

Comportamento do óleo de soja durante estresse térmico

Soybean oil behavior during thermal stress

DOI:10.34117/bjdv7n4-377

Recebimento dos originais: 04/02/2021

Aceitação para publicação: 01/03/2021

Rafael Pedro Gonçalves

Graduado em Engenharia de Alimentos, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Concórdia.

Endereço: Linha Presidente Jucelino, Interior, S/N, CEP: 89715-899, Concórdia – SC, Brasil.

E-mail: rafaelgoncalves23@yahoo.com.br

Vanessa Cortina Zanetti

Graduanda em Engenharia de Alimentos, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Concórdia.

Endereço: Rodovia SC 283 – Km 17, CEP: 89703-720, Concórdia – SC, Brasil.

E-mail: vanecortinazanetti@gmail.com

Maria Manuela Camino Feltes

Formação acadêmica: Pós-doutorado em Engenharia de Alimentos.

Instituição de Atuação: Universidade Federal de Santa Catarina.

Endereço: Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Rodovia Admar Gonzaga, 1346 – Bairro Itacorubi, CEP: 88034-001, Florianópolis – SC, Brasil.

E-mail: manuela.feltes@ufsc.br

Samantha Lemke Gonzalez

Formação acadêmica: Doutorado em Engenharia de Alimentos – Universidade Federal de Santa Catarina.

Instituição de Atuação: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Concórdia.

Endereço: Rodovia SC 283 – Km 17, CEP: 89703-720, Concórdia – SC, Brasil.

E-mail: samantha.gonzalez@ifc.edu.br

RESUMO

O alimento frito apresenta características organolépticas e sensoriais únicas que atraem o consumidor. No processo de fritura, ocorrem várias reações que acarretam mudanças no óleo, alterando suas características e produzindo substâncias como as acroleínas e acrilamidas, prejudiciais à saúde, podendo causar doenças graves, como o câncer. Assim, a presente pesquisa teve como objetivo estudar o processo de estresse térmico do óleo de soja sob diferentes condições de tempo e temperatura. Amostras de óleo de soja foram aquecidas, em fritadeira elétrica, em 3 temperaturas determinadas (130°C, 150°C, 180°C) e ficaram sob exposição nos tempos de 0,5; 1; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5; 7,5h, sendo retiradas amostras a cada tempo pré-determinado, não havendo reposição de volume. No óleo refinado foram realizadas as análises de atividade de água (equipamento medidor de

Aw), índice de acidez (AOAC 940.28) e índice de peróxidos (AOCS Cd 8-53). Já no óleo oxidado foram realizadas as análises de índice de acidez, índice de peróxidos, colorimetria (colorímetro Konica Minolta) e compostos polares totais (Oxifrit-Test®). Foram realizadas análises estatísticas entre os tratamentos. Os resultados obtidos com relação ao óleo de soja refinado demonstraram que o mesmo se encontrava em condições adequadas, estando dentro dos limites da legislação. Durante a exposição do óleo às condições de fritura, observou-se uma acidez crescente, não apresentando diferenças significativas, sendo a variação mais expressiva de 0,15% em 7,5 h a 180°C, valor que está dentro da legislação (0,9%). O índice de peróxidos apresentou uma diferença significativa nos resultados, com um aumento rápido e contínuo de hidroperóxidos, principalmente em 130°C e 150°C, devido ao processo de autoxidação. Na análise colorimétrica, a amostra apresentou um escurecimento (redução de *L), esverdeamento (-*a) e permanência da coloração amarelada (*b) após o processo de oxidação térmica, demonstrando diferenças significativas entre os tempos e temperaturas. Na análise de compostos polares totais, as temperaturas de 130°C e 150°C apresentaram um óleo com possibilidade de uso ao fim de 7,5 h, já em 180°C o óleo deveria ser descartado após 5,5 h. A qualidade do óleo foi influenciada significativamente pelo tempo e pela temperatura de exposição, produzindo compostos de degradação térmica que alteraram suas características. Segundo recomendações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), o óleo oxidado neste estudo deveria ser descartado após 5,5 h a 180°C.

Palavras Chave: Fritura, oxidação, óleo de soja.

