

ULTRASSOM TERAPÊUTICO: NOVO MÉTODO DE VERIFICAÇÃO UTILIZANDO TRANSDUTOR DE PRESSÃO¹

ULTRASOUND THERAPEUTIC: NEW METHOD OF VERIFICATION USING PRESSURE TRANSDUCER

Andriele dos Santos Müller², Arielle Silveira de Oliveira³,
Cláudia Lange dos Santos⁴ e Luiz Fernando Rodrigues Junior⁵

RESUMO

O ultrassom terapêutico (UST) é um dos equipamentos mais utilizados na prática clínica pelos fisioterapeutas com os objetivos de diminuir a dor, atenuar os efeitos da inflamação, auxiliar na regeneração tecidual, dentre outros. Como é cada vez mais utilizado, algumas características operacionais precisam ser conhecidas e estudadas para obter resultados satisfatórios nos tratamentos de forma segura e eficaz. Porém, muitos dos profissionais encontram-se diante de muitas incertezas em relação, principalmente, a intensidade da radiação gerada e indicada pelos equipamentos. Diante deste fato, foi realizado um estudo sobre um método de verificação dos UST utilizando um transdutor de pressão, visando um controle de qualidade eficiente e o bom funcionamento dos mesmos. Com base no acima exposto, neste estudo, foi montada uma bancada com um dispositivo de acoplamento entre o UST e o transdutor de pressão, fundamentado no princípio da pressão de onda mecânica. Este transdutor de pressão foi conectado ao sistema de aquisição da marca HBM, modelo MX440A que, por sua vez, será conectado a um computador e gerenciado pelo software Catman, próprio da HBM. A seguir, foram realizados 4 testes para verificação do protótipo utilizando um UST do curso de fisioterapia da UFN - Santa Maria. Quanto aos resultados, o sistema de acoplamento construído demonstrou-se em funcionamento, porém ainda necessita de alguns ajustes.

Palavras-chave: *transdutor de pressão, ultrassom, calibração de ultrassom.*

ABSTRACT

Therapeutic ultrasound (UST) is one of the most used equipment in clinical practice by physiotherapists with the objective of reducing pain, attenuating the effects of inflammation, assisting tissue regeneration, among others. As its use is being increasingly used, some operational characteristics need to be known and studied to obtain satisfactory results in treatments safely and effectively. However, many of the professionals are faced with many uncertainties regarding, in particular, the intensity of the radiation generated and indicated by the equipment. In view of this fact, a study was carried out on a method of verification of TUS using a pressure transducer, aiming at an efficient quality control and the proper functioning of the same. Based on the above, in this study, a bench was set up with a coupling device between the UST and the pressure transducer, based on the principle of mechanical wave pressure. This pressure transducer was connected to the HBM brand acquisition system, model MX440A, which, in turn, will be connected to a computer and managed by HBM's proprietary Catman software. Next, four tests were carried out to verify the prototype using a UST of the UFN - Santa Maria physiotherapy course.

Keywords: *pressure transducer, therapeutic ultrasound, ultrasound calibration.*

1 Trabalho Final de Graduação II.

2 Acadêmica do Curso de Física Médica - Universidade Franciscana. E-mail: andriele.muller@hotmail.com

3 Acadêmica do Curso de Física Médica - Universidade Franciscana. E-mail: ariellere@hotmail.com

4 Coordenadora - Universidade Franciscana. E-mail: langefis@gmail.com

5 Orientador - Universidade Franciscana. E-mail: luiz.fernando@ufn.edu.br

INTRODUÇÃO

Os ultrassons são ondas mecânicas não audíveis, produzidas por um gerador de tensão elétrica de alta frequência que é conectado a um transdutor. Este transdutor possui um cristal piezoelétrico, geralmente de titanato zirconato de chumbo - PZT. Quando colocado em um campo elétrico, às cargas interagem com o mesmo e produzem deformações mecânicas. Logo, a energia elétrica é transformada em energia mecânica e as ondas sonoras são formadas (FERRARI, 2017).

