

PROPRIEDADES DIELÉTRICAS DO PURÊ DE MANGA CRU NAS FREQUÊNCIAS DE 0,5 a 3 GHz ENTRE AS TEMPERATURAS DE 10 E 90° C

A. F. R. L. CRUZ¹; J. A. W. GUT^{1,2}; C. C. TADINI^{1,2}

¹ Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química

² Universidade de São Paulo, NAPAN: Núcleo de Apoio à Pesquisa em Alimentos e Nutrição
Email: catadini@usp.br

RESUMO - As propriedades dielétricas do purê de manga cru foram avaliadas utilizando a técnica de medição de cabo coaxial de ponta aberta. Enfatizou as frequências comerciais, entre 915 e 2450 MHz, para o aquecimento em micro-ondas, utilizando a correlação das propriedades com a temperatura. Para a permissividade (ϵ'), houve uma relação inversa com a temperatura, devido à agitação térmica das moléculas interferirem na polarização das moléculas de água. Em baixas temperaturas, a permissividade relativa obteve as maiores diferenças entre a primeira e última frequência. Observando a temperatura de 10 °C e a frequência de 500 MHz encontra-se 76,77 e na frequência de 3000 MHz, o valor de 67,19, verificando uma variação de aproximadamente 7,48, enquanto nas temperaturas mais altas, as variações entre as frequências foram diminuindo, seguindo à estabilidade com o aumento da temperatura. Nas frequências comerciais, o fator de perda (ϵ'') apresentou oscilações com o aumento da temperatura.

1. INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* Linn.) é uma fruta muito apreciada, por seu sabor e aroma marcantes e de grande importância econômica para os países tropicais. No Brasil, sétimo maior produtor mundial, são cultivadas cerca de 30 variedades de manga, com destaque para a *Tommy Atkins*, *Haden* e *Palmer* (Ctenas et al., 2000; FAO, 2004).

Os principais estados produtores de manga no Brasil são Bahia (41,81%), São Paulo (18,19%), Pernambuco (17,25%), Minas Gerais (8,69%), Ceará (3,87%) e outros (10,19%) com uma produção respectivamente de 522.471t, 227.248t, 215.566t, 108.590t, 48.374t e 127.272t, totalizando a produção no país de 1.249.521t em uma área colhida de 76.383ha (IBGE, 2011).

A ausência e deficiência de técnicas modernas e adequadas durante o manuseio, transporte e armazenamento das frutas, associadas à alta perecibilidade, à falta de pessoal treinado e infraestrutura para seu processamento e preservação, têm gerado uma perda em torno de 30% da produção e 50 % para casos de exportação (Pina, 2003).

Ultimamente têm-se estudado novos métodos de conservação de alimentos, com o intuito de diminuir as alterações organolépticas sofridas pelo produto (Fellows, 2006). O aquecimento por

micro-ondas é um procedimento com potencial para substituir os métodos convencionais de conservação por adição de calor em produtos semissólidos e líquidos, devido a que este processo permite obter produtos com características próximas à do produto natural (Coronel et al., 2008; Decareau, 1985).

O aquecimento pode ocorrer por condução, irradiação ou convecção (Majetich & Hicks, 1995). O aquecimento por micro-ondas também é chamado de aquecimento dielétrico e existem dois mecanismos principais para a transformação da energia eletromagnética em calor. O primeiro é chamado rotação de dipolo e relaciona-se com o alinhamento das moléculas (que possuem dipolo permanente ou induzido) com o campo elétrico aplicado. Quando o campo é removido as moléculas retornam ao estado de desordem e a energia que foi absorvida, é liberada em forma de calor. O segundo mecanismo é chamado de condução iônica e o calor é gerado através de perdas por fricção, que acontecem pela migração de íons dissolvidos, quando sob a ação de um campo eletromagnético (Berlan, 1995; Caddick, 1995; Loupy & Perreux, 2001).

