

## SOBRE A UTILIZAÇÃO DE BALANÇA ANALÍTICA PARA A CALIBRAÇÃO DE ULTRA SOM TERAPÊUTICO

**Lutero C. de Lima**  
luterocl@unifor.br

**Fabio I. Mendonça Martins**  
fmendonça@lavras.br

**Débora Beviláqua Grosso**  
deborabg@fmrp.usp.br

**João B. F. Duarte**  
furlan@unifor.br

### Resumo

O Ultra Som é um dos recursos de maior utilização na fisioterapia para o tratamento de diversas enfermidades. Um dos problemas que os profissionais da fisioterapia têm se deparado diariamente é a incerteza na intensidade da radiação sônica programada e indicada nos painéis daquele tipo de recurso fisioterapêutico. O aparelho de ultra som naturalmente apresenta um decréscimo na intensidade da radiação sônica devido ao tempo de utilização. O problema para o profissional é saber se o decréscimo atingiu um percentual significativo, necessitando da recalibração daquele tipo de recurso. Por outro lado, é muito limitada a disponibilidade de centros no Brasil onde a calibração pode ser realizada. Com base no acima exposto, neste estudo, é montada uma bancada com uma balança analítica, manufaturado um cilindro com um cone interno, com o menor peso possível, de modo a acomodar a água e o conjunto colocado sobre a balança analítica. O conjunto recebe a irradiação sônica do cabeçote do US e a balança passa a acusar um peso que é diretamente proporcional à intensidade do ultra som irradiado. Utilizou-se uma balança de irradiação sônica padrão e um aparelho de ultra som calibrado para a habilitação do método proposto. A seguir, foram selecionados 14 aparelhos de US utilizados em clínicas de fisioterapia da cidade de Lavras – MG e conferidas suas calibrações. O método proposto se mostrou muito simples, confiável e barato, resultando em benefício para os profissionais da fisioterapia.

*Palavras-chave: ultra som, calibração de ultra som, balança analítica*

### Abstract

The Ultra sound is one of the most used resource in the physiotherapy for the treatment of several diseases. One problem that usually physiotherapists meet is the uncertainty in the intensity of sonic radiation emitted by that kind of device. The ultra sound device naturally presents a decrease in the intensity of radiation by the use and the question to the professional is to know when to send the equipment for calibration. Mainly in countries such as Brazil the availability of centers for calibration is very limited so in the present study a simple method of calibration using analytic balance is proposed. A experimental setup was assembled and 14 ultra sound devices were submitted to the process of aferition of calibration. The proposed method did show beneficial to the professionals of physiotherapy since it is simple, reliable and cost competitive.

*Keywords: ultrasound, ultra sound calibraton, physiotherapy ultra sound calibration*

## 1 Introdução

O Ultra Som Terapêutico (UST) é largamente utilizado em tratamentos fisioterapêuticos, com finalidades variadas, como: reduzir edemas, diminuir a dor, acelerar o reparo tecidual, modificar a formação de cicatriz, acelerar a consolidação das fraturas, auxiliar no ganho de força muscular, aumentar a síntese de proteínas, melhora da enurese noturna, melhorar a penetração de medicamentos, melhora de tendinites calcificadas, tratamento de tumores, entre outras (KITCHEN e BAZIN,

1998). Para que as respostas biológicas esperadas aconteçam e o tratamento fisioterapêutico seja efetivo, é necessário que os equipamentos de UST estejam insonando a quantidade necessária de energia, mas não em excesso, pois isto pode causar lesão tecidual ou exacerbação do problema. É importante, portanto, que se tenha a garantia da dosagem correta e isto só é possível com a calibração periódica deste recurso terapêutico. A nível internacional a norma IEC 61689 (*Ultrasonics-physiotherapy systems – performance, requirements and methods of measurement in the frequency range 0.5 MHz to 5 MHz*), atualizada em 1996, exige que os aparelhos de UST não podem variar o valor indicado nos painéis em mais do que 15%. No Brasil, a norma regulamentadora é a mesma, porém editada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) em 1998. A literatura mundial reconhece que os aparelhos de UST perdem o fator de calibração à medida em que vão sendo utilizados, sendo, portanto, necessárias aferições periódicas da calibração (HEKKENBERG, OOSTERBAAN e BEEKUM, 1986).