O ultrassom pode ser aplicado em diversas áreas dentre elas na biomedicina, para o tratamento por impactos ultrassônicos, na indústria que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas (REZENDE; CRUZ; MELO, 2011). É muito utilizado na área da medicina para o diagnóstico de doenças cardíacas e como o princípio da formação da imagem em equipamentos de ultrassonografia que são baseados na reflexão e espalhamento de curtos pulsos de ultrassom enviados para dentro dos tecidos do corpo humano (SEVERO *et al.*, 2001).

Segundo Alencar (2004), os equipamentos de ultrassom terapêuticos (UST) começaram a serem introduzidos na área médica como um recurso terapêutico e atualmente são indicados para o tratamento de diferentes patologias. Entre algumas das aplicações pode-se citar: tratamento do traumatismo de articulações e músculos, distensões, luxações, fraturas, contraturas, espasmos musculares, distúrbios do sistema nervoso simpático, transtornos circulatórios, processos inflamatórios agudos e crônicos, reparo das lesões e cicatrização de feridas.

A frequência utilizada é expressa em Hz. Quando aplicado na terapia em tecidos mais superficiais, a frequência utilizada é de 3 MHz, nos tecidos mais profundos, utiliza-se a frequência de 1 MHz (FARCIC *et al.*, 2012). No ultrassom, quanto maior for a frequência, maior será a quantidade de energia absorvida pelo tecido, sendo mais eficiente para o tratamento dos tecidos e o seu poder de penetração diminui devido ao fenômeno de atenuação (GUIRRO; SANTOS, 1997). Já a intensidade, que é de extrema importância para a qualidade da terapia, é definida como a quantidade de energia que atravessa uma determinada área numa unidade de tempo e varia entre 1,0 a 3,0 W/cm² (ALENCAR, 2004). Dependendo dos equipamentos, as ondas podem operar no modo contínuo, pulsado ou em ambos (GUIRRO; SANTOS, 1997).

Segundo Martins *et al.* (2002), para que possamos ter um tratamento de qualidade e seguro, precisa-se que os equipamentos se encontrem em condições adequadas de utilização. Desta forma, é importante que as características operacionais desses equipamentos sejam estudadas e conhecidas pelos profissionais, garantindo excelentes resultados nos tratamentos. Este conhecimento está sendo um empecilho devido à incerteza na intensidade da radiação sônica programada e indicada, devido ao fato dos equipamentos já apresentarem um aumento de intensidade da radiação sônica pelo tempo de utilização, sendo que a principal dúvida é saber se esse aumento já atingiu o percentual significativo, necessitando da calibração deste recurso.

Existem hoje instituições que regulamentam a utilização dos USTs que são: International Electrotechnical Commission (IEC), National Electrical Manufacturers Association (NEMA), American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM), Food and Drug Administration (FDA) e European Committee for Ultrasound Radiation Safety (ECURS). As normas da IEC servem com referência quando se fala na padronização desses equipamentos sendo regulada, no Brasil, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Em 1998 foi publicada pela ABNT uma norma com a descrição NBR/IEC 1689: Ultra-som - Sistemas de fisioterapia - Prescrições para desempenho e métodos de medição na faixa de frequências de 0,5 MHz a 5 MHz, que é a atual norma no Brasil. Ela especifica métodos de medição, caracterização e alguns critérios de aceitação dos equipamentos, assim como algumas características de fábrica (FERRARI, 2017).

Quanto a potência de saída produzida pelos equipamentos de UST não devem desviar-se de cerca de 20% do valor indicado pelo painel do equipamento, sendo uma diferença de $\pm 5\%$ sendo considerada aceitável (SCHABRUN; WALKER; CHIPCHASE, 2008). Pesquisadores relatam que existe uma grande parte dos equipamentos que são utilizados para os tratamentos terapêuticos não se encontram dentro dos padrões, tendo como consequência, além da perda de tempo do profissional e do paciente, a perda de credibilidade por parte dos usuários do equipamento e da própria terapia em si. (LIMA, 2018). Em 2 estudos foram avaliados a precisão de calibração dos UST usando o padrão de 20%. Um estudo descrito em 1974 mostrou que cerca de 85% dos 58 equipamentos testados não estavam dentro deste padrão. E outro estudo realizado em 1981 demonstrou que 81% de 26 equipamentos testados estavam fora o padrão (ARTHO *et al.*, 2002).

