

MAPEAMENTO TÉRMICO DE UM TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO FISIOTERAPÊUTICO COM CÂMERA INFRAVERMELHA

T.P. Omena*,**, R. M. Costa*,***, M.A. von Krüger*, W. C. A. Pereira*, W. Gómez ****

* Programa de Engenharia Biomédica/ COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

** Curso de Fisioterapia – Faculdade de Medicina/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

*** Instituto Nacional de Câncer/INCA III, Rio de Janeiro, Brasil

**** Laboratório de Tecnologías de Información/CINVESTAV-IPN, Ciudad Victoria, México

e-mail: thaisomena@gmail.com, wagner.coelho@ufrj.br

Resumo: O feixe ultrassônico produz aquecimento ao longo da sua propagação devido ao fenômeno da absorção da energia acústica. Sabendo-se que o campo acústico produzido por um transdutor é único, cada transdutor produz um campo térmico específico. A norma IEC 61689 (2013) descreve o método de mapeamento do campo acústico por hidrofone de transdutores fisioterapêuticos. Entretanto, ainda não existe uma padronização do mapeamento do campo térmico. Este serviria, a princípio, como uma medida qualitativa para avaliação da uniformidade do campo e possíveis locais de formação de pontos-quentes. O presente estudo apresenta um método de mapeamento do campo térmico ao longo do eixo de propagação do feixe ultrassônico por câmera infravermelha em tanque acústico, utilizando como meio absorvedor a resina epóxi.

Palavras-chave: Ultrassom, Câmera infravermelha, Volume, Aquecimento.

Abstract: *Ultrasonic field produces heating along its propagation due to the phenomenon of attenuation of acoustic energy (absorption and scattering). It is already known that acoustic field produced by a transducer is unique, each transducer produces a specific acoustic field. The standard IEC 61689 (2013) describes the method of acoustic field mapping by hydrophone of therapeutic transducers, however, there isn't a standardization of thermic field mapping yet. It could be used, at first, as a qualitative measurement for the evaluation of the uniformity of the field and possible local formation of hot spots. The present study presents a method of thermic field mapping by infrared camera in an acoustic tank, using as an absorbing media epoxy resin.*

Keywords: *Ultrasound, Infrared camera, Volume, Heating.*

Introdução

O uso do ultrassom na Fisioterapia tem o objetivo de promover a regeneração tecidual graças aos efeitos térmicos e atérmicos produzidos pela sua interação com os tecidos [1].

Os equipamentos de ultrassom terapêuticos (UST) são comumente usados nas clínicas, entretanto, pouca atenção é dada ao estado de funcionamento dos aparelhos. As variações entre a intensidade emitida e a nominal têm sido descritas na literatura, e acabam por gerar uma variabilidade no aquecimento [2,3,4,5], o que interfere no resultado do tratamento e causam incerteza sobre a segurança do paciente [6].

Há métodos e padrões descritos pela norma IEC 61689 [7] para medição e caracterização do feixe ultrassônico, em que se utiliza um hidrofone para mapeamento do campo acústico dos transdutores fisioterapêuticos e uso de balança de força de radiação para medição da potência acústica, mas até o presente momento, não há uma padronização quanto ao mapeamento térmico.

Já foram descritos métodos para avaliação do formato do feixe utilizando meios absorvedores, como o uso de folhas termocromáticas [8,9] e corpos de prova termocromáticos [10], que permitem a visualização do aquecimento durante a irradiação por ter a propriedade de mudar de cor reversivelmente em função da temperatura.

Costa *et al* [11] estudou o padrão de aquecimento do feixe ultrassônico de equipamentos de Fisioterapia ao utilizar uma câmera infravermelha e um meio absorvedor à base de resina epóxi. Foi possível demonstrar que podem ser utilizados para avaliar o desempenho destes aparelhos.

O objetivo deste estudo foi demonstrar exequibilidade de um método de mapeamento do campo térmico gerado ao longo do eixo de propagação do feixe ultrassônico, de um equipamento de Fisioterapia ao utilizar um meio absorvedor à base de resina epóxi e uma câmera infravermelha.

Materiais e Métodos

Para a montagem experimental foram utilizados: tanque acústico com motor de passo, operado por um software desenvolvido em *Labview* 8.2, tripé, câmera infravermelha (E6, Flir Systems), equipamento de ultrassom fisioterapêutico (Sonopulse, Ibramed) e dois corpos cilíndricos (0,6cm espessura e 3,6 cm de

diâmetro) feitos de resina epóxi, que serviram como meio absorvedor ao ultrassom.