Há uma controvérsia sobre qual o intervalo de tempo ideal para que os UST sejam enviados para calibração. HAAR, DYSON e OAKLEY (1987) afirmaram que os UST, na Inglaterra, eram calibrados a cada 3-6 meses nas instituições do Sistema Nacional de Saúde e anualmente nas clínicas particulares. DOCKER (1987) recomenda que os equipamentos devem ser calibrados, pelo menos, anualmente. Já RIVEST et al. (1987) sugere que a calibração seja feita mensalmente, ao passo que KITCHEN e BAZIN (1998) sugerem que o ideal seria que os aparelhos fossem revisados semanalmente. No Brasil, salvo os trabalhos de GUIRRO et al. (1987), pelo conhecimento dos presentes autores, não se encontram disponíveis na literatura trabalhos referentes à calibração e periodicidade de calibração daqueles aparelhos. Segundo o NATIONAL MEASUREMENT SYSTEM PROGRAMME FOR ACOUSTICAL METROLOGY (2001), embora se tenham hoje recursos comercialmente disponíveis para aferir a calibração dos UST, estes tendem a ter alto custo e a calibração requer um técnico especializado. Isso dificulta a averiguação e a manutenção dos equipamentos, mantendo-os, muitas vezes, fora das normas internacionais por longos períodos. Seria necessário, segundo este Programa, que houvesse um método confiável e de baixo custo que proporcionasse aos fisioterapeutas meios de aferir rotineiramente seus aparelhos de US.

Segundo PRESTON (1986), existem vários métodos de averiguação da potência emitida pelos aparelhos de UST, entretanto, os mais usados são o da balança de radiação e o hidrofone. O método da balança de radiação consiste de uma superfície com um cone em cima, ligada a um eixo de sustentação, que é mergulhado em 2 líquidos de densidade diferente (geralmente água e tetracloreto de carbono). Quando a onda sonora é emitida sobre o cone, cria uma força vertical sobre a superfície, que muda de posição, permitindo que ela seja medida no eixo de sustentação. O método da balança analítica é uma variação do método da balança de radiação e este método consiste basicamente de um recipiente com um cone interno, preenchido com água, e colocado sobre o prato de uma balança analítica. O cabeçote do US é colocado na superfície superior do recipiente rente à água e a radiação sonora provoca um peso proporcional na balança analítica. No que se refere ao hidrofone, um sinal elétrico é produzido em resposta a uma onda acústica aplicada a um elemento piezoelétrico. Funciona como um microfone submerso ligado a um osciloscópio ou analisador de espectro.

Outro método também usado é o método ótico de Schlieren, que acusa a variação do índice de refração em um meio líquido, quando da passagem de uma onda sonora. A termometria de cristal líquido também é usada para se correlacionar o acréscimo da temperatura do meio líquido com a insonação. Outros métodos menos usados são a extensimetria, que acusa a deformação de um elemento físico devida à insonação, a interferometria ótica a laser, que mede o deslocamento de uma membrana quando da passagem da onda sonora e o método de reciprocidade, que acusa a variação da diferença de potencial de um elemento, quando da incidência de uma onda sonora.

Com base no acima exposto, os objetivos do presente trabalho são (a) proporcionar ao profissional da fisioterapia um método acessível, capaz de avaliar a intensidade emitida pelos UST através do método da Balança Analítica, (b) verificar a intensidade acústica de diversos aparelhos de UST em uso na cidade de Lavras – MG e região, (c) analisar os diversos equipamentos enviados para calibração, a fim de verificar se os mesmos se encontravam dentro das normas aceitáveis internacionalmente.

## 2 Materiais e Métodos

Foram avaliados 10 aparelhos de ultra som terapêutico de marcas variadas, operando em 5 clínicas de fisioterapia de Lavras (MG) e região. Foi utilizado como padrão um aparelho novo, da marca Quark (Figura (1)-a), calibrado segundo padrão internacional. Este aparelho não foi utilizado para tratamentos, ficando exclusivamente para método de comparação com os demais. O mesmo foi aferido através de balança de radiação (Figura (1)-b), tendo sido utilizada para tanto uma

Balança *Ultrasound Power Meter*, modelo Upm-DT-10, da *Ohmic Instruments*, de propriedade da Empresa Fernandes Fisioterapia de Belo Horizonte – MG.