O conhecimento sobre as propriedades dielétricas dos alimentos é necessário para utilizar o tratamento térmico por micro-ondas (Giese, 1992). As propriedades dielétricas caracterizam a interação das ondas eletromagnéticas com o material e fornece informações sobre o aquecimento e a profundidade de penetração (Datta et al., 2005). As propriedades dielétricas dos materiais são definidas em permissividade elétrica relativa complexa, onde há a parte real - permissividade elétrica relativa (ϵ') e a imaginária - fator de perda dielétrica (ϵ'').

A permissividade elétrica relativa representa a capacidade do material, no caso alimento, absorver e armazenar energia, em resposta a um campo elétrico aplicado, já o fator de perda dielétrica, refere-se à energia dissipada em forma de calor (Sosa-Morales et al., 2010). Essas propriedades são afetadas por vários fatores. Os principais fatores são a composição do material, a temperatura e a frequência de oscilação do campo eletromagnético (Içier e Baysal, 2004).

As propriedades dielétricas de vários alimentos vêm sendo estudadas em diferentes faixas de frequências e temperaturas. São observados estudos mais comuns em alimentos líquidos, como sucos de uva, abacaxi, maçã, pêra e laranja (Zhu et al., 2012), mel (Guo et al., 2011), leite, bebidas de soja (Coronel et al., 2008), mas podemos observar estudos em alimentos semissólidos, como purê de batata (Guan et al., 2004), manteiga (Ahmed et al., 2007) e queijo (Everard et al., 2005). Porém não foi observado nenhum estudo sobre as propriedades dielétricas sobre o purê de manga.

A manga é uma fruta que possui uma grande quantidade de açúcares e outros compostos, também pode ser observada uma atividade enzimática, precisando de um estudo mais aprofundado sobre os melhores métodos de conservação para seu consumo em logo prazo. Neste trabalho, as propriedades dielétricas do purê de manga cru foram estudadas entre as temperaturas de 10° a 90° C, com as frequências de 0,5 até 3 GHz.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Amostras

O purê de manga cru foi obtido através da manga tipo Palmer (*Mangifera indica L.*) obtido em uma rede de supermercados. Primeiramente as mesmas foram lavadas para retirar as impurezas presente na parte externa, em seguida foram imersas em um tanque com água clorada (1:8) por um período de 30 minutos. Em seguida as frutas foram enxaguadas com água tratada e limpa. Após o enxague as mesmas foram descascadas, cortadas em fatias, com a exclusão das áreas com injúrias, para serem despulpadas em uma despulpadeira modelo MACANUDA. Após o processamento, foi verificado o pH e as polpas foram armazenadas em potes estéreis, conservados sob refrigeração para posterior uso.

2.2. Medição das propriedades dielétricas

Para realizar as medições das propriedades dielétricas do purê de manga, foi empregada a técnica de cabo coaxial de ponta aberta com varredura de frequência através de uma sonda Agilent Technologies 85070E conectada a um analisador de rede Agilent Technologies E5061B. Com a finalidade de obter uma melhor precisão nas medições, o equipamento foi dotado com um módulo de calibração eletrônica (ECAL) Agilent Technologies 850993-60008. O equipamento foi ligado com noventa minutos de antecedência do início das análises e após esse período realizava-se a calibração a configuração padrão: ar, curto circuito e água deionizada. A medições foram feitas entre as temperaturas de 10°C a 90°C, variando a cada 10° C e nas faixas de frequência de 0,5 até 3 GHz. As medições foram feitas em triplicatas e entre cada medição, a amostra era aquecida em um banho térmico da marca Brookfield modelo TC – 550, para alcançar a temperatura desejada, e o sensor era lavado com água destilada e seco com papel absorvente macio para a realização da nova leitura.

O analisador de rede calcula o valor da permissividade relativa e do fator de perda em relação à medição do coeficiente de reflexão do sinal transmitido à partir da sonda em contato com a amostra.