O meio absorvedor de epóxi possui velocidade de propagação de $2284 \pm 13 \text{ m.s}^{-1}$ e coeficiente de atenuação de $3,7 \pm 1,0 \text{ dB.cm}^{-1}.\text{MHz}^{-1}$ [10].

Para realizar a aquisição das imagens térmicas, o transdutor ultrassônico foi posicionado no interior do tanque acústico, fixado em um suporte, com sua face emissora direcionada para a janela acústica do tanque. Esta é constituída de rexolite (material de propriedades acusticas proximas a da agua). Externamente ao tanque, uma câmera infravermelha foi posicionada de forma que a lente distasse a 6cm do meio absorvedor. (Figura 1)

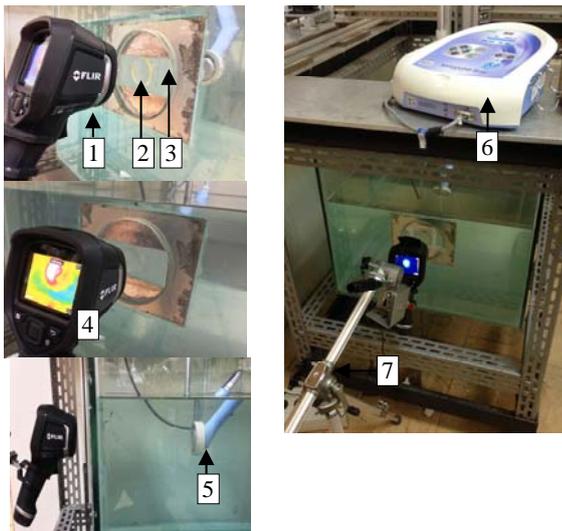


Figura 1: Arranjo experimental para aquisição de imagens térmicas. (1) Câmera infravermelha, (2) meio absorvedor de epóxi, (3) janela acústica do tanque, (4) imagem térmica, (5) transdutor, (6) UST e (7) tripé.

A câmera infravermelha foi ajustada na faixa de temperatura de 25 a 50°C e emissividade de 0,95.

Inicialmente o transdutor foi colocado em contato com a janela acústica (posição inicial), e foi afastado, em passos de 2,5mm, da janela acústica e do meio absorvedor, até atingir a distância de 200 mm. Foram adquiridas no total, 80 imagens térmicas, que representavam planos de aquecimento perpendiculares à direção de propagação do feixe.

O protocolo de irradiação adotado foi: frequência de 1MHz, modo de operação contínuo, intensidade nominal de 1W.cm^{-2} , tempo 60 segundos. A aquisição da imagem térmica com a câmera foi realizada logo após a irradiação. A temperatura da água no interior do tanque foi de $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Para processamento das imagens, foi desenvolvido um programa em MATLAB versão 2012a (The MathWorks Inc.) para realizar uma reconstrução tridimensional onde as imagens bidimensionais foram alinhadas sequencialmente, e, em seguida, foi feita a interpolação dos valores de pixels, correspondentes ao limite de cada imagem com o mesmo nível de intensidade para criar uma projeção do volume.

Resultados

A seguir são apresentadas as imagens obtidas com a câmera infravermelha em algumas posições ao longo do eixo de propagação do feixe (0, 50, 100, 150 e 200 mm) (Figura 2).

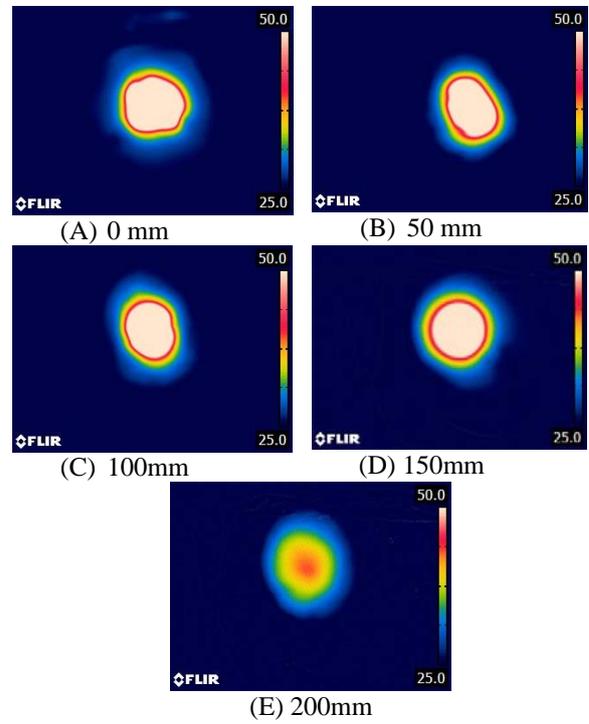


Figura 2: Padrão térmico em 5 planos perpendiculares ao longo do eixo de propagação do feixe (0, 50, 100, 150 e 200 mm).