Quanto à calibração, existem vários métodos de averiguação da potência emitida pelos aparelhos de UST, entretanto os mais usados são o da balança de radiação (mecânico) e o hidrofone, que serve, segundo a NBR/IEC 1689, como melhor método de medição (MARTINS *et al.*, 2002). Existe também o teste de cavitação, no qual coloca-se água sobre o transdutor e observa-se a cavitação e a nebulização dela com o aumento da intensidade. (ARAÚJO e SANTOS, 2019). Mas, segundo COSTA (2015), este teste demonstra somente se o aparelho esta ou não funcionando, ou seja, emitindo energia ultrassônica.

A balança de radiação consiste em um recipiente contendo água no qual é colocado um cone, suspenso por uma garra, em cima da superfície. Quando a onda sonora é emitida sobre o cone, cria uma força vertical que muda de posição e a radiação provoca uma pressão de onda mecânica que pode ser medida pela balança. Ou seja, a energia que passa pela água gera uma força em um alvo onde ela pode ser absorvida ou refletida. Segundo a NBR/IEC 1968 essa intensidade dar-se-á pelo produto da potência pela área da radiação efetiva (FERRARI, 2017).

No caso do hidrofone, que é um transdutor eletromecânico para aplicações subaquáticas, consiste em converter a variação de pressão, que incide em seu elemento, e transformar em tensão elétrica.

(PEREIRA; MACHADO, 2007). Ou seja, capta os sinais acústicos lançados na água e transforma-os em sinais elétricos (FERRARI, 2017).

Um método que também é utilizado e é uma variação da balança da radiação é o método da balança analítica. Como a balança caracteriza-se por oferecer resultados exatos e específicos em relação ao peso de um objeto ou de um determinado elemento, o método então consiste em um recipiente com um cone interno que é preenchido com água e colocado sobre um prato da balança. O cabeçote do ultrassom é posto na superfície do recipiente rente a água. A radiação provoca uma pressão de onda mecânica. (MARTINS *et al.*, 2002).

Diante desta grande dúvida e da limitada disponibilidade de centros aptos a realizarem a verificação destes aparelhos no Brasil, é que surgiu a proposta de um novo método de verificação para que os profissionais possam verificar rotineiramente seus equipamentos de UST, mantendo-os dentro das normas internacionais e garantindo a dosagem correta.

