enhance the Oxidative Stability of Vegetable Oils. *Sustainability.* 14, 2022, 849-878.

Ganéo, V.D.; Germek, H.A. & Jordão, M.N.C. Revisão Bibliográfica: Shelf Life do Morango. *Prospectus.* 6(2), 2024, 1131-1157.

Gaschler, M.M. & Stockwell, B.R. Lipid peroxidation in cell death. *Biochemical and Biophysical Research Communications.* 82(3), 2017, 419-425.

Geng, L.; Liu, K. & Zhang, H. Lipid oxidation in foods and its implications on proteins. *Frontiers in Nutrition.* 10, 2023, 1-12.

Halliwell, B. & Gutteridge, J.M.C. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 5th ed. Oxford: Oxford University Press, 2015.

IAL – Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea, 4ª ed. São Paulo: *Instituto Adolfo Lutz*, 2008, p. 1020.

Jelic, M.D. et al. Oxidative stress and its role in cancer. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*. 17, 2019, 22-28.

Jomova, K et al. Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: chronic diseases and aging. *Archives of Toxicology.* 97, 2023, 2499–2574.

Valgimigli, L. Lipid oxidation and antioxidant protection. *Biomolecules.* 13(9), 2023, 1291-1324.