ABSTRACT

The fried food has unique organoleptic and sensory characteristics that attract the consumer. In the frying process, several reactions occur that cause changes in the oil, changing its characteristics and producing compounds such as acroleins and acrylamides, which are harmful to health and can cause serious diseases, such as cancer. Thus, this research aimed to study the process of thermal stress of soybean oil under different conditions of time and temperature. Samples of soybean oil were heated, in an electric fryer, at 3 determined temperatures (130°C, 150°C, 180°C) and were exposed to the times of 0.5; 1; 1.5; 2.5; 3.5; 4.5; 5.5; 6.5; 7.5h, samples being taken at each predetermined time, with no volume replacement. In the refined oil, were analyzed water activity analyzes (Aw measuring equipment), acid value (AOAC 940.28) and peroxide value (AOCS Cd 8-53). In the oxidized oil, were analyzed acid value, peroxide value, colorimetry (Konica Minolta colorimeter) and total polar compounds (Oxifrit-Test®). Statistical analyzes were performed between the treatments. The results obtained in relation to refined soybean oil demonstrated that it was in adequate conditions, being within the limits of the regulation. During the exposure of the oil to frying conditions, an increasing acidity was observed, with no significant differences, with the most expressive variation of 0.15% in 7.5 h at 180°C, a value that is within the legislation (0.9%). The peroxide value showed a significant difference in the results, with a rapid and continuous increase in hydroperoxides, mainly at 130°C and 150°C, due to the self-oxidation process. In the colorimetric analysis, the sample showed a darkening (reduction of *L), greening (-*a) and permanence of the yellow coloration (*b) after the thermal oxidation process, showing significant differences between times and temperatures. In the analysis of total polar compounds, the temperatures of 130°C and 150°C showed an oil with the possibility of use after 7.5 h, in 180°C the oil should be discarded after 5.5 h. The oil quality was significantly influenced by the time and temperature of exposure, producing thermal degradation compounds that altered its characteristics. According to Agência Nacional de

Vigilância Sanitária (Anvisa) recommendations, the oxidized oil in this study should be discarded after 5.5 h at 180°C.

Keywords: Frying, oxidation, soybean oil.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Dana e Saguy (2001), o alimento frito apresenta características organolépticas e sensoriais únicas, incluindo textura, aparência e *flavour*, sendo atraente para o consumidor. Na fritura por imersão, o alimento fica submerso no óleo durante o processo, ocorrendo a transferência de calor. Além de outras transformações que ocorrem no alimento durante a fritura, o óleo é absorvido pelo mesmo. Neste processo, vários são os fatores que podem determinar a qualidade do óleo como: temperatura de fritura, tempo de residência, tipo de óleo, relação entre a superfície da fritadeira e o volume do óleo em contato com o ar, tipo e material constituinte da fritadeira, e tipo de alimento (OSAWA; GONÇALVES; MENDES, 2010; CELLA, REGITANO-D'ARCE, SPOTO, 2002; ANS; MATTOS; JORGE, 1999).

No processo de fritura, ocorrem várias reações como hidrólise, oxidação e polimerização térmica, as quais acarretam mudanças físicas e químicas no óleo, produzindo aldeídos, cetonas, radicais livres e ácidos graxos *trans*. A reação de oxidação prejudica a qualidade do óleo, afetando o aroma, a cor, o *flavour* e o valor nutricional do mesmo, além de levar à formação de substâncias como acroleínas, acrilamidas, aminas heterocíclicas, que podem desencadear câncer. Já a polimerização térmica, mecanismo complexo que ocorre em altas temperaturas e em quantidade limitada de oxigênio, resulta em compostos escuros como monômeros cíclicos, dímeros e polímeros (DANA, SAGUY, 2001; RIQUE, SOARES, MEIRELLES, 2002; SAGUY; DANA, 2003; STOTT-MILLER, NEUHOUSER, STANFORD, 2013; GARÓFOLO et al, 2004).

Em fritura, os óleos formam diversos isômeros geométricos, na forma *trans*, dos ácidos graxos oléico, C18:1 (9c), linoleico, C18:2 (9c, 12c) e alfa-linolênico, C18:3 (9c, 12c, 15c) (CARVALHO et al, 2008). Os isômeros *trans* são formados no processo de fritura por meio de ácidos graxos insaturados induzidos pela temperatura (SANIBAL, MANCINI-FILHO, 2002). Nutricionalmente, os isômeros *trans* são metabolicamente digeridos de forma similar aos isômeros *cis*, no entanto, aqueles não possuem função como ácido graxo essencial (quando originalmente existente), prejudicando a sua absorção (D'AGOSTINI, MANCINI-FILHO, 2012).

