

Estudo empírico da degradação de óleo de soja correlacionado com a sua constante dielétrica utilizando um sensor capacitivo

Empirical study of the degradation of soybean oil correlated with its dielectric constant based on capacitive sensor

Leandro Paiter¹, José Ricardo Galvão¹,
Sergio Luiz Stevan Junior¹

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – UTFPR –PG
Av. Monteiro Lobato, km 04 – s/n°. CEP: 84016-210, Ponta Grossa/PR
e-mail: leandro.paiter@gmail.com, jrgalvao@utfpr.edu.br, sstevanjr@utfpr.edu.br

RESUMO

Este trabalho propõe a utilização de um sensor para caracterizar o comportamento de amostras de óleo vegetal submetidas a ciclos de aquecimento e resfriamento e busca correlacionar esse comportamento com a constante dielétrica das amostras. Os valores da constante dielétrica das amostras de óleo de soja foram medidos durante quatro ciclos de aquecimento e resfriamento num intervalo de 20 a 120 °C. No ciclo de aquecimento, a constante dielétrica das amostras aumentou até três vezes o seu valor inicial e, no resfriamento, a curva de diminuição da constante dielétrica foi diferente daquela obtida no aquecimento. Após cada ciclo completo de aquecimento e resfriamento, o valor da constante dielétrica sofreu aumento, indicando uma alteração permanente nas propriedades físico-químicas das amostras. Estes resultados sugerem que a medição da constante dielétrica pode ser um método rápido e barato para caracterizar óleos vegetais submetidos a variações de temperatura. A aplicação deste teste simples poderá ser útil na avaliação da qualidade do óleo de soja utilizado em sucessivos processos de fritura de alimentos.

Palavras-chave: empírico, constante dielétrica, degradação, óleo, óleo de soja.

ABSTRACT

This paper suggests the use of a sensor to characterize the behavior of vegetable oils submitted to heating/cooling cycles, as an attempt to correlate this behavior with the dielectric constant of oil. Dielectric constant values were measured in soybean oil samples subjected to four heating/cooling cycles from 20 to 120 °C. In the heating cycle, the dielectric constant of the samples had increased up to three times its initial value and the decay curve of dielectric constant obtained during cooling was different from that of the heating cycle. After each heating/cooling cycle, the value of dielectric constant was increased, signaling a permanent change in the physicochemical properties of the samples. These results suggest that measuring the dielectric constant can be a fast and inexpensive method to characterize vegetable oils subjected to temperature variations. The application of this simple test may be useful in the quality assessment of the soybean oil used in successive operations of food frying.

Keywords: Empirical, dielectric constant, degradation, oil, soybean oil.

1. INTRODUÇÃO

O óleo vegetal constantemente utilizado em frituras sofre diversas alterações físicas, químicas, sensoriais e nutricionais [1,2]. Essas alterações ocorrem devido à elevada temperaturas e o tempo de utilização do óleo, resultando na liberação de toxinas como acroleína e peróxidos, que podem ser nocivos à saúde humana [3,4,5,6,7]. O aquecimento prolongado leva à polimerização da molécula dos triacilgliceróis, aumentando a viscosidade do óleo e seu índice de acidez. O processo de deterioração dos óleos provoca aumento dos dienos e trienos conjugados de ligações insaturadas, elevando o índice de ácido tiobarbitúrico, índice de peróxidos, índice de iodo, índice de refração e viscosidade da molécula do triacilglicerol [1,8].

O processo de fritura, onde ocorre uma complexa série de reações, produz numerosos compostos de degradação, sendo que mais de 400 compostos químicos diferentes têm sido identificados em óleos de frituras deteriorados [9]. Durante o processo de fritura, óleos e gorduras estão expostos à ação de três agentes que contribuem para diminuir sua qualidade e modificar sua estrutura: (i) a umidade proveniente dos alimentos, que é a causa da alteração hidrolítica; (ii) o oxigênio do ar, que entra na massa de óleo através da superfície do recipiente possibilitando a alteração oxidativa e (iii) a elevada temperatura no processo, que provoca a alteração térmica. Uma das formas de prejudicar a estabilidade do óleo vegetal devido à troca de umidade e oxidação sofrida por este durante o processo de fritura [10].