2.3. Determinação do poder de penetração

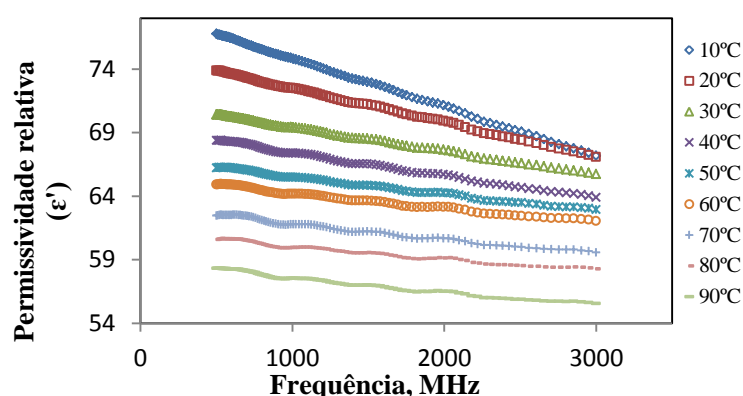
A profundidade de penetração da radiação eletromagnética em um material é determinada pela permissividade elétrica relativa e pelo fator de perda dielétrica (Fellows, 2006), sendo definida pela profundidade em que a potência apresenta uma queda de aproximadamente 63% (Nelson; Datta, 2001). A profundidade de penetração tem um comportamento inversamente proporcional à frequência do campo eletromagnético, sendo calculada em relação à frequência desejada (Coronel et al., 2008), como pode ser observado na Equação 1.

$$\delta_o = \frac{\lambda_o}{2\pi\sqrt{2\varepsilon'}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^2} - 1 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

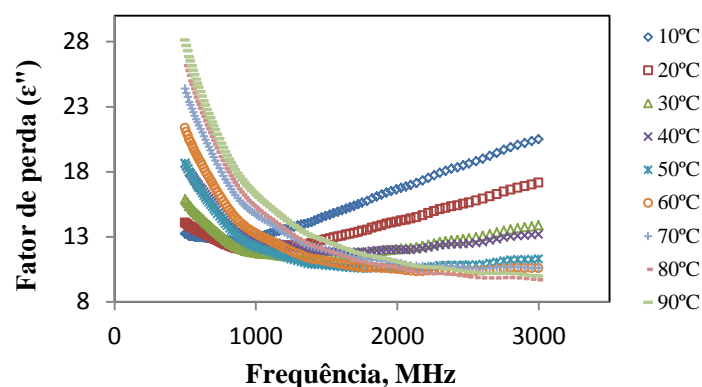
Onde, δ_o é a profundidade de penetração (m) e λ_o é o comprimento de onda no espaço livre (m). A profundidade de penetração foi calculada somente para as frequências comerciais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar na Figura 1 (a,b) a permissividade relativa e o fator de perda nas temperaturas de 10° a 90° C em função da frequência. Pode ser observado que essas propriedades dielétricas dependem significativamente da temperatura e frequência. Para todas as temperaturas de teste, a permissividade relativa (ϵ') diminuiu com o aumento da frequência entre 500 e 3000 MHz (Figura 1a), o que pode ser justificado pela diminuição da capacidade da molécula de água dipolo em acompanhar o campo elétrico oscilante no aumento da frequência. Além disso, esta propriedade também diminuiu com o aumento da temperatura a uma dada frequência, porque a agitação térmica perturba o alinhamento de dipolo com o campo elétrico.