Estudos demonstram que a ingestão de óleos oxidados é prejudicial à saúde, podendo causar doenças como câncer, artrite, doenças cardíacas e envelhecimento precoce. Também acarreta a diminuição da digestibilidade, afeta a formação de compostos que auxiliam na regulação da pressão arterial, dos processos de coagulação sanguínea, resposta imunológica e do funcionamento do sistema nervoso central (RIQUE; SOARES; MEIRELLES, 2002; CARVALHO et al, 2008; SANIBAL, MANCINI FILHO, 2002).

No Brasil, ainda não existe nenhum regulamento técnico que descreva os procedimentos para o monitoramento do descarte de óleo ou gordura utilizado no processo de fritura. De acordo com o Informe Técnico nº 11 de 5 de outubro de 2004, da ANVISA/MS (BRASIL, 2004), as recomendações de boas práticas de fritura são: a quantidade de ácidos graxos livres (AGL) não deve ser superior a 0,9 %; o teor de compostos polares não deve ser maior do que 25 %; e os valores de ácido linolênico do óleo de fritura não devem ultrapassar o limite de 2 %.

Jorge et al. (2005) fritaram batatas em fatias por imersão descontínua, nos óleos de girassol, milho e soja, na temperatura média de 180°C, e verificaram as alterações ocorridas em relação ao teor de AGL e compostos polares totais, índice de peróxido e índice de refração, com o aumento do tempo de fritura. Os óleos foram considerados inadequados para o consumo ao final de 7,5 h de fritura. Jorge e Janiere (2005) estudaram a qualidade do óleo de soja utilizado em um restaurante universitário, onde o mesmo era aquecido a 170°C e a fritura ocorria de forma descontínua durante 7 a 9 dias. Os pesquisadores observaram alterações no óleo de soja com o tempo de fritura e recomendam o consumo de alimentos fritos com até 12,5 h de aquecimento. Assim, a presente pesquisa teve como objetivo estudar o processo de estresse térmico do óleo de soja sob diferentes condições de tempo e temperatura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATÉRIA-PRIMA

O óleo de soja refinado, da marca COAMO, em embalagem PET transparente, foi adquirido no comércio local de Concórdia, Santa Catarina, Brasil, dentro de seu prazo de validade e armazenado ao abrigo de luz até o momento do experimento, sendo os frascos todos do mesmo lote. Os experimentos foram conduzidos no Instituto Federal Catarinense

(IFC), no Laboratório de Operações Unitárias, do Departamento de Engenharia de Alimentos.

2.2 OXIDAÇÃO DO ÓLEO

Foram aquecidos 1,5 L de óleo de soja, em fritadeira elétrica da marca Britânia - Multi Fritadeira 2 em 1, com capacidade de 1,5 L, potência de 1200 W e botão de regulagem de temperatura de 90°C a 190°C. O aquecimento se deu em 3 diferentes temperaturas (130°C, 150°C e 180°C), durante um período de 7,5 h, sendo coletadas amostras, inicialmente a cada 30 min e, após 1,5 h, foram coletadas a cada hora (0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5; 7,5 h). Não houve reposição do volume do óleo durante o período de oxidação. A faixa de temperatura foi escolhida, levando em consideração a orientação da ANVISA de aplicação da temperatura máxima de 180°C (BRASIL, 2004), esta controlada através de termômetro de mercúrio.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO

No óleo de soja refinado, foram realizadas análises para a determinação de atividade de água, índice de acidez e índice de peróxidos. Já no óleo oxidado, foram realizadas as análises para a determinação de índice de acidez, índice de peróxidos, colorimetria e compostos polares totais, essas eram realizadas imediatamente após a coleta de 150 mL de amostra. Para a determinação de atividade de água, utilizou-se o equipamento medidor de atividade de água Labmaster da Novasina®, previamente calibrado com água destilada antes da análise. Para a determinação do índice de acidez, a metodologia utilizada foi a AOAC Official Method 940.28, através de titulação da amostra com hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹. O índice de peróxidos foi determinado a partir da metodologia AOCS Official Method Cd 8-53, sendo a titulação com tiosulfato de sódio. A colorimetria foi determinada utilizando o colorímetro Konica Minolta Chroma Meter CR-400, sendo que L* representa a luminosidade variando de 0 (preto) a 100 (branco), o valor a* varia entre -60 (verde) e +60 (vermelho), e o valor b* varia entre -60 (azul) e +60 (amarelo). A determinação de compostos polares totais (CPT) foi realizada pelo teste rápido Oxifrit-Test da Merck KGaA, sendo este um teste colorimétrico que verifica a concentração de 25 a 27% de compostos polares no óleo oxidado. Seus resultados são comparados com uma escala de cores (azul = bom; azul-

verde = regular; verde = trocar e verde-oliva= ruim) e definem um ponto de descarte do óleo.