Alimentos submetidos à fritura em óleos reutilizados em geral apresentam excesso de gordura e ranço formado a partir da quebra da ligação éster, gerando um lipídio hidrolisado, que provocam alterações no paladar e na textura do alimento. O consumo elevado desses alimentos pode resultar em danos à saúde, tais como: pré-disposição à arteriosclerose, ação mutagênica e carcinogênica. Isso ocorre devido à elevada toxicidade dos produtos formados durante o processo de fritura, que são ingeridos e absorvidos pelo organismo humano [11]. Além disso, o processo de fritura resulta na formação de compostos polares no óleo, que são todos os compostos que tem uma polaridade maior que os triacilgliceróis e correspondem aos não voláteis resultantes destas modificações [12]. A ingestão de óleos com elevados teores de compostos polares provoca severas irritações do trato gastrointestinal, diarreia e redução no crescimento [13]. Gorduras oxidadas consumidas por cobaias, entre outras consequências, ocasionaram o aumento na peroxidação dos cromossomos. O efeito cumulativo da ingestão contínua e prolongada de compostos com maior toxicidade, como monômeros cíclicos e hidrocarbonetos poliaromáticos, formados durante a fritura, em alguns casos levaram à morte de animais em laboratórios [14].

Sendo decorrente da hidrólise enzimática, a acidez revela o estado de conservação do óleo vegetal, enquanto a rancidez, decorrente desse processo, vem sempre acompanhada pela formação de ácidos graxos livres. Por isso, a acidez está relacionada com a natureza, qualidade, grau de pureza, processamento e, principalmente, com as condições de conservação do óleo vegetal [15].

Devido ao conhecimento de que o processo de fritura altera a natureza química do óleo aquecido, pesquisas têm sido realizadas para que se determine se o consumo de alimentos fritos representa riscos à saúde [14,15]. Há evidência que animais de laboratórios alimentados com óleos ou gorduras exaustivamente processadas em fritura, podem apresentar alterações metabólicas que resultam na perda de peso, supressão do crescimento, diminuição do tamanho do fígado e dos rins, má absorção de gordura, diminuição da taxa de dessaturação dos ácidos graxos linoleico e α -linoléico, além do aumento da taxa de colesterol no fígado e fertilidade reduzida [16].

Utilizando um sensor capacitivo por nós desenvolvido, o objetivo deste trabalho foi avaliar empiricamente o comportamento de óleos vegetais quando este for exposto à situações de variação de temperatura, analisando a possibilidade de qualificar o nível de deterioração do óleo vegetal comestível devido seu aquecimento e reaquecimentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Construção do sensor

Para as análises, foi desenvolvido um sensor capacitivo formado por placas de fibra de vidro cobreada nas duas faces, comumente utilizadas na confecção de circuitos impressos eletrônicos (PCB) com 1,60 mm de espessura. Seis placas de 63,00 cm² (7,00 x 9,00 cm) foram montadas em paralelo e separadas por isoladores de acrílico (1,80 mm). A distância de separação entre as placas foi mantida por quatro parafusos metálicos ajustados à temperatura ambiente. O diâmetro de cada um dos furos nas placas é de 6 mm e o diâmetro dos isoladores é de 1 cm.

A Figura 01 apresenta um esboço do protótipo do sensor. Foram utilizadas seis placas em paralelo para aumentar os valores de capacitância do sensor, possibilitando uma melhor adaptação às escalas do equipamento utilizado para medição.