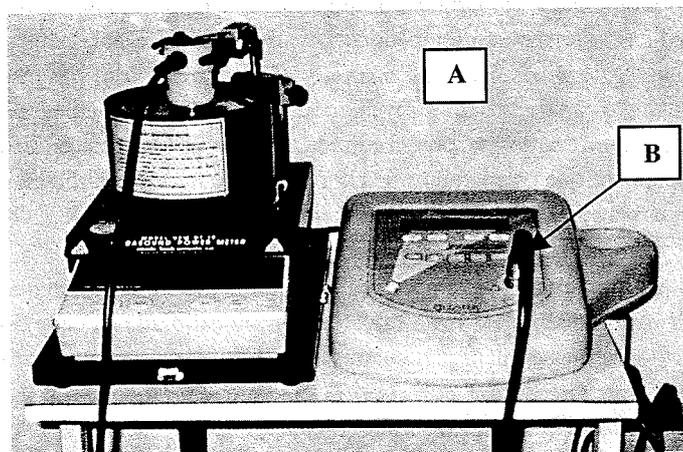


Figura 1. Aparelho de UST usado como “padrão” (A) e Balança de Radiação (B).

Foi confeccionado um recipiente (a) em Tecnew, medindo 4,7 cm de altura, raio de 6,0 cm, peso vazio de 55 g (110 g pleno com água), com um cone metálico interno em sua base com 2,5 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro. A parede interna do recipiente é revestida com borracha com espessura de 0,2 cm. Para pesar a insonação dos UST foi utilizada uma balança analítica, com resolução de 0,1 mg, da marca *HR Analytical Balance*, modelo HR-120, da *AND Company*, balança esta aferida pelo INMETRO e declarada como dentro dos padrões internacionais. O conjunto é mostrado na Figura (2).

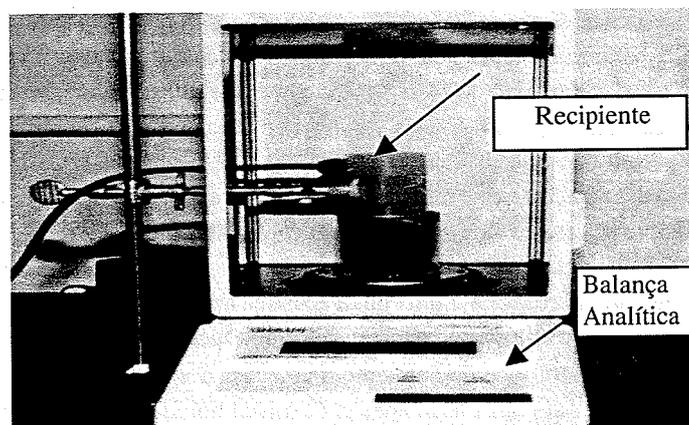


Figura 2. Montagem Experimental Utilizada.

O recipiente era locupletado com água desgaseificada (previamente fervida por 1 hora) como recomendado por HEKKENBERG et al. (2001). A parte metálica do cabeçote do UST era submersa nessa água e uma haste metálica em forma de “L” era utilizada para retirar as possíveis bolhas de ar que houvesse entre o cabeçote e o cone metálico, conforme procedimento realizado por GUIRRO et al., (1986).

Realizaram-se medidas nas intensidades de 0,1, 0,2, 0,5, 0,8, 1,0, 1,2, 1,5, 1,8 e 2,0 W/cm<sup>2</sup>, sempre na frequência de 1 MHz e na forma de pulso Contínuo. Cada intensidade foi medida 5 vezes e a diferença entre o peso mostrado na balança antes de ligar o UST e o peso mostrado em cada intensidade foi registrado. A média aritmética destes valores foi utilizada para a análise estatística. Na análise estatística, para as variâncias foi utilizado o Teste de Cochran e, para as observações pareadas, foi utilizado o Teste t de *Student*.