Os resultados obtidos, em triplicata, foram submetidos à análise de variância ANOVA de fator único, com intervalo de confiança de 95%. E a comparação entre as médias foi realizada pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, com utilização do programa SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA

A Tabela 1 apresenta a caracterização físico-química do óleo de soja.

Tabela 1 - Caracterização físico-química do óleo de soja

ANÁLISE	RESULTADO	LEGISLAÇÃO*
Atividade de água	0,634	-
Índice de acidez	0,087%	< 0,2%
Índice de peróxidos	0,7 meq/Kg	< 2,5 meq/Kg

* Instrução Normativa nº 49, de 22 de dezembro de 2006.

De acordo com os resultados obtidos na caracterização do óleo de soja, observa-se que o mesmo está dentro dos limites estabelecidos pela Instrução Normativa nº 49/06 (BRASIL, 2006), demonstrando que o óleo se encontrava sob condições adequadas de armazenamento.

3.2 COMPORTAMENTO DO ÓLEO DE SOJA DURANTE O ESTRESSE TÉRMICO

3.2.1 Índice de acidez

A Tabela 2 apresenta os valores de acidez do óleo de soja oxidado.

Tabela 2 - Índice de acidez (%) do óleo oxidado de acordo com o tempo e temperatura.

TEMPO (h)	TEMPERATURA ESTRESSE TÉRMICO (°C)		
	130	150	180
0,5	0,07±0,006 ^{Aa*}	0,09±0,006 ^{Aa**}	0,08±0,025 ^{Aa}
1,0	0,08±0,000 ^{Aa}	0,10±0,025 ^{Aa}	0,09±0,003 ^{Aa}
1,5	0,08±0,010 ^{Aa}	0,08±0,003 ^{Aa}	0,09±0,003 ^{Aa}
2,5	0,08±0,000 ^{Aa}	0,08±0,000 ^{Aa}	0,08±0,010 ^{Aa}
3,5	0,08±0,010 ^{Aa}	0,09±0,000 ^{Aa}	0,09±0,003 ^{Aa}
4,5	0,08±0,013 ^{Aa}	0,08±0,006 ^{Aa}	0,10±0,019 ^{Aa}
5,5	0,07±0,003 ^{Aa}	0,12±0,045 ^{Aa}	0,10±0,003 ^{Aa}
6,5	0,08±0,003 ^{Aa}	0,08±0,000 ^{Aa}	0,09±0,016 ^{Aa}
7,5	0,09±0,019 ^{Aa}	0,10±0,019 ^{Aa}	0,15±0,035 ^{Aa}

*A - Valores médios na mesma linha (diferentes temperaturas no mesmo tempo) com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa (P<0,05)

**a - Valores médios na mesma coluna (diferentes tempos na mesma temperatura) com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa (P<0,05)

Os resultados demonstram que não houve diferença significativa, com intervalo de confiança de 95%, do índice de acidez nas temperaturas estudadas, sendo que os valores ficaram semelhantes ao valor encontrado inicialmente, antes da fritura, de 0,087%. No entanto, ocorreu a formação dos AGL, devido às variações dos valores, aparecendo de maneira mais expressiva na temperatura de 180°C em 7,5 h, com 0,15%. A velocidade de formação desses compostos é influenciada por vários fatores, entre os quais a temperatura, a quantidade de água, a quantidade de ciclos de aquecimento e resfriamento e, em especial, a porcentagem de insaturações dos ácidos graxos (LAWSON, 1995; FUENTES, 2011). O processo de degradação dos triacilgliceróis é acelerado pelo calor e luz, e tem como consequência a liberação de ácidos graxos livres

(INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Todos os valores de acidez ficaram abaixo do valor recomendado por Brasil (2004), além de não haver um aumento acentuado da quantidade destes. Esse acontecimento pode ser explicado pelo fato dos AGL serem moderadamente voláteis e suas quantidades são perdidas durante o aquecimento ou, ainda, ocorrer sua oxidação e formação de compostos secundários, que acontece de forma mais rápida conforme o tempo e a temperatura de aquecimento aumentam, então, não sendo detectados na análise de acidez (DAMY, JORGE, 2003).