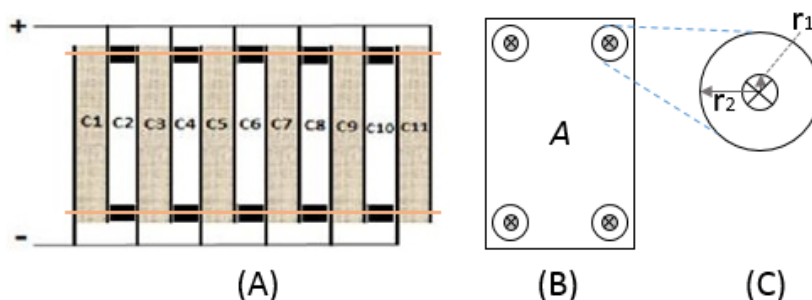


Figura 1: Esboço do protótipo do sensor capacitivo: (A) vista lateral do sensor; (B) vista de uma das placas; e (C) representação aumentada do espaçador de placas (raio r_2) e furo central (raio r_1).

De acordo com a Figura 01 A, pode-se observar que as capacitâncias C_1, C_3, C_5, C_7, C_9 e C_{11} são originadas nas placas do capacitor e são constantes durante as análises. Já as capacitâncias C_2, C_4, C_6, C_8 e C_{10} dependem do elemento dielétrico e possuem os espaçadores isolantes (quatro entre cada par de placas, de raio r_2 com furo central r_1 para fixação do conjunto de placa (Figura 01 B e C). Como resultado imediato, o sensor pode ser interpretado como uma associação de dois capacitores em paralelo: um com dielétrico fixo, a PCB de Fibra de Vidro, que possui o vidro como isolante e os isolantes entre as placas, apresentados como CF (Capacitância Fixa) e outro com o óleo vegetal apresentando uma constante dielétrica que depende da temperatura, CV (Capacitância Variável). A Figura 02 apresenta um diagrama simplificado do arranjo utilizado. Na figura, CV representa um sensor que pode ser utilizado para caracterizar o dielétrico mantido entre suas placas ou as variações na constante dielétrica em função da temperatura.

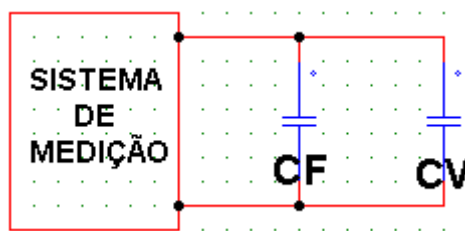


Figura 2: Representação esquemática do sistema de Medição do Sensor Capacitivo.

A capacitância C entre as placas paralelas de um capacitor é determinada pela equação (1), onde ϵ_r é uma constante dielétrica relativa que depende do material dielétrico, ϵ_0 é constante de permissividade dielétrica no vácuo ($8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$), A é a área comum das placas e d a distância de separação entre as placas [19].

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \tag{01}$$

A associação capacitiva (CF_1) resultante das seis placas de fibra de vidro de área retangular A , de espessura d_1 e de constante dielétrica dependente da temperatura $\epsilon_{r1}(T)$, pode ser representada pela equação (02), onde são subtraídas as áreas ($\pi \cdot r_1^2$) oriundas dos furos de raio r_1 . Nestes quatro furos, parafusos isolados são utilizados para fixação do conjunto sensor.

$$CF_1(T) = 6 \cdot \left[\epsilon_{r1}(T) \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{(A - 4 \cdot \pi \cdot r_1^2 + dA(T))}{d_1} \right], \tag{02}$$

onde $dA(T)$ é a variação superficial das placas.