MATERIAIS E MÉTODOS

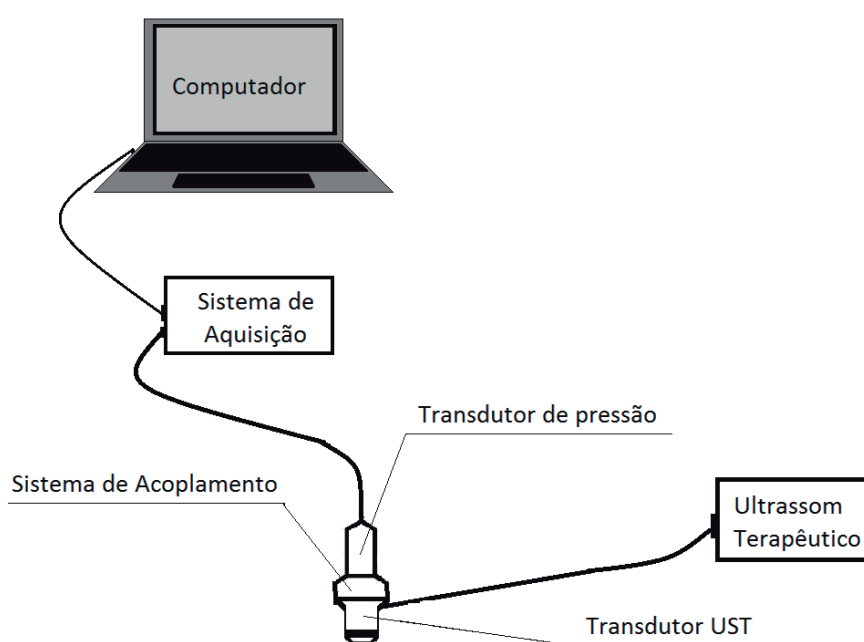
Para efetuar os testes de verificação dos USTs foi realizada a construção de um sistema de verificação (protótipo) no qual está fundamentado no princípio da pressão de onda mecânica (MARTINS *et al.*, 2002). Na figura 1, é apresentado um esquema de como foi elaborado o dispositivo. Como pode ser observado, o conceito de medição é baseado em um transdutor de pressão e um sistema de aquisição digital. O transdutor utilizado foi da marca Wika, modelo S-10, conectado ao sistema de aquisição HBM, modelo MX440A, que por sua vez foi conectado a um computador e gerenciado pelo software Catman. Foi utilizado um sistema de acoplamento composto por um funil, com aproximadamente 300 mL de água, como meio de condução das ondas mecânicas. Ele foi ligado a uma seringa de 20 mL, que é conectada a uma torneira de 3 vias descartável da marca Discifix C, elas auxiliam na retirada e reposição da água, seguido de um extensor para equipo hospitalar sendo ligado ao transdutor de pressão.

Nos testes realizados, o transdutor do UST é colocado diretamente sobre o balão, cobrindo o funil, no qual é a membrana de acoplamento composto por borracha natural, junto com um gel que serve para eliminar o ar entre o balão e o transdutor. Esses géis são compostos por água destilada e outros materiais inertes, eliminando as bolhas de ar entre os meios.

Para realizar as medidas optou-se por 3 valores de intensidade, 1,5, 2,0 e 2,5 W/cm². A frequência foi mantida em 1 MHz e a forma de onda contínua. O equipamento usado para testes foi um UST da Universidade Franciscana de Santa Maria. Foi utilizado como padrão um aparelho novo, da marca Sonopulse III, calibrado segundo os padrões internacionais. Para cada valor de intensidade foram realizadas 3 (três) medidas e os dados foram plotados e calculado a média entre os gráficos, considerando os pontos entre 20 e 50 segundos de cada ensaio. A partir da curva média obtida, foi

feita uma estatística descritiva da nuvem de pontos. A avaliação do comportamento dos resultados foi realizada análise da variância (ANOVA) e o teste post-hoc de Tukey para comparação das médias. O nível de significância utilizado foi de $p \leq 0,05$. Foi utilizado o software Origin® para plotar os gráficos e efetuar as análises estatísticas.

Figura 1 - Esquema da construção do sistema de verificação de UST.

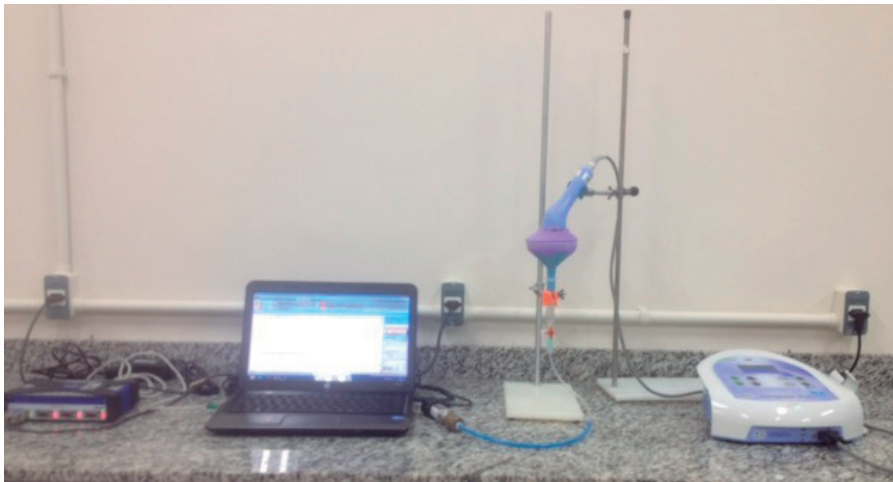


Fonte: Construção da Autora.

