

# CONSTRUÇÃO DE UM CALORÍMETRO PARA MEDIÇÃO DA POTÊNCIA DE SAÍDA DE TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS

por

P. M. BEER<sup>1</sup> e M. A. von KRÜGER<sup>1</sup>

**RESUMO** – Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um calorímetro para medição da potência de saída de transdutores ultra-sônicos na faixa entre 10 e 200 mW. O conhecimento desta potência é relevante na determinação dos riscos aos órgãos de pacientes submetidos a procedimentos de diagnóstico ou terapia, como no estudo de propriedades terapêuticas e de toxicidade do feixe acústico. Além disso, a determinação desta potência é importante na pesquisa e desenvolvimento em ciência aplicada que trabalhe em construção e determinação do rendimento de transdutores ultra-sônicos, e em trabalhos de manutenção, verificação e avaliação de equipamentos comerciais.

## INTRODUÇÃO

Os métodos de medida da energia de um campo acústico, intensidade e outras grandezas relacionadas podem ser divididos em três principais grupos (CALVET E PRAT,1956; ZENIUK e CHIVERS,1976):

- 1 - Métodos baseados em efeitos não lineares do campo acústico: Este grupo compreende as técnicas de determinação da força de radiação do campo acústico (KOSSOF, 1965), sendo muito usadas para medir a energia absoluta. Estão incluídos neste grupo os métodos químicos (utilizados para intensidades acústicas mais elevadas) em que são possíveis as visualizações do campo acústico pela sensibilização de íons sobre soluções (COOK e WERCHAN,1971);
- 2 - Métodos que medem a pressão acústica, velocidade ou deslocamento (ZENIUK e CHIVERS, 1976): Neste grupo inserem-se os métodos que utilizam transdutores ou sondas piezoelétricos (ROMANENKOV,1957); magnetostrictivos (MIKHAILOV, 1964), eletrodinâmicos ou capacitivos (FILIPCZYNSKI, 1972). Devido a certas limitações com o uso de sondas, é recomendável que as medições que delas se utilizam sejam realizadas em campo distante e com pequenas amplitudes de onda. Os elementos piezoelétricos

---

<sup>1</sup>-Programa de Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ, Centro de Tecnologia, Bloco H, s/327 - C. Postal 68510 - CEP 21945 - Rio de Janeiro - RJ.

(hidrofones) são usados na determinação da pressão acústica e, em algumas aplicações, é recomendável que tenham uma larga faixa de resposta em frequência. As sondas e transdutores piezoelétricos tem uma boa sensibilidade, chegando a  $10^{-10} \text{ W/cm}^2$  conseguidas com o uso de um detetor sintonizado (HILL, 1970). Alguns métodos ópticos também estão incluídos neste grupo como a determinação do valor de pico da pressão acústica e a forma física da onda associada, emitida por um transdutor, através da difração da luz resultante de perturbações ultra-sônicas no meio de propagação como mostram os trabalhos de KORPEL, KESSLER, AHMED (1972) e ERIKSON (1972);

- 3 - Métodos que medem a energia total diretamente: Pertencem a estes métodos os calorímetros, em que a energia da onda acústica ao ser atenuada no meio absorvedor, é convertida em calor e então medida (WELLS, BULLEN, et al., 1963). Por este método podem ser medidas ondas contínuas ou pulsáteis, em campo próximo ou distante, acima ou abaixo do limiar de cavitação. Incluem-se neste grupo os métodos que usam termopares (FRY e FRY, 1954), com a diferença que estes podem ser usados para determinar valores relativos de energia em pontos discretos do campo acústico. O trabalho apresentado inclui-se neste grupo.