### 3 Resultados

O método da Balança Analítica foi validado utilizando-se a Balança de Radiação mostrada na Figura (1) e o aparelho considerado como padrão e os resultados são apresentados na Figura (3).

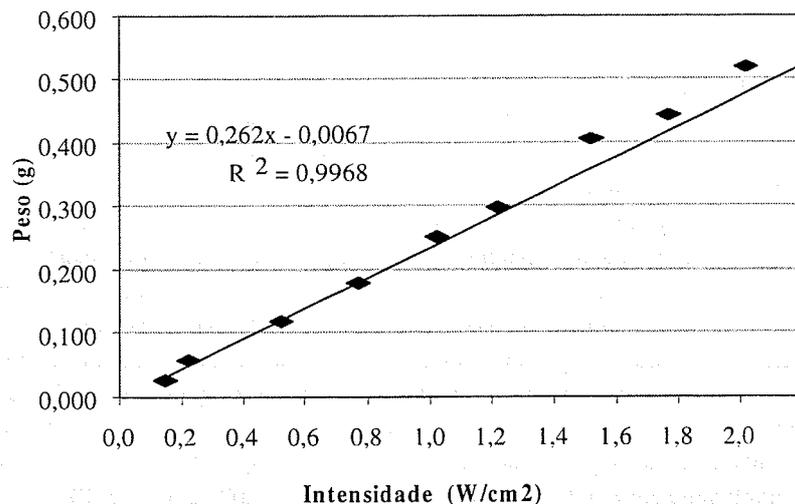


Figura 3. Aferição do Aparelho Padrão contra a Balança de Radiação

A Figura (4) apresenta as medidas de intensidade de radiação emitidas pelo aparelho padrão contra as medidas em peso fornecidas pela balança analítica utilizada.

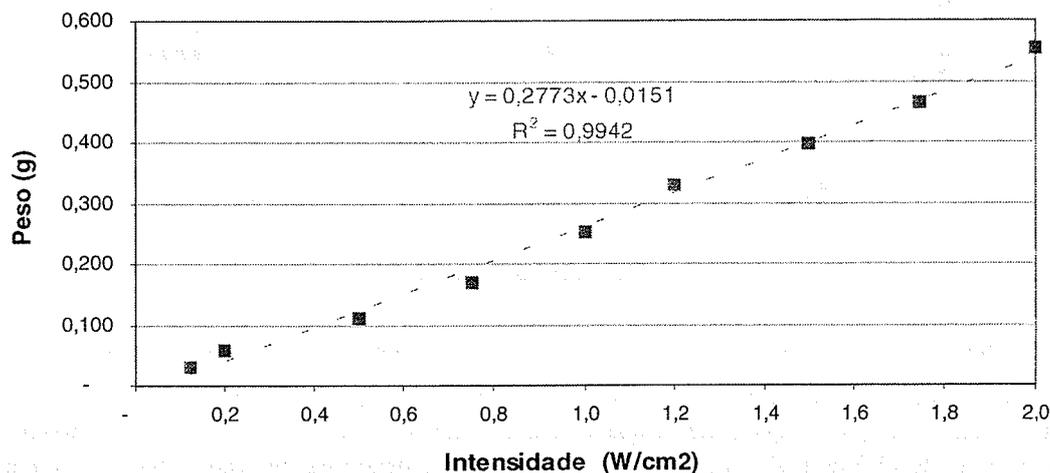


Figura 4. Aferição do Aparelho Padrão contra a Balança Analítica.

Na Figura (5) é apresentada a comparação entre os pesos observados nas balanças de Radiação e Analítica ao aferir-se o Aparelho Padrão.