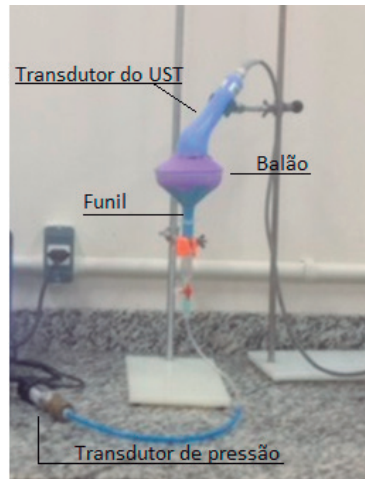
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 2 e 3 são apresentadas imagens do protótipo construído para realizar os ensaios de verificação. Na figura 3 é detalhado os componentes de sistema de acoplamento, transdutor de pressão e o transdutor de ultrassom. Como pode ser percebido pelas imagens, a construção do sistema é simples e fez uso de componentes diários e de fácil acesso.

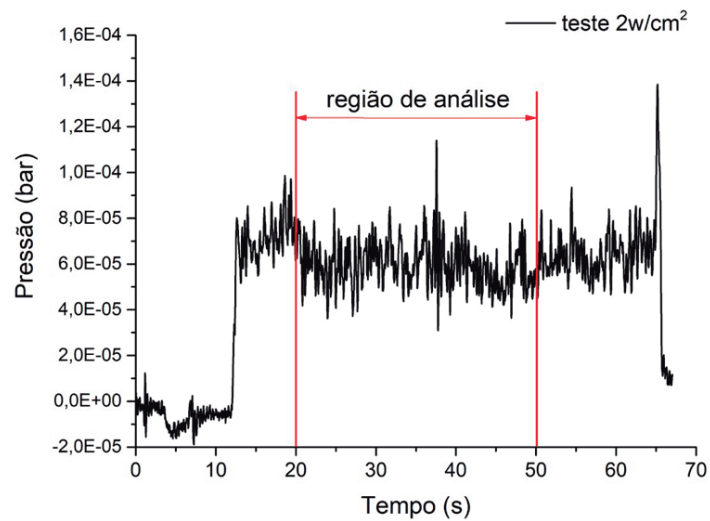
A figura 4 apresenta um exemplo das curvas obtidas para os ensaios de medição da intensidade de ultrassom. A parte demarcada no gráfico é a região que representa a nuvem de pontos que foram utilizadas para o procedimento de construção de uma curva de calibração do protótipo. A escolha dessa região é porque o sistema apresenta grande variabilidade nos tempos iniciais e finais, em decorrência do efeito de ativação e desativação do UST. Na figura 5 é apresentado o gráfico referente ao ensaio de intensidade de 2W/cm^2 , demonstrando os valores e o comportamento de cada 1 dos 3 testes realizados e a média obtida para as 3 curvas no intervalo de tempo de 20-50 segundos. O comportamento obtido para as demais intensidades foi semelhante ao observado para o teste de 2 W/cm^2 .

Figura 2 - Sistema de verificação do UST montado.