A equação (03) descreve a segunda parcela da capacitância fixa (CF_2), a qual delimita a área das placas que são preenchidas pelos isoladores de raio r_2 como elementos separadores, com espessura d_2 adicionada da dilatação térmica linear dos parafusos fixadores $dL(T)$ e constante dielétrica dependente com a temperatura $\epsilon_{r2}(T)$. Assim, CF_2 é composto por quatro anéis de áreas $\pi \cdot (r_2^2 - r_1^2)$, que por sua vez estão presentes nos cinco entre placas.

$$CF_2(T) = 5 \cdot \left[4 \cdot \left[\varepsilon_{r_2}(T) \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{(\pi \cdot (r_2^2 - r_1^2))}{d_2 + dL(T)} \right] \right] \quad (03)$$

A última parcela, que representa a capacitância variável do sensor (CV), é composta pelos cinco capacitores de índices pares apresentados na figura 02A, de área A , subtraídos das áreas dos furos e dos isoladores. É possível escrever a equação (04) que descreve a capacitância $CV(T)$ proporcional ao comportamento do elemento dielétrico dependente da temperatura $\varepsilon_{r_3}(T)$.

$$CV(T) = 5 \cdot \left[\varepsilon_{r_3}(T) \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{(A - 4 \cdot \pi \cdot r_2^2 + dA(T))}{d_2 + dL(T)} \right] \quad (04)$$

Assim, a capacitância total do sensor pode ser representada pela equação (05), determinada pela associação em paralelo das parcelas das capacitâncias fixas e variáveis do sensor.

$$C(T) = CV(T) + CF_1(T) + CF_2(T) \quad (05)$$

Considerando os parâmetros reais: Área A (7cm x 9cm), os Raios $r_1=3$ mm e $r_2=5$ mm, constantes dielétricas da placa de fibra de vidro de espessura de 1,6mm ($\varepsilon_{r_1} = 2,5$) e dos isoladores de espessura de 1,8 mm ($\varepsilon_{r_2} = 2,0$), e supondo que este sensor contenha como dielétrico variável o óleo de soja à temperatura ambiente, com valor de conteúdo dielétrico relativa de 3,5, obtém-se o valor da capacitância de 1.04 nF.

Ao testar o sensor, imergindo-o no óleo de soja, obteve-se uma capacitância de 2.41 nF, o que, em um cálculo inverso, poderia relacionar este valor a um $\varepsilon_{r_3} = 12,82$, muito superior ao valor estimado. Esta diferença, possivelmente oriunda de imprecisões construtivas, pode ser compensada por um coeficiente de ajuste (Ca) incorporado na parcela relativa ao dielétrico óleo, uma vez que posteriormente este sensor servirá para medidas relativas.

Para o óleo vegetal o coeficiente de ajuste é $Ca = 3.663$ sem considerar a dilatação térmica do sensor. É importante mencionar que o coeficiente de ajuste apenas aproxima o valor da constante dielétrica do meio entre as placas do capacitor do valor teórico a uma dada temperatura. O uso do coeficiente de ajuste não elimina a possibilidade de erro sistemático nas medições.

Assim sendo, pode-se reescrever a equação (05) acrescentando o coeficiente de ajuste (Ca) e isolando a variável ε_{r_3} (material dielétrico entre as placas analisado) que se deseja encontrar, resultando na equação (06).

$$\varepsilon_{r_3}(T) = \frac{C(T) - [CF_1(T) + CF_2(T)]}{5 \cdot \left[\varepsilon_0 \cdot \frac{(A - 4 \cdot \pi \cdot R_1^2 + dA(T))}{d_2 + dL(T)} \right] \cdot Ca} \quad (06)$$

Assim, obtém-se uma relação entre a constante dielétrica do material dependente da temperatura em que se encontra o dielétrico (óleo vegetal) em que o sensor será mergulhado, em função da capacitância medida.

2.2 Metodologia dos ensaios experimentais

Nos ensaios, o sensor foi imerso em um recipiente de alumínio contendo um litro de óleo de soja. As leituras do sensor capacitivo foram efetuadas a partir de um multímetro digital Modelo ICEL MD-6130, que possui as seguintes características: escala de medição de até 20 nF, com resolução de 10 pF, para uma exatidão de $\pm (2,5\% + 5d)$, com uma frequência de testes em 150 Hz [17].