3.2.2 Índice de peróxidos

A Tabela 3 apresenta os valores de índice de peróxidos do óleo de soja oxidado.

Tabela 3 - Índice de peróxidos (meq/Kg) do óleo oxidado de acordo com o tempo e temperatura.

TEMPO (h)	TEMPERATURA ESTRESSE TÉRMICO (°C)		
	130	150	180
0,5	6,93±4,2 ^{Aa*}	9,72±0,01 ^{Aa**}	2,96±1,4 ^{Aa}
1,0	14,85±1,4 ^{Aab}	17,56±2,8 ^{Aab}	4,92±1,4 ^{Aa}
1,5	30,67±4,2 ^{Ac}	13,8±2,7 ^{ABa}	3,94±2,8 ^{Ba}
2,5	30,67±4,2 ^{Ac}	17,67±2,7 ^{ABab}	8,88±1,4 ^{Ba}
3,5	26,71±7,0 ^{Abc}	16,56±4,1 ^{Aab}	7,87±2,8 ^{Aa}
4,5	39,5±2,7 ^{AcD}	18,68±1,4 ^{Aab}	9,84±2,8 ^{Aa}
5,5	41,39±2,8 ^{AcD}	21,7±5,6 ^{Aab}	15,8±8,4 ^{Ba}
6,5	51,3±0,2 ^{Ad}	37,35±5,6 ^{Bbc}	14,75±4,3 ^{Ba}
7,5	67,07±2,7 ^{Ae}	47,27±13,9 ^{Ac}	56,79±11,1 ^{Ab}

*A-B - Valores médios na mesma linha (diferentes temperaturas no mesmo tempo) com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa (P<0,05)

**a-e - Valores médios na mesma coluna (diferentes tempos na mesma temperatura) com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa (P<0,05)

Observa-se que existe diferença significativa, com intervalo de confiança de 95%, para o índice de peróxido em relação à temperatura e ao tempo de exposição. Verificou-se, comparado com o valor inicial de 0,7 meq/Kg, uma rápida e contínua formação de peróxidos nas temperaturas de 130 e 150°C, atingindo valor máximo de 67,07 meq/kg na condição de temperatura de 130°C e 7,5 h. A temperatura de 180°C apresentou um crescimento dos compostos primários de oxidação de forma mais lenta, mas no último tempo se assemelhou às demais temperaturas, com 56,79 meq/Kg. No Brasil, não existe uma legislação específica para óleo de fritura, mas utilizou-se como medida de comparação a legislação de óleo de soja comercial (BRASIL, 2005), que descreve que o índice de peróxido não pode ser superior a 10meq/kg, então, observa-se que as amostras ultrapassaram este limite no tempo de 1 hora de estresse térmico, com exceção da temperatura de 180°C.

O óleo de soja apresenta cerca de 85% dos ácidos graxos insaturados, sendo esse mais instável, conseqüentemente susceptível a reações de oxidação que têm como principais produtos os radicais livres, a formação e decomposição dos hidroperóxidos, também chamados de compostos primários, e a formação de produtos secundários de oxidação. À medida que o grau de insaturação aumenta, tanto a velocidade de formação, como a quantidade de compostos primários da oxidação são maiores no final do período de indução. Os hidroperóxidos não configuram uma alteração organoléptica. No entanto, a sua transformação em compostos secundários ocorre de forma rápida, e os aldeídos, cetonas e álcoois formados produzem um “*off-flavour*” (CHOE; MIN, 2006; CORSINI et al, 2008; FUENTES, 2011; GERDE et al, 2020; HAMILTON et al, 1997). Desta forma, o aumento da temperatura e do tempo acarretou na rápida formação de compostos secundários. A determinação de índice de peróxidos é uma análise realizada, de forma mais efetiva, para a fase inicial de oxidação do óleo, dessa forma, não é uma caracterização suficiente para verificar se uma amostra está ou não oxidada (SANIBAL, MANCINI-FILHO, 2002).

3.2.3 Colorimetria

A Tabela 4 apresenta os valores da cor do óleo de soja oxidado, obtido por colorimetria.

Tabela 4 - Valores de *L para o óleo de soja em função do tempo e temperatura de exposição.