As Figuras 3, 4 e 5 mostram a reconstrução tridimensional do volume térmico produzido pelo equipamento ultrassônico estudado.

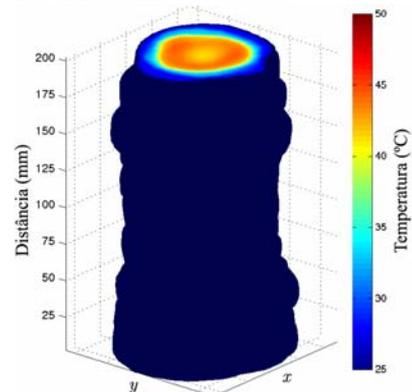


Figura 3 - Padrão térmico volumétrico do feixe ultrassônico.

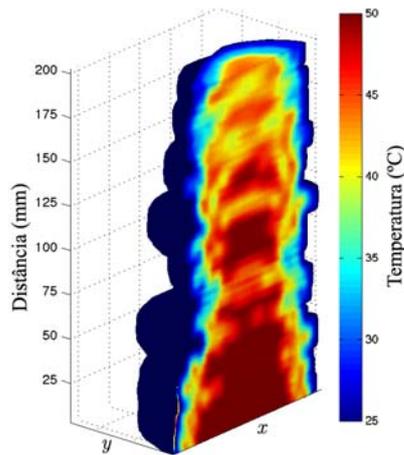


Figura 4 - Corte sagital do padrão térmico volumétrico. Notar a concentração de pontos acima de 50°C na região mais próxima da face do transdutor.

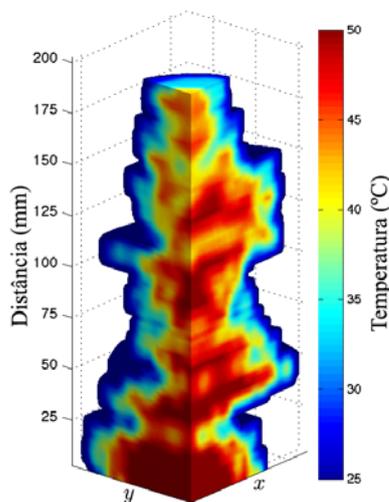


Figura 5 - 1/4 do volume térmico do feixe ultrassônico. Notar as irregularidades do feixe ao longo do eixo de propagação.

Discussão

Foram obtidas imagens térmicas ao longo do eixo de propagação do feixe ultrassônico em um meio absorvedor à base de resina epóxi e ao realizar a reconstrução tridimensional, foi possível visualizar o padrão térmico do feixe com áreas concentradas de maior temperatura na região mais próxima da face do transdutor, o chamado campo próximo (Figura 4) e áreas de irregularidades do feixe ao longo de todo o eixo de propagação (Figura 5). Sabendo-se que todo transdutor circular plano possui um foco natural que é a região de transição entre os campos próximo e distante, a sua distância da face do transdutor é dada por a^2/λ , onde a é o raio e λ é o comprimento de onda, é possível notar que na região do foco natural, em torno de 60 mm da face do transdutor, ocorre um estreitamento do feixe. Resultados similares foram encontrados por López *et al.* [12] que fez uma reconstrução tridimensional do padrão térmico do feixe ultrassônico com o uso de uma folha

de cristal líquido termocromática (TLC) na secção transversa do feixe ultrassônico.

O presente estudo utiliza um polímero, a resina epóxi, de fácil aquisição e preparo, ao contrário do trabalho de Lopez que utiliza uma folha cromotérmica [12]. Pelo fato de tanto as imagens obtidas com a folha termocromática quanto às imagens obtidas com câmera ajustada para uma faixa restrita (25° a 50°) não possuírem faixa dinâmica capaz de mostrar variação total da temperatura, as cores da imagem reconstruída do feixe não correspondem à intensidade do campo ao longo de seu eixo. Usando um ajuste na câmera capaz de abranger uma faixa de variação mais ampla será possível observar esta distribuição de intensidade codificada em cores. Neste aspecto o presente método que utiliza absorvedor de epóxi e câmera térmica é superior ao método que utiliza folha termocromática.

Inicialmente o meio absorvedor utilizado foi de silicone + óleo de silicone (que possui propriedades acústicas similares à gordura), entretanto, apresentava imagens térmicas muito variadas ao longo da distância. Sendo assim, a resina epóxi foi escolhida por apresentar melhores resultados nas imagens, ser um material mais rígido e estável, e por possuir condutividade térmica mais elevada ($0,17-0,27 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$) [10] que o silicone ($0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$) [13]. Pretende-se testar este método com outros *phantoms* mimetizadores de tecidos moles.