Durante os ensaios, uma chama foi utilizada para o aquecimento das amostras. As variações na temperatura do óleo foram registradas a partir da leitura de um termômetro de Mercúrio (Hg), com medição entre -10°C a $+310^\circ\text{C}$ e divisão de 1°C . Os registros da capacitância em função da variação da temperatura foram realizados com intervalos de 5°C .

Nos ensaios, as amostras foram aquecidas de $+20^\circ\text{C}$ a $+120^\circ\text{C}$. A temperatura máxima teve seu valor limitado pelo valor de rigidez do material dos isoladores de acrílico (120°C) utilizados na construção do sensor [18], que é inferior à temperatura máxima de trabalho dos demais materiais envolvidos [19] [20].

Após alcançar a temperatura máxima, o aquecimento da amostra foi interrompido e os valores de capacitância continuaram a ser registrados até o momento em que a temperatura da amostra retornou à temperatura ambiente (20°C).

Para uma mesma amostra de óleo, foram realizados quatro ciclos completos de aquecimento e resfriamento, registrando-se os valores de capacitância nas temperaturas determinadas. Foi mantido um intervalo de 24 horas entre cada ensaio, buscando manter as condições ambientes.

A partir dos valores registrados de capacitância, foi utilizada a equação (06) para determinar as variações na constante dielétrica resultantes do aquecimento das amostras

3. RESULTADOS

Na Figura 3, pode ser visualizada graficamente a variação da constante dielétrica do óleo de soja em função da temperatura, para cada um dos quatro ciclos de aquecimento e resfriamento (A, B, C e D).

Observa-se que a constante dielétrica relativa do óleo aumenta com o aquecimento, de 2,5 em 20°C para 9,8 em 120°C, aproximadamente. Nota-se ainda que, durante o resfriamento das amostras, o valor da constante dielétrica diminui, mas de maneira diferente à curva de aquecimento.