TEMPO (h)	TEMPERATURA ESTRESSE TÉRMICO (°C)		
	130	150	180
Valores de *L			
0,5	60,27 ^{Ci*}	55,31 ^{Bi**}	53,03 ^{Ag}
1,0	52,70 ^{Bh}	53,21 ^{Cd}	52,11 ^{Ae}
1,5	52,27 ^{Bg}	52,34 ^{Cb}	51,49 ^{Ab}
2,5	54,10 ^{Cf}	51,88 ^{Ag}	52,04 ^{Bd}
3,5	53,65 ^{Ce}	50,79 ^{Af}	52,58 ^{Bf}
4,5	52,96 ^{Cd}	49,51 ^{Ae}	52,00 ^{Bc}
5,5	52,28 ^{Bb}	48,44 ^{Ac}	59,79 ^{Ci}
6,5	55,26 ^{Ca}	48,37 ^{Ah}	54,19 ^{Bh}
7,5	46,98 ^{Ac}	49,21 ^{Ba}	50,65 ^{Ca}
Valores de *a			
0,5	-3,45 ^{Ab}	-2,84 ^{Bd}	-2,48 ^{Ci}
1,0	-3,1 ^{Ae}	-2,72 ^{Cg}	-2,93 ^{Bh}
1,5	-2,68 ^{Bi}	-2,54 ^{Ci}	-3,11 ^{Ag}
2,5	-3,31 ^{Bc}	-2,69 ^{Ch}	-3,74 ^{Ad}
3,5	-2,94 ^{Bg}	-2,93 ^{Cc}	-3,66 ^{Af}
4,5	-3,19 ^{Bd}	-2,82 ^{Ce}	-3,69 ^{Ae}

5,5	-3,01 ^{Cf}	-3,05 ^{Ba}	-4,98 ^{Aa}
6,5	-3,73 ^{Ba}	-2,8 ^{Cf}	-4,93 ^{Ab}
7,5	-2,84 ^{Ch}	-2,97 ^{Bb}	-4,69 ^{Ac}
Valores de *b			
0,5	12,54 ^{Cg}	11,24 ^{Bf}	9,7 ^{Aa}
1,0	11,53 ^{Ce}	10,46 ^{Bd}	10,13 ^{Ab}
1,5	8,91 ^{Aa}	9,12 ^{Ba}	11,21 ^{Cc}
2,5	13,72 ^{Bi}	10,28 ^{Ab}	14,04 ^{Cf}
3,5	9,82 ^{Ab}	11,75 ^{Bg}	13,16 ^{Ce}
4,5	11,06 ^{Bd}	10,6 ^{Ae}	12,71 ^{Cd}
5,5	10,04 ^{Ac}	11,89 ^{Bh}	18,38 ^{Cg}
6,5	13,59 ^{Bh}	10,32 ^{Ac}	19,61 ^{Ch}
7,5	11,91 ^{Af}	12,36 ^{Bi}	23,83 ^{Ci}

*A-C - Valores médios na mesma linha (diferentes temperaturas no mesmo tempo) com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa (P<0,05)

**a-i - Valores médios na mesma coluna (diferentes tempos na mesma temperatura) com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa (P<0,05)

Através dos resultados, verifica-se que existe diferença significativa entre os tempos e entre as temperaturas para os parâmetros *L, *a e *b. A variável L* demonstrou um escurecimento das amostras a partir da redução de seus valores, perdendo luminosidade. Para a variável a*, os valores obtidos demonstraram que houve um esverdeamento das amostras, observado devido ao aumento dos valores na escala negativa. A variável *b demonstrou que a coloração amarela permaneceu após o processo de oxidação, devido à continuação dos valores positivos e com pouca variação. Os resultados encontrados se assemelham aos de Landgraf e Bertho (2019), que avaliaram a

degradação do óleo de soja no processo de fritura de batata pré-frita por imersão contínua em temperatura de 180°C. Os autores encontraram, a partir da análise de cor, um escurecimento das amostras a partir da redução dos valores de *L, um aumento de *a negativo, tendendo a tons de verde, e um *b positivo, indicando tendência ao amarelo. Segundo Choe e Min (2007), conforme o óleo é aquecido e os compostos oxidativos são formados, as características sensoriais do mesmo são alteradas, aumentando sua coloração e influenciando diretamente sua qualidade.