(a)



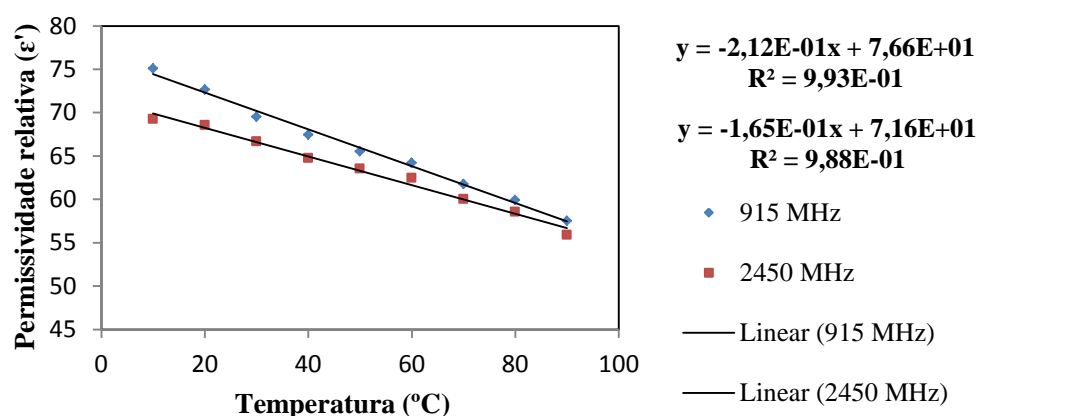
(b)

Figura 1. (a) permissividade relativa (ϵ') em relação à frequência, (b) fator de perda (ϵ'') em relação à frequência.

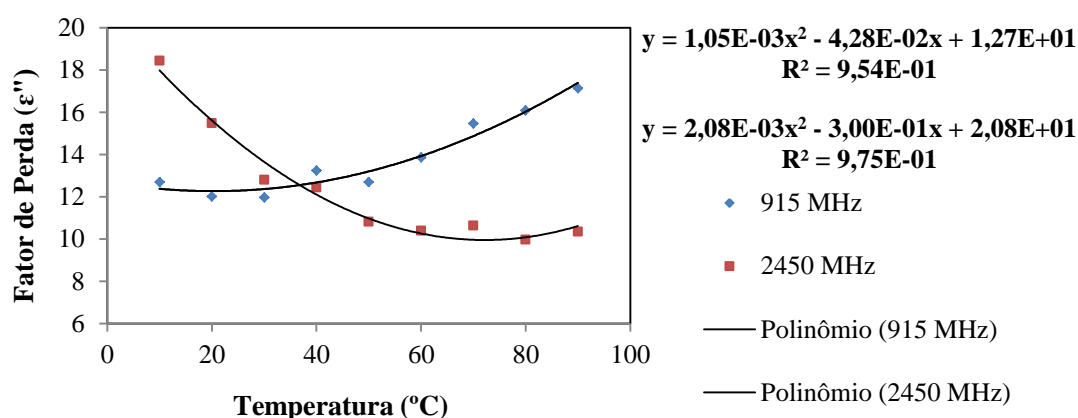
Em frequências de micro-ondas, o fator de perda dielétrica é composto por dois componentes: perda de dipolo e perda iônica que possuem comportamentos diferentes, dependendo das condições de frequência e temperatura. Normalmente a perda de dipolo diminui com a temperatura, enquanto que a perda iônica aumenta com a temperatura.

O aumento da frequência do campo de 500 a 1000 MHz mostrou a queda no fator de perda dielétrica em todas as temperaturas, que está associado com a condução iônica da solução. Este mecanismo não contribui com a polarização do meio e só gera perda de energia devido ao aquecimento. Para aumentar a frequência de campo, precisamos de menos movimento iônico e, por conseguinte, uma redução no fator de perda.

Para frequências mais altas, podemos observar que o fator de perda (Figura 1b), em baixas temperaturas (10°C a 50°C), apresentou altos valores, sendo associado com o relaxamento dielétrico da molécula de água. O dipolo da molécula de água é incapaz de acompanhar a inversão rápida dos campos, com isso, ela gera calor e aumenta o fator de perda. Sabendo que em frequências além da frequência de relaxamento, o dipolo molécula de água perde gradualmente a capacidade de acompanhar a oscilação do campo, reduzindo a permissividade relativa, como o fator de perda (Datta et al., 2005).