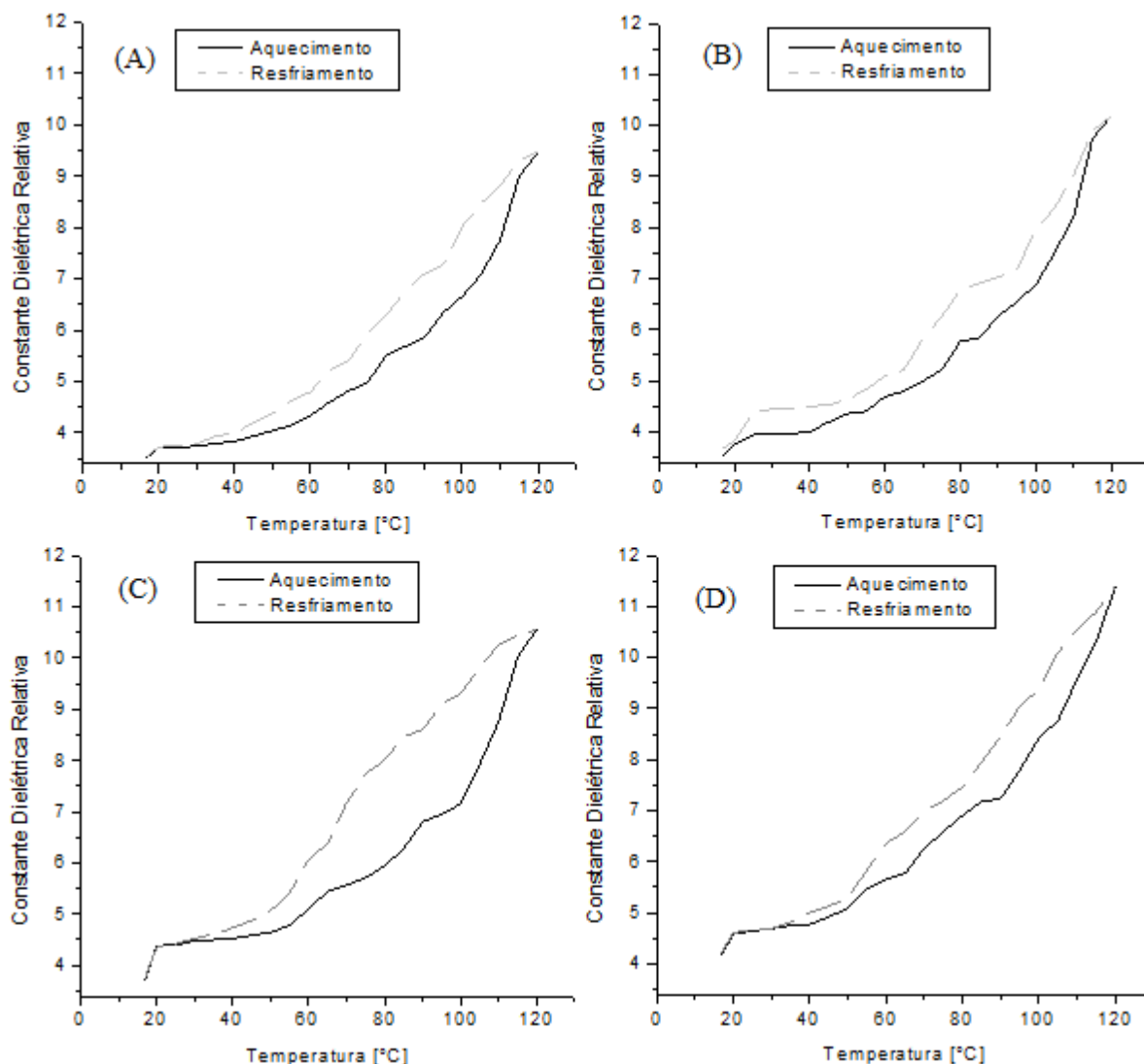


Figura 3: Constante dielétrica relativa em função da temperatura para: (A) o primeiro, (B) o segundo, (C) o terceiro e (D) o quarto ciclo de aquecimento e resfriamento da amostra de óleo de soja.

A Figura 4 foi construída pela sobreposição das curvas obtidas nos vários ciclos de aquecimento do óleo de soja. Nesse gráfico, verifica-se que a constante dielétrica da amostra à temperatura ambiente sofre um ligeiro incremento ao final de cada ciclo, permitindo concluir que, cada interação de aquecimento acarreta uma alteração físico-química irreversível nas amostras, possivelmente ligado ao processo de saturação do óleo. As linhas mostradas na figura 05 representam o ajuste através de uma função polinomial de segundo grau [$Er(T) = c + b.T + a.T^2$], obtidos para os pontos experimentais de cada curva de aquecimento. A Tabela 01

apresenta os polinômios com os coeficientes ajustados aos pontos experimentais de cada ciclo de

aquecimento. É possível observar que o valor das constantes (a, b, c) sofrem alterações após cada ciclo de aquecimento. Em especial, a constante (a) representa o aumento na constante dielétrica das amostras em função da temperatura.