3.2.4 Compostos polares

Os resultados da análise para a determinação de compostos polares a partir do teste Oxifrit-Test para o óleo de soja podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Índice de compostos polares do óleo oxidado de acordo com o tempo e temperatura.

TEMPO (h)	TEMPERATURA ESTRESSE TÉRMICO (°C)		
	130	150	180
0,5	bom	bom	bom
1,0	bom	bom	bom
1,5	bom	bom	bom
2,5	bom	bom	bom
3,5	bom	bom	bom
4,5	bom	bom	regular
5,5	bom	bom	trocar
6,5	bom	bom	trocar
7,5	bom	regular	trocar

Verifica-se que o aumento da temperatura e do tempo de exposição acarretam a formação de compostos polares totais no óleo de soja. Os compostos polares totais são compostos de degradação não voláteis, produzidos a partir de alterações oxidativas, térmicas e hidrolíticas, que possuem polaridade maior do que os triacilgliceróis (DOBARGANES, PÉREZ-CAMINO, MÁRQUEZ-RUIZ, 1989). A partir de estudos realizados em ratos, o consumo de compostos polares totais resulta em problemas gastrointestinais, diarreia, redução do crescimento e, em alguns casos, a morte (MARQUES, VALENTE, da ROSA, 2009).

Os óleos oxidados nas temperaturas de 130°C e 150°C foram classificados como bom e regular, respectivamente, no tempo de 7,5 horas, ainda podendo ser utilizados para o processo de fritura. Já na temperatura de 180°C, em 4,5h, o óleo foi classificado como regular e, a partir de 5,5 h, apresentou necessidade de troca, ou seja, o óleo apresentou valores maiores do que o limite de 25% de compostos polares, seguindo regulamentação internacional e recomendação nacional para descarte para óleos.

4 CONCLUSÃO

Durante o estresse do óleo, observou-se uma acidez crescente, demonstrando a influência do tempo e da temperatura do processo na liberação de ácidos graxos livres da amostra. O índice de peróxidos demonstrou uma rápida formação de hidroperóxidos logo no início do aquecimento, o que continuou até o fim do tempo de análise, sendo consequência do processo de autoxidação. A coloração da amostra apresentou um escurecimento com a redução dos valores de *L, mantendo-se em tonalidades amareladas e esverdeadas. Os compostos polares demonstraram que o óleo se manteve com qualidade nas temperaturas de 130°C e 150°C, e, quando aquecido a 180°C, o tempo máximo de utilização é de 5,5 h. O óleo foi influenciado significativamente pelo tempo e temperatura, produzindo compostos de degradação térmica que alteraram suas características. Segundo recomendações da Anvisa, o óleo oxidado neste estudo deve ser descartado após 5,5 h a 180°C.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Catarinense pela concessão da bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANS, V. G.; MATTOS, E. S.; JORGE, N. Avaliação da qualidade dos óleos de fritura usados em restaurantes, lanchonetes e similares. **Food Science and Technology** (Campinas). v. 19, n. 3, 1999.

AOAC, Association of Official Agricultural Chemists. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists International**. 16th ed. Arlington: AOAC International, 1995. [AOAC Official method 940.28].

AOCS, American Oil Chemists' Society. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. 4 ed. Champaign USA. AOCS. 1990. [AOCS Official method Cd 8-53].

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Óleos e gorduras utilizados em frituras. **Informativo técnico, n. 11, 5 de outubro de 2004**. Disponível em: <(http://antigo.anvisa.gov.br/informacoes-tecnicas13?p_p_id=101_INSTANCE_WvKKx2fhdjM2&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_101_INSTANCE_WvKKx2fhdjM2_groupId=33916&_101_INSTANCE_WvKKx2fhdjM2_urlTitle=informe-tecnico-n-11-de-5-de-outubro-de-2004&_101_INSTANCE_WvKKx2fhdjM2_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_INSTANCE_WvKKx2fhdjM2_assetEntryId=2747026&_101_INSTANCE_WvKKx2fhdjM2_type=content)>. Acesso em: 17/03/2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução-RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005**. Disponível em: <(https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0270_22_09_2005.html)>. Acesso em: 18/03/2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 49, de 22 de dezembro de 2006**. Disponível em: <(http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=643062246)>. Acesso em: 16/03/2021.

CARVALHO, S.M., et al. Efeito da adição de tocoferóis naturais sobre a qualidade de óleo de soja refinado e embalado em PET durante a estocagem. **Braz. J. Food. Technol.** 2008; 11(2):134-43.