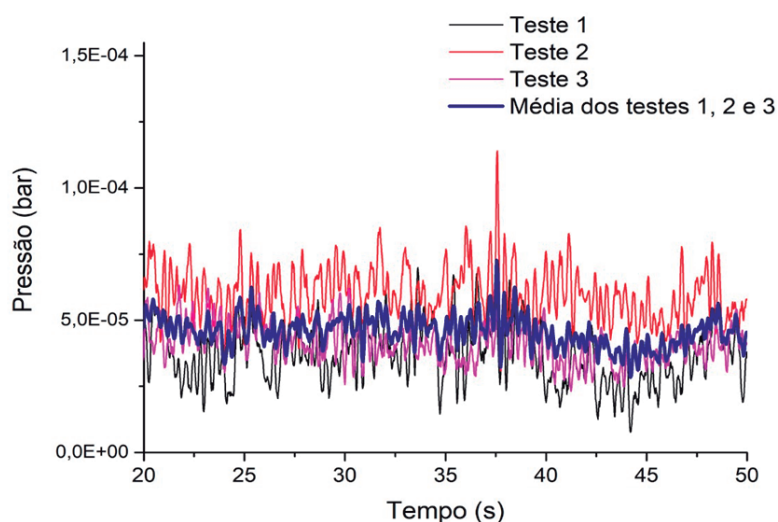
Fonte: Construção da Autora.

Figura 3 - Sistema de acoplamento (funil, balão, transdutor do UST e transdutor de pressão).

Fonte: Construção da Autora.

Figura 4 - Análise da pressão em função do tempo do teste de $2,0 \text{ W/cm}^2$ de intensidade.

Fonte: Construção da Autora.

Figura 5 - Gráficos referentes aos testes realizados para analisar o comportamento do sistema.

Fonte: Construção da Autora.

Na tabela 1 são apresentados os valores de média e desvio padrão calculados a partir da curva média para cada intensidade estudada. As letras a-a, b-b e c-c indicam que existe uma diferença significativa entre as médias das intensidades ($p = 0,001$).

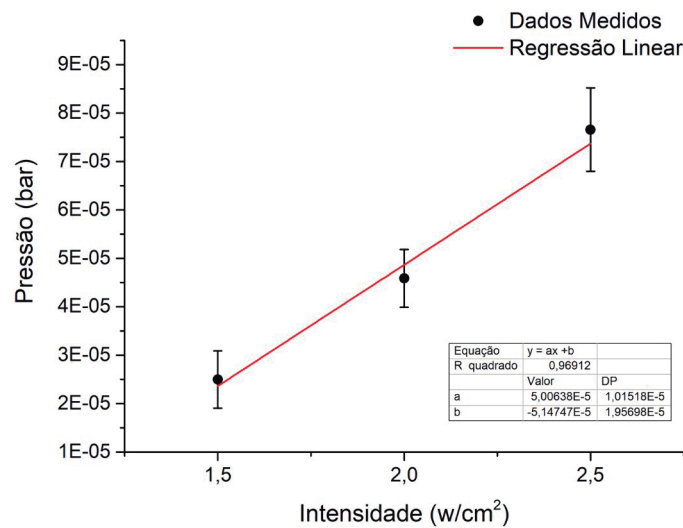
Para qualquer dispositivo de verificação/calibração faz-se necessário o desenvolvimento de uma curva de calibração do mesmo (figura 6). Nesta figura são apresentados os valores de intensidade medidos e a curva de regressão linear calculados. O valor de R^2 varia entre 0 a 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Sendo que quanto maior for o valor do R^2 , melhor ele se ajusta à amostra. O valor de R^2 foi de 0,96912 (96,912%), valor este bem próximo de 1,0, e demonstrando, por um valor quantitativo, que os pontos de intensidades escolhidos 1,5, 2,0 e 2,5 W/cm^2 apresentaram um comportamento considerado linear.

Tabela 1 - Relação entre as médias das intensidades.

Intensidade (w/cm^2)	Número de pontos	Média \pm DP (bar)
1,5	1000	(2,49771E-5 \pm 5,90693E-6) a-a
2,0	1000	(4,58687E-5 \pm 5,98469E-6) b-b
2,5	1000	(7,65737E-5 \pm 8,62131E-6) c-c

Fonte: Construção da Autora

Figura 6 - Calibração do sistema ressaltando a relação linear para as intensidades analisadas



Fonte: Construção da Autora.