(a)



(b)

Figura 2. Permissividade relativa e fator de perda do purê de manga cru, relacionadas com a temperatura, nas frequências de 915 e 2450 MHz.

Na Figura 2, observamos a permissividade relativa e o fator de perda do purê de manga cru, relacionado com a temperatura, nas frequências comerciais de 915 e 2450 MHz. Esses valores não são fornecidos pelo programa, mas foram calculados por interpolação linear. Para a permissividade relativa, os valores seguiram uma tendência, onde em baixas temperaturas, encontramos altos valores e altas temperaturas, a permissividade diminui, tanto para 915 quanto para 2450 MHz.

O fator de perda teve um ajuste polinomial, onde os coeficientes encontrados podem ser observados na Figura 2b. Em 915 MHz o fator de perda aumentou conforme a temperatura, já em 2450 MHz, o mesmo diminuiu, observando uma relação com a frequência e a temperatura.

Na Figura 3, podemos observar o gráfico da profundidade de penetração (mm) relacionado com a temperatura, para as frequências comerciais. Houve um ajuste polinomial. Para a frequência de 915 MHz, a profundidade de penetração foi mais elevada comparada a de 2450 MHz. A frequência de 915 MHz é a mais utilizada na indústria, pois apresenta uma maior profundidade de penetração, o que é exigido devido a grande quantidade de produto que é processado.

Para frequência de 2450 MHz, observamos oscilações conforme a temperatura, sendo o reflexo das mudanças experimentais pelo fator de perda com a temperatura e a frequência de oscilações do campo.

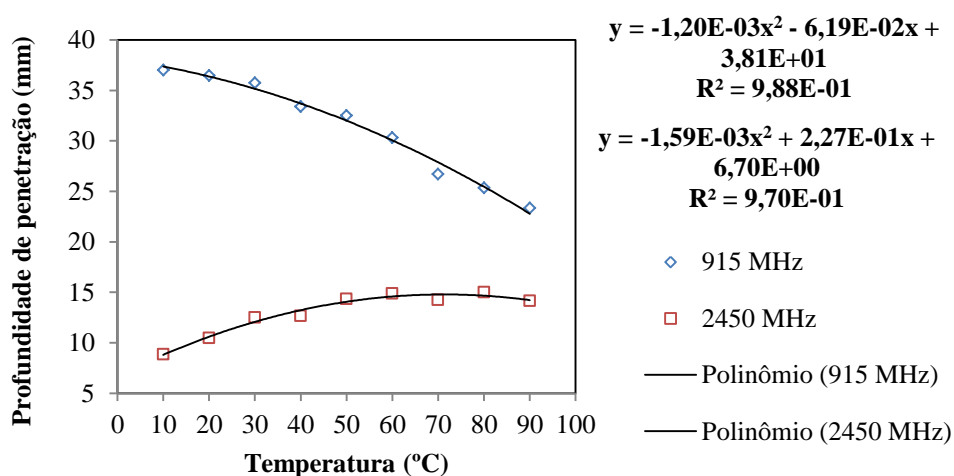


Figura 3. Profundidade de penetração em relação com a temperatura, para as frequências de 915 e 2450 MHz.