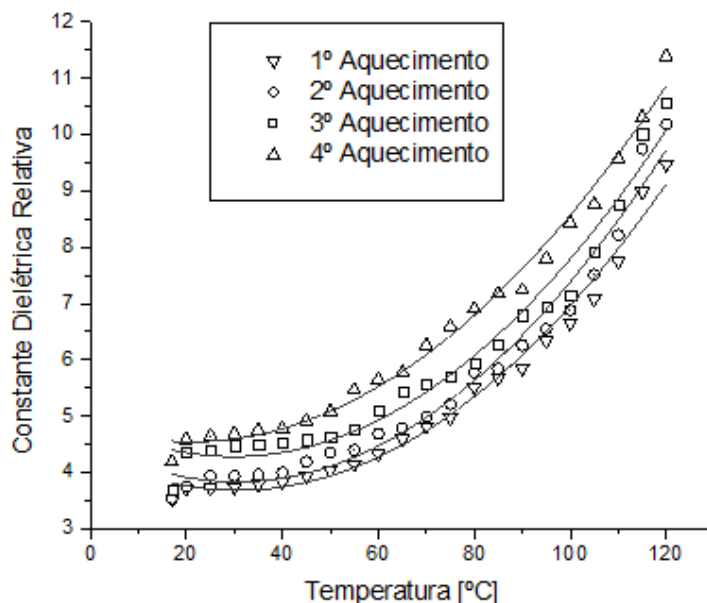


Figura 4: Curvas de aquecimento durante os ciclos mostrados nas figuras 04. As linhas representam o ajuste dos pontos experimentais obtidos a partir de uma função polinomial do segundo grau..

Tabela 1: Resultados do ajuste polinomial para as curvas de aquecimento mostradas na Figura 05.

Etapa	Função
1º	$Er(T) = 4,52484 - 0,04721 \cdot T + 7,08133 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$
2º	$Er(T) = 4,77836 - 0,05096 \cdot T + 7,64164 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$
3º	$Er(T) = 5,03305 - 0,04500 \cdot T + 7,22029 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$
4º	$Er(T) = 5,09636 - 0,03470 \cdot T + 6,63515 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$

Observa-se uma alteração permanente no valor da constante dielétrica da amostra de óleo de soja após cada ciclo de aquecimento, o que indica uma degradação da amostra, como sugerido na literatura [6], possivelmente devido à ocorrência de polimerização e ao aumento na viscosidade das amostras devido ao processo de aquecimento [21].

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos sugerem que a medição da constante dielétrica de óleos pode ser um método rápido e de baixo custo para qualificar o estado de óleos vegetais submetidos a variações de temperatura. Na área de alimentos, este teste simples poderá ser útil para analisar a qualidade do óleo de soja utilizado em sucessivos processos de fritura. Para tanto, os valores de constante dielétrica deverão ser correlacionados com os resultados obtidos por análises físico-químicas, de modo a validar a utilização do sensor como um método de avaliação da qualidade de óleos vegetais e estabelecer o limite mínimo para a constante dielétrica a partir do qual a amostra seja considerada inadequada para utilização alimentar.