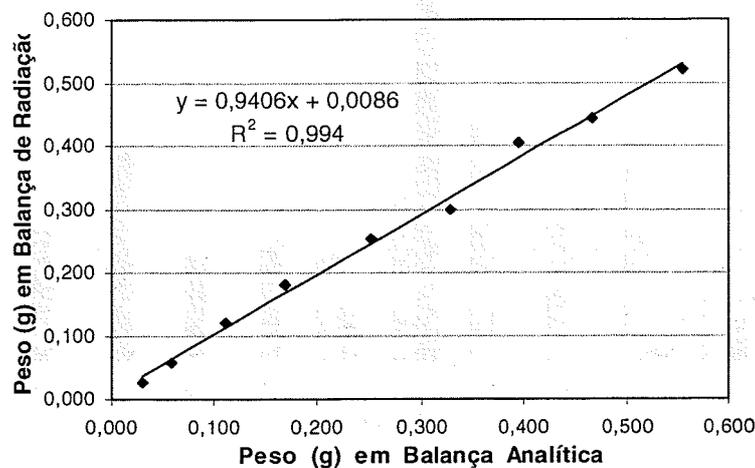


Figura 5. Comparação entre os pesos nas Balanças de Radiação e Analítica.

A seguir, serão apresentados os dados da 1ª e da 2ª aferição feitas nos UST utilizados. A 1ª aferição corresponde aos dados da 1ª medida realizada no equipamento e a 2ª aferição corresponde aos dados da medida realizada após a manutenção/calibração do mesmo equipamento. Alguns equipamentos apresentam apenas a 1ª aferição, pois podem estar dentro dos padrões aceitáveis internacionalmente (erros menores que 15%) ou porque os profissionais responsáveis pelos mesmos não enviaram estes equipamentos para calibração.

Logo a seguir, será mostrado um quadro das aferições dos 10 aparelhos utilizados, entretanto, para não tornar a análise dos resultados repetitiva, aqui destacar-se-á um aparelho, por exemplo, o aparelho codificado como número 3 e feita a análise. O aparelho 3 não estava emitindo nenhuma radiação sônica ao ser aferido pela primeira vez. O profissional responsável pelo mesmo foi informado, encaminhando-o para manutenção e calibração. A Figura (6) apresenta a comparação entre a 2ª aferição do aparelho 3 contra as medidas do Aparelho Padrão. O aparelho 3, após a calibração, apresentou-se dentro dos padrões internacionais, mostrando um excesso de insonação de 9,33%. Para este aparelho, a aplicação do Teste de Cochran,  $C_{calc}$  (0,235) foi menor que  $C_{tab}$  (0,308) o que demonstra que a variância entre as médias é aceitável. Quanto ao Teste t de Student, houve diferença estatisticamente significativa entre a 1ª e a 2ª aferição ( $t_{cal} = 5,47$  e  $p = 0,0006$ ), mas não houve diferença estatisticamente significativa entre a 2ª e o Aparelho Padrão ( $t_{cal} = 0,028$  e  $p = 0,878$ ).

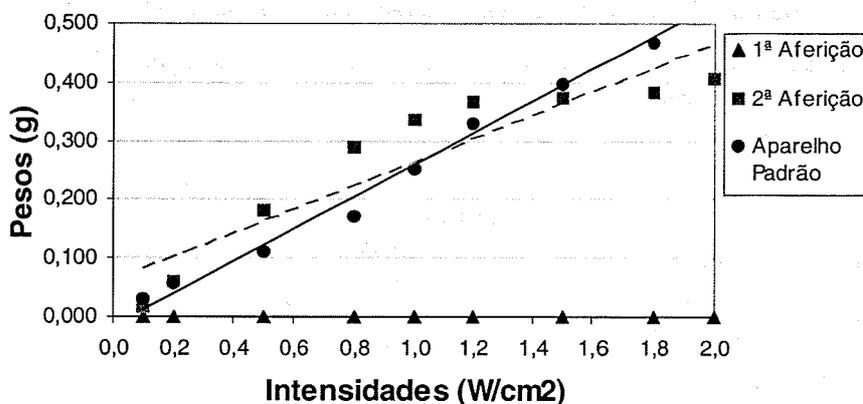


Figura 6. Comparação entre a 1ª e 2ª aferições do Aparelho 3 com o Aparelho Padrão.

A Figura (7) apresenta o comportamento dos 10 equipamentos nas suas respectivas aferições. Pode-se observar a grande disparidade entre algumas aferições, já que o ideal é que os equipamentos se aproximem de 100%. As normas internacionais permitem uma variação de 15% do real, o que significa uma insonação dentro da variação de 85 a 115% em relação ao Padrão (esta margem de erro está delimitada na Figura (7)).