CONCLUSÃO

O sistema de verificação mostrou-se em funcionamento, porém analisando o comportamento dos resultados, podemos identificar alguns problemas que o impedem de ser um método seguro e confiável de verificação. Vários itens estão sendo revisados que podem ser desde a composição do balão até o ar entre a seringa e o funil que possam estar impedindo o sistema de transmitir valores aceitáveis. Levando em consideração a importância da relação da intensidade gerada pelos equipamentos de ultrassom terapêuticos, tanto a mencionada pelo equipamento quanto pela transmitida por ele, é que a partir desses dados vamos aprimorar o sistema a fim de torná-lo um método econômico e, principalmente, seguro de verificação, facilitando o trabalho dos profissionais e garantindo um tratamento seguro e confiável para os pacientes.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, I. **Efeito do ultrassom terapêutico**: uma abordagem geral no aparelho e nas principais contraindicações. 2004, 18f. Artigo (Especialização) - Faculdade Ávila. Curso de Pós-Graduação em Traumatologia-Ortopedia com Ênfase em Terapias Manuais, Goiás, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/367foGZ>

ARAÚJO, R. O. D; SANTOS, R. F. D. Avaliação do funcionamento dos aparelhos de ultrassom terapêutico em serviços públicos e privados da cidade de Manaus. **Rev. Adm. Saúde (On-line), São Paulo, v. 19, n. 77: e188, out.** - dez. 2019, Epub 25 nov. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.23973/ras.77.188>. Acesso em 22 agosto de 2021.

ARTHO, P. A. *et al.* A Calibration Study of Therapeutic Ultrasound Units. **Physical Therapy**, v. 82, n. 3, p. 257-263, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ptj/82.3.257>

COSTA, R. M.; **Protocolo de Medição Para Análise Qualitativa de Equipamentos de Ultrassom Fisioterapêuticos Utilizando Um Corpo de Prova Termocromático**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3tLLd7D>

FARCIC T.S. *et al.* Aplicação do ultrassom terapêutico no reparo tecidual do sistema musculoesquelético. **Arquivos Brasileiros de Ciências da Saúde**, v. 37, n. 3, p. 149-153, Set/Dez 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.7322/abcs.v37i3.29>

FERRARI, C. B. Avaliação do desempenho de equipamentos de ultra-som terapêutico. 2008. 113f. **Dissertação (Mestrado em Fisioterapia)** - Universidade Metodista de Piracicaba. Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, Piracicaba, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/3NdTYc7>

GUIRRO, R.; SANTOS, S. C. B. A realidade da potência acústica emitida pelos equipamentos de ultrassom terapêutico: uma revisão. **Revista de Fisioterapia da Universidade de São Paulo**, v. 4, n. 2, p. 76-82, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/fpusp.v4i2.76148>

LIMA, L. S.; **Avaliação da Técnica de Aplicação de Ultrassom Fisioerapêutico com Bolsa com Água**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3iiQbvJ>

MARTINS, F. *et al.* Calibração do ultrassom terapêutico pelo método da balança analítica. In: **CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA 2**, 2002, João Pessoa. Anais. João Pessoa, 2002. Disponível em: <https://bit.ly/3iij2y5>

PEREIRA, R.; MACHADO, J. C. Métodos de calibração de hidrofones, **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 277-292, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/37wqx4o>

REZENDE, E. J. O.; CRUZ, J. G. S.; MELO, J. C. Ensaio não destrutivo por ultrassom In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15. 2011, São José dos Campos. **Anais do XV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação**. 2011. Disponível em: <https://bit.ly/361WLv3>

SEVERO, L. S., *et al.* **Aplicação dos Testes de Verificação dos Indicadores da Qualidade de Equipamentos de Ultra-sonografia**, 2001, São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP. Disponível em: <https://bit.ly/3wqcuHU>

SCHABRUN, S.; WALKER, H.; CHIPCHASE, L. How Accurate are Therapeutic Ultrasound Machines?

Hong Kong Physiotherapy Journal, v. 26, n. 1, p. 39-44,2008. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/](https://doi.org/10.1016/S1013-7025(09)70006-5)

S1013-7025(09)70006-5