Para projetos futuros, encontra-se em desenvolvimento um novo protótipo com materiais mais resistentes a temperaturas elevadas, afim de alcançar medições da capacitância em temperaturas superiores a 120 °C, chegando ao ponto de fumaça do óleo de soja (240 °C). Também será desenvolvido um sistema de aquisição de dados para automatizar o processo experimental, controlando não apenas a temperatura, mas também as outras variáveis físicas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes pelo suporte financeiro referente à bolsa de estudos.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] ABDULKARIM, S. M., LONG, K. , LAI, O.M., et al., “Frying quality and stability of high-oleic Moringa oleifera seed oil in comparison with other vegetable oils”, *Food Chemistry*, v. 105, n. 4, pp. 1382-389, 2007.
- [2] MELTEN, S., JAFAR, S., SKYES, D., et al., “Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor”, *Journal of the American Oil Chemists Society*, v. 71, n. 12, pp. 1301-1308, 1994.
- [3] ORTIGOZA, S.A.G., “Alimentos e saúde: novas relações espaço-tempo e suas implicações nos hábitos de consumo de alimentos”, *Raega: O Espaço Geográfico em Análise*, Curitiba, n.15, pp. 83-93, 2008.
- [4] MENDONÇA, M.A., BORGIO, L.A., ARAÚJO, W.M.C., et al., “Alterações físico-químicas em óleos de soja submetidos ao processo de fritura em unidades de produção de refeição no Distrito Federal”, *Com Ciência Saúde*, Brasília, n.19, pp. 115-122, abr. 2008.
- [5] RIQUE, A.B.R., SOARES, E.A., MEIRELLES, C.M., “Nutrição e exercício na prevenção e controle das doenças cardiovasculares”, *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, São Paulo, 2002.
- [6] WITSCHINSKI, F., GHISLENI, C.P., VALDUGA, E., “Alterações do Óleo de Soja em Fritura Descontínua de Produtos Empanados Congelados em uma Unidade de Alimentação e Nutrição”, *Alimentos e Nutrição*, Araraquara, v. 23, n. 03, 2012.
- [7] CUESTA, C., SÁNNCHEZ-MUNIZ, F. J., HERNÁNDEZ, I., et al., “Modificaciones de un aceite de oliva durante las frituras sucesivas de patatas. Correlaciones entre distintos índices analíticos y de evaluación global de La degradación”, *R. Agroquím. Tecnol. Aliment.*, Valencia, España, v.31, n. 4, pp.523-531, 1991.
- [8] CHOE, E., MIN, D.B., “Chemistry of Deep-Fat Frying Oils”, *Journal of Food Science*, v. 72, n. 5, 2007.
- [9] JORGE, N., CORSINI, M. S., SOARES, B. B. P., et al., “Perfil de Ácidos Graxos e Avaliação da Alteração em Óleos de Fritura”, *Química Nova*, v. 31, n. 5, pp. 956-961, São Paulo, 2008.
- [10] JORGE, N., SOARES, B. B. P., LUNARDI, V. M., et al., “Alterações físico-químicas dos óleos de girassol, milho e soja em frituras”, *Química Nova*, v. 28, n. 6, pp. 947-951, 2005.
- [11] FREIRE, P. C. M., MANCINI-FILHO, J., FERREIRA, T. A. P. C., “Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde”, *Revista de Nutrição*, v. 26, n. 3, 2013.
- [12] FARHOOSH, R., TAVASSOLI-KAFRANI, M. H., “Simultaneous Monitoring of the Conventional Qualitative Indicators During Frying of Sunflower Oil”, *Food Chemistry*, v. 125, n. 1, pp. 209–213, 2011.
- [13] BILLEK, G., “Heated fats in the diet”, In: Padley, F. B., Podmore, J (Eds), *The role of fats in human nutritio*, cap. 12, Chichester, Ellis Horwood, pp. 163-172, 1985.
- [14] MARQUES, A. C., VALENTE, T.B., ROSA, C.S., “Formação de toxinas durante o processamento de alimentos e as possíveis conseqüências para o organismo humano”, *Revista de Nutrição*, v. 22, n. 2, pp. 283-293, 2009.
- [15] LOPES, M. R. V., *Estudo comparativo entre métodos analíticos tradicionais e testes rápidos utilizados na avaliação da qualidade dos óleos e gorduras de fritura*, Dissertação de M.Sc, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, SP, Brasil, 2002.
- [16] EDER, K., “The Effects of a Dietary Oxidized Oil on Lipid metabolism in Rats”, *Lipids*, v. 34, pp. 717-725, 1999.
- [17] ICEL MANAUS, <http://www.icel-manaus.com.br/imagens/produtos/MD-6130%20Manual.pdf>. acessado em fevereiro de 2015.
- [18] INDAC - INSTITUTO NACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO DO ACRILICO, <http://www.indac.org.br/arquivos/manual-orientacao-tecnica-unigel.pdf>, acessado em fevereiro de 2015.
- [19] VICK, FIBRA DE VIDRO – TVE, <http://www.vick.com.br/vick/novo/datasheets/datasheet-fibra-de-vidro.pdf>. acessado em fevereiro de 2015.
- [20] RAYCHEM PRODUCTS, <http://raychem.te.com/documents/webservice/fetch.ashx?fileid=12357>. acessado em março de 2015.
- [21] AHMED, A., MALIK, N.A., RANDHAWA, M. A., et al., “Changes in Vegetable Oil Used for Commercial Frying: A Case Study from Rawalpindi, Pakistan”, *Journal- Chemical Society of Pakistan.*, v. 34, n. 5, 2012.