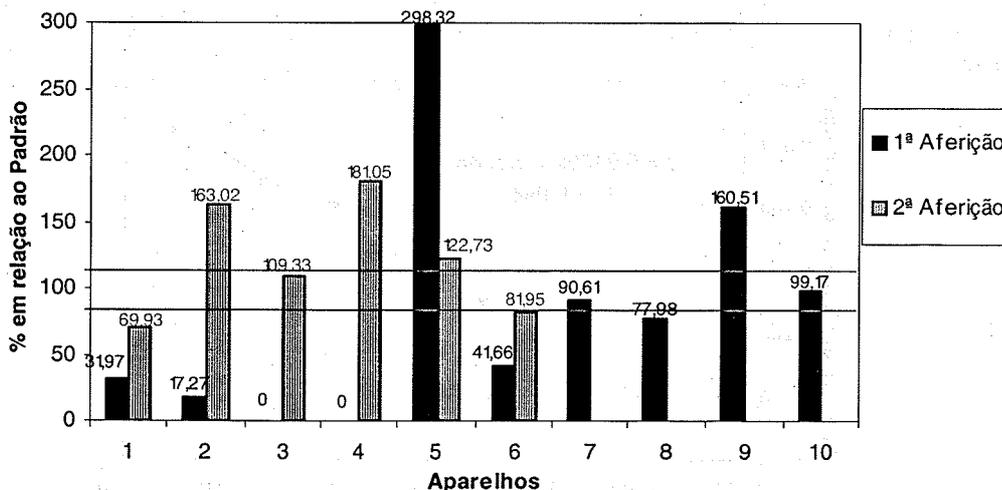


Figura 7. Comportamento dos 10 equipamentos nas aferições realizadas.

Fazendo-se uma análise geral dos equipamentos, constata-se que somente 20% se mostraram dentro dos padrões aceitáveis de emissão de energia nas medidas realizadas. Dos 8 equipamentos descalibrados inicialmente, 6 sofreram calibração. Nos 2 equipamentos que não foram calibrados, isso ocorreu por opção do profissional responsável pelos mesmos, pois todos foram comunicados do ocorrido. A calibração realizada nos equipamentos sempre melhorou a insonação, mas somente em um caso ela foi efetiva, isto é, mantendo o aparelho dentro dos padrões aceitáveis internacionalmente, apesar de, algumas vezes, a diferença entre a 2ª aferição e o Aparelho Padrão não ser estatisticamente diferente.

#### 4 Discussão

O método usual para se medir a intensidade acústica real dos UST é a Balança de Radiação (PRESTON, 1986; HEKKENBERG et al., 2001). Estas balanças, entretanto, são de difícil acesso ao fisioterapeuta, pois têm alto custo (cerca de US\$ 4.000,00, dependendo do modelo) e somente são encontradas em laboratórios e em assistências técnicas especializadas, o que, muitas vezes, dificulta a aferição e a calibração dos aparelhos. GUIRRO et al. (1986) descreveram uma metodologia alternativa, utilizando uma balança semi-analítica para medir os UST a um custo muito mais baixo, facilitando o acesso do profissional a avaliações periódicas de seu equipamento. Esta balança, entretanto, possuía apenas 3 (três) casas decimais, tendo capacidade para pesar 1,0 mg. Segundo HEKKENBERG et al. (2001) o ideal é que ela seja capaz de pesar 0,1 mg, isto é, com 4 (quatro) casas decimais, o que torna a pesagem mais sensível às variações da insonação. No presente trabalho, foi realizada uma adaptação do método da balança semi-analítica para o método da balança analítica, o que se mostrou satisfatório uma vez que apresentou diferenças em torno de 2,6% com relação ao método da balança de radiação. O método ora proposto apresenta baixo custo (cerca de US\$ 400,00) e é de fácil execução, não ficando restrito a laboratórios ou assistências técnicas, uma vez que pode ser adquirido por grandes clínicas, hospitais, clínica-escolas, etc.