4. CONCLUSÃO

Foi possível obter as propriedades dielétricas o purê de manga cru, contribuindo assim, para o estudo do processamento contínuo deste, por micro-ondas. As propriedades dielétricas do purê de manga cru mostraram um comportamento dependente da temperatura e frequência. A permissividade relativa diminuiu com o aumento da temperatura (10°C à 80 ° C) e frequência. O fator de perda apresentou maiores valores nas temperaturas de 60°C a 90° C, porém para baixas temperaturas os valores aumentavam conforme a frequência e em altas temperaturas eles diminuíram. Nas temperaturas de 40°C e 50° C e baixas frequências, a amostra possuiu

comportamento semelhante para o fator de perda, encontrando igualdade no início da curva. Para as frequências comerciais, a permissividade diminuía conforme aumentávamos a temperatura, e o fator de perda apresentou uma relação inversa para as frequências, em 915 MHz, houve um aumento do fator de perda com a temperatura e para 2450 MHz, os valores diminuíram conforme ocorria o aumento da temperatura. A profundidade de penetração apresentou melhor resposta para frequência de 915 MHz, sendo os pontos ajustados para uma curva polinomial.

5. REFERÊNCIAS

- BERLAN J. *Microwaves in chemistry: another way of heating reactions mixtures*. Radiat Phys Chem 1995.
- CADDICK S. *Microwave assisted Organic Reactions*. Tetrahedron 1995.
- CORONEL, P.; SIMUNOVIC, J.; SANDEEP, K.P.; KUMAR, P. *Dielectric properties of pumpable food materials at 915 MHz*. International Journal of Food Properties, 11, pp. 508-518, 2008.
- CTENAS, M. L. B.; CTENAS, A. C.; QUAST, D. Manga. *Frutas das terras brasileiras*. C2 Editora e Consultoria em Nutrição, p. 130-135, 2000.
- DATTA, A. K.; SUMMU, G.; RAGHAVAN, G. *Dielectric properties of food*. In Engineering Properties of Foods, M. A. Rao, S. Rizvi and A. K. Datta, eds. USA, CRC Press, 2005.
- DECAREAU, R. V. *Microwaves in the food processing industry*. Academic Press, Orlando. P. 2-37. 1985.
- FELLOWS, P. J. *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática*. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- GIESE, J. *Advances in microwave food processing*. Food Technology. 46(9), pp. 118-123, 1992.
- GUO, W.; LIU, Y.; ZHU, X.; WANG, S. *Temperature-dependent dielectric properties of honey associated with dielectric heating*. Journal of Food Engineering, 102, pp. 209-216, 2011.
- İÇIER, F.; BAYSAL, T. *Dielectric properties of food materials 1: Factors affecting and industrial uses*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44, pp. 465-471, 2004.
- IBGE. Produção Agrícola Municipal, 2011. Disponível em: <http://cnpmf.embrapa.br/planilhas/Manga_Brasil_2011.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2014.
- LOUPY A, PERREUX L. *A tentative rationalization of microwave effects in organic synthesis according to the reaction medium, and mechanistic considerations*. Tetrahedron, 2001.
- MAJETICH G, HICKS R. *Applications of microwave-accelerated organic synthesis*. Radiat Phys Chem, 1995.
- NELSON, S. O.; DATTA, A. K. Dielectric properties of food materials and electric fields interaction. Cap 3. Handbook of microwave technology for food applications. Edited by DATTA, A. K. And ANANTHESWARAN, R. C. Ed. Marcel Dekker, Inc, New York, 2001.
- PINA, M. G. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; MONTEIRO, J. C. S. *Processamento e conservação de mangas por métodos combinados*. Revista Brasileira Fruticultura, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 63-66, 2003.

- SOSA-MORALES, M.E.; VALERIO-JUNCO, L.; LOPEZ-MALO, A.; GARCIA, H. S. *Dielectric properties of food: Reported data in the 21st century and their potential Applications*. Food Science and Technology, 43, 1169-1179, 2010.
- TANG, J.; HAO, F.; LAU, M. *Microwave heating in food processing*. In Advances in Bioprocessing Engineering, X. Yang and J. Tang, eds. Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltda., 2002.
- ZHU, X.; GUO, W.; WU, X.. *Frequency and temperature dependent dielectric properties of fruit juices associated with pasteurization by dielectric heating*. Journal of Food Engineering, 109, pp. 258-266, 2012.