CELLA, R. C. F.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 22, p. 111-116, 2002.

CORSINI, M. S. et al. Perfil de ácidos graxos e avaliação da alteração em óleos de fritura. **Química Nova**, v. 31, p. 956-961, 2008.

CHOE, E.; MIN, D.B. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. **Journal of food science**, v.72, n.5, p.77-86, 2007.

D'AGOSTINI, MANCINI-FILHO, 2012. **Ácidos graxos trans: características nutricionales**. In: BLOCK, J.M.; BARRERA-ARELLANO, D. Temas selectos en aceites y grasas. v. 2. São Paulo: Blucher, 2012.

DAMY, P. C.; JORGE, N. Determinações físico-químicas do óleo de soja e da gordura vegetal hidrogenada durante o processo de fritura descontínua. **Braz. J. Food Technol.**, v. 6, n. 2, p. 251-257, 2003.

DANA, D.; SAGUY, I. S. Review – Frying of Nutritious Foods: Obstacles and Feasibility. **Food Sci. Technol. Res.**, v. 7, p. 265-279, 2001.

DOBARGANES, M. C., PÉREZ-CAMINO, M. C. & MÁRQUEZ-RUIZ, G. Determination of compounds in frying fats and oils. **Grasa y Aceites**, 1989, 40, (1), 35-8.

FUENTES, P. H. A. Avaliação da qualidade de óleos de soja, canola, milho e girassol durante o armazenamento. 2011. 98 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95494/297094.pdf>>. Acesso em: 17/03/2021.

GARÓFOLO, A. et al. Dieta e câncer: um enfoque epidemiológico. **Rev. Nutr.** vol. 17, nº 4, Campinas, Oct./Dec. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-52732004000400009&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acessado em: 16/03/2021.

GERDE, J. A. et al. Soybean Oil. In: SHAHIDI, F. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Edible Oils**. 7.ed. EUA: 2020.

HAMILTON, R. J., et al. Chemistry of free radicals in lipids. **Food Chemistry**, 60(2), 193–199, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814696003512>>. Acesso em: 18/03/2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Óleos e gorduras**. In: Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P., coordenadores. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008.

JORGE, N. JANIÈRE, C. Avaliação do óleo de soja submetido ao processo de fritura de alimentos diversos. **Ciência e agrotecnologia - Lavras**. v. 29, n. 5, p. 1001-1007, 2005a. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/cagro/v29n5/a13v29n5.pdf>>. Acesso em: 18/03/2021.

JORGE, N. et al. Alterações físico-químicas dos óleos de girassol, milho e soja em frituras. **Química Nova**. v. 28, n. 6, p. 947-951, 2005b. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000600003>. Acesso em: 18/03/2021.

LANDGRAF, D. C. BERTHO, R. M. Avaliação da degradação do óleo de soja no processo de fritura de batata pré-frita. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Tecnólogo em

Alimentos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Londrina - PR, 2019. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15568/1/LD_COALM_2019_2_02.pdf>. Acesso em: 16/03/2021.

LAWSON, H. **Food oils and fats: technology, utilization and nutrition**. New York: Chapman & Hall, 1995.

MARQUES, A. C. VALENTE, T. B. da ROSA, C. S. Formação de toxinas durante o processamento de alimentos e as possíveis consequências para o organismo humano. **Revista de Nutrição**. vol. 22, n. 2. Campinas, mar./apr. 2009.

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

RIQUE, A. B. R. SOARES, E. A. MEIRELLES, C. M. Nutrição e exercício na prevenção e controle das doenças cardiovasculares. **Rev. Bras. Med. Esporte**. 2002; 8(6): 244-54. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-86922002000600006&script=sci_abstract&tlng=es>. Acesso em: 16/03/2021.

SAGUY, I. S.; DANA, D. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. **Journal of Food Engineering**. v. 56, p. 143-152, 2003.

SANIBAL, E. A. A.; MANCINI FILHO, J. Alterações físicas, químicas e nutricionais de óleos submetidos ao processo de fritura. **Food Ingr. South Am**. 2002; 1(3): 64-71.

STOTT-MILLER, M.; NEUHOUSER, M. L.; STANFORD, J. L. Consumption of Deep-Fried Foods and Risk of Prostate Cancer. **The Prostate**. v. 73, p. 960-969, 2013.