STEWART et al. (1974), ALLEN e BATTYE (1978), REPACHOLI e BENWELL (1979), FYE e PARNELL (1982), DOCKER e PATRICK (1982), RIVEST et al. (1987), LLOYD e EVANS (1988), PYE e MILFORD (1992), GUIRRO et al. (1987) e HEKKENBERG et al. (2001) também encontraram um número significativo de equipamentos descalibrados, fora dos padrões internacionais. No entanto, os índices de aparelhos fora das normas encontrados nesta pesquisa (80%) foi mais alto do que nos trabalhos supracitados. Uma vez que estes trabalhos foram realizados (exceto HEKKENBERG et al., 2001) em períodos anteriores à norma IEC 61689 (editada em 1996 e em vigor no Brasil desde 1998), acredita-se que o número de equipamentos fora das normas internacionais seria maior hoje, pois a margem de erro permitida diminuiu de 30% para 15%.

Com o equipamento descalibrado, o fisioterapeuta, ao enviá-lo para uma assistência técnica especializada, espera recebê-lo em ótimas condições de uso e que o mesmo esteja dentro dos padrões aceitáveis internacionalmente. Entretanto, os resultados deste trabalho revelaram que a maioria dos aparelhos analisados na cidade de Lavras, após a realização de calibração/manutenção, não se encontrava em condições ideais de uso. Os erros médios das calibrações realizadas foram de 26%. Nas 6 calibrações realizadas, todas melhoraram a emissão de energia dos aparelhos, deixando-os mais próximos dos limites aceitáveis, mas em 83% dos casos ainda fora dos padrões internacionais. Apenas uma calibração foi efetiva, fazendo com que o UST ficasse dentro das normas internacionais (diferenças menores que 15%). Estes dados não puderam ser diretamente comparados, uma vez que não foram encontrados trabalhos que mediram a intensidade acústica dos UST após calibração. No entanto, HEKKENBERG et al. (2001) demonstraram que os fabricantes são incapazes de calibrar corretamente seus equipamentos. Portanto, enviar o equipamento para calibração em assistências técnicas nas atuais condições da indústria (técnica ou de mão-de-obra especializada) não garante confiabilidade terapêutica.

Desta forma, faz-se necessário, mesmo após a calibração, estabelecer parâmetros de utilização dos equipamentos aferidos, de forma que a emissão de energia fosse suficiente para promover os efeitos fisiológicos desejados pelo terapeuta. Isso é possível através do método da balança analítica. Esta rotina pode ser realizada periodicamente, uma vez que tem baixo custo e é de fácil realização. Para tanto, basta que se faça uma aferição do equipamento traçando-se um perfil do aparelho e, quando este for utilizado, o terapeuta corrija o erro apresentado, emitindo mais ou menos energia, aumentando ou diminuindo a intensidade no botão de controle do equipamento.

#### 5 Conclusão

- O método da balança analítica mostrou-se eficaz para medir e acompanhar os aparelhos de UST. Seu custo é baixo e é de fácil utilização, podendo ser adquirido e utilizado por clínicas em qualquer parte do Brasil.
- Dos equipamentos avaliados, 80% encontravam-se fora dos padrões das normas.

- A calibração dos UST sempre melhora a condição dos equipamentos, mas não garante atendimento às normas.
- É fundamental traçar parâmetros que permitam a correta utilização dos equipamentos de UST. O método da balança analítica permite que o profissional da fisioterapia tenha acesso ao comportamento de seu aparelho e que, a partir disso, possa utilizá-lo com maior confiabilidade terapêutica.

## Referências

- ALLEN, K. G. R.; BATTYE, C. K. Performance of ultrasonic therapy instruments. *Physiotherapy*, New York, v. 64, n. 6, p. 174-179, June 1978.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBRIEC 61689: Ultra-som – Sistemas de fisioterapia – Prescrições para desempenho e métodos de medição na faixa de frequência de 0,5 MHz a 5 MHz*. Rio de Janeiro, 1998.
- DOCKER, M. F.; PATRICK, M. K. Ultrasound couplants for physiotherapy. *Physiotherapy*, New York, v. 68, n. 4, p. 124-125, Apr. 1982.
- DOCKER, M. F. A review of instrumentation available for therapeutic ultrasound. *Physiotherapy*, New York, v. 73, n. 4, p. 154-155, Apr. 1987.
- FYE, M. C.; PARNELL, S. M. The importance of measurement of effective transducers radiating area in the testing and calibration of therapeutic ultrasonic instruments. *Health Phys*, McLean, v. 43, n. 3, p. 377-381, Mar. 1982.
- GUIRRO, R. et al. Dosimetria de aparelhos de ultra-som terapêutico utilizando balança semi-analítica. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 79-82, Jan. 1986.
- GUIRRO, R. et al. Calibration of acoustic intensity of therapeutic ultrasound equipment in use in the city of Piracicaba. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 35-37, Jan. 1987.
- HAAR, G.; DYSON, M.; OAKLEY, E. M. The use of ultrasound by physiotherapists in Britain. *Ultrasound Med. Biol*, London., v. 13, n. 10, p. 659-663, Oct. 1987.
- HEKKENBERG, R. T.; OOSTERBAAN, W. A.; BEEKUM, A. Evaluation of ultrasound therapy devices. *Physiotherapy*, New York, v. 72, n. 8, p. 390-395, Aug. 1986.
- HEKKENBERG, R. T. et al. Validated ultrasonic power measurements up to 20 W. *Ultrasound Med. Biol*, London, v. 27, n. 3, p. 427-438, Mar. 2001.
- KITCHEN, S.; BAZIN, S. *Eletroterapia de Clayton*. 10.ed. São Paulo: Manole, 1998. 689p.
- LLOYD, J. J.; EVANS, J. A. A. Calibration survey of physiotherapy ultrasound equipment in North Wales. *Physiotherapy*, New York, v. 74, n. 2, p. 56-61, Feb. 1988.
- NATIONAL MEASUREMENT SYSTEM PROGRAMME FOR ACOUSTICAL METROLOGY. *Standards for medical and industrial ultrasonics*. Middlesex, UK. 2001.
- PRESTON, R. C. Measurement and characterisation of the acoustic output of medical ultrasonic equipment. *Medical & Biological Engineering and Computing*, London, v. 24, n. 4, p. 225-234, Apr. 1986.
- PYE, D. S.; MILFORD, C. The performance of ultrasound physiotherapy machines in Lothian region, Scotland. *Ultrasound Med. Biol*, London, v. 20, n. 4, p. 347-359, Apr. 1992.
- REPACHOLI, M. H.; BENWELL, D. A. Using surveys of ultrasound therapy devices to draft performance standards. *Health Phys.*, McLean, v. 36, n. 6, p. 679-686, June 1979.
- RIVEST, M. et al. Evaluation of therapeutic ultrasound devices: performance stability over 44 weeks of clinical use. *Physiotherapy Canada*, Toronto, v. 39, n. 2, p. 77-86, Feb. 1987.
- STEWART, H. F. et al. Survey of use and performance of ultrasonic therapy equipment in Pinellas County, Florida. *Phys. Ther.*, Alexandria, v. 54, n. 6, p. 707-715, June 1974.

**Lutero Carmo de Lima**

Graduado em Física pela Universidade de Santo Amaro - SP em 1974. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina em 1979. Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo em 1986. Pós-Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Miami em 1991. Atualmente é professor na Universidade de Fortaleza - Ce.

**Fábio Luis Mendonça Martins**

Fisioterapeuta pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1986. Mestre em Fisioterapia pelo Centro Universitário do Triângulo em 2001. Atualmente é professor na Universidade do Estado de Minas Gerais em Lavras - MG.

**Débora Bevilaqua Grosso**

Fisioterapeuta pela Universidade Federal de São Carlos em 1990. Mestrado em Biologia pela UNICAMP em 1996. Doutorado em Patologia Buço-Dental pela UNICAMP em 1998. Atualmente é professora no Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da USP, Ribeirão Preto - SP.

**João Batista Furlan Duarte**

Bacharel em Física pela Universidade Federal de Santa Maria em 1993. Mestrado em Física Computacional pela Universidade Federal do Ceará em 1995. Doutorado em Física Computacional pela Universidade Federal do Ceará em 1998. Atualmente é professor na Universidade de Fortaleza - Ce.