O uso de câmera infravermelha para avaliar o aquecimento da face de transdutores ultrassônicos foi objeto de estudo há alguns anos na área de ultrassom [14,15]. Alguns trabalhos foram desenvolvidos no Laboratório de Ultrassom da Coppe/UFRJ para avaliar o padrão térmico produzido por equipamento de ultrassom fisioterapêutico, utilizando a câmera infravermelha. Em um estudo foram obtidas imagens térmicas de um corpo de prova fabricado de resina epóxi, e compararam-se as frequências de 1 e 3MHz, utilizando-se a mesma intensidade nominal ($1,0 \text{ W.cm}^{-2}$), tempo de 15s e modo contínuo. Foram obtidas imagens em 2D de um plano paralelo e localizado na face do transdutor (o meio condutor empregado foi o gel de acoplamento) [11].

Conclusão

Foi possível realizar uma reconstrução tridimensional do padrão térmico de um feixe ultrassônico de um equipamento de Fisioterapia utilizando um meio absorvedor de epóxi e uma câmera infravermelha.

Pretende-se que este método venha a complementar uma avaliação do padrão do feixe ultrassônico, ao mostrar a distribuição da temperatura e a profundidade de penetração, informações necessárias para utilizar o equipamento e calcular dose dentro de protocolos de tratamento.

Agradecimentos

À CAPES, CNPq e à FAPERJ pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Baker KG, Robertson VJ, Duck FA. A review of therapeutic ultrasound: biophysical effects. *Physical Therapy*. 2001; 81(7): 1351-58.
- [2] Itakura DA, Magas V, Neves EB, Nohama P. Alteração da temperatura nos tecidos biológicos com a aplicação do ultrassom terapêutico: uma revisão. *Fisioterapia em Movimento*. 2012; 25(4): 857-68.
- [3] Johns LD, Straub SJ, Howard SM. Variability in effective radiating area and output power of new ultrasound transducers at 3 MHz. *Journal of Athletic Training*. 2007; 42(1): 22-8.
- [4] Straub S, Johns LD, Howard SM. Variability in effective radiating area at 1MHz affects ultrasound treatment intensity. *Physical Therapy*. 2008; 88(1): 50-7.
- [5] Ishikawa NL, Alvarenga AV, Paes LFC, et al. Avaliação de Equipamentos de Ultra-som para Fisioterapia segundo a Norma NBR IEC 1689 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. In: *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*; 2002 Sept 21-23; Florianópolis, Brasil. 2002. p. 326-330.
- [6] Shaw A, Hodnett M. Calibration and measurement issues for therapeutic ultrasound. *Ultrasonics*. 2008; 48:234-52.
- [7] IEC 61689 (2007), “Ultrasonics – Physiotherapy systems – Field specifications and methods of measurement in the frequency range 0.5 MHz to 5 MHz”. IEC – The International Electrotechnical Commission.
- [8] Martin K, Fernandez R. A thermal beam-shape phantom for ultrasound physiotherapy transducers. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 1997; 23(8):1267-74.
- [9] Macedo AR, Alvarenga AV, Pereira WCA, Machado JC. Mapeamento de feixe ultra-sônico utilizando as propriedades cromotérmicas dos cristais líquidos colestéricos. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*. 2003; 19(2):61-8.
- [10] Costa RM. Corpo de Prova de Resina Epóxi com propriedades termocromáticas para avaliação qualitativa do feixe ultrassônico aplicado em Fisioterapia [dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2009.
- [11] Costa RM, Omena TP, von Krüger MA, Pereira WCA. Padrão de aquecimento por Ultrassom terapêutico utilizando câmera infravermelha”, In: *Anais do XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*; 2010 Nov 16-20; Minas Gerais, Brasil. 2010. p. 1041-5.
- [12] López GA, Valentino A, Vera A, Leija L. Temperature distribution analysis of ultrasound therapy transducers by using the thermochromatic liquid crystal technique. 2009
- [13] Maggi, LE, Caracterização das propriedades acústicas de novos materiais visando a confecção de phantoms ultrassônicos [dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2011.
- [14] Saunders O, Clift S, Duck F. Ultrasound transducer self heating: development of 3-D finite-element models. *Journal of Physics: Conference Series*. 2004; 1: 72–7.
- [15] Shaw A, Nunn J. The feasibility of an infrared system for real-time visualization and mapping of ultrasound fields. *Physics in Medicine and Biology*. 2010; 55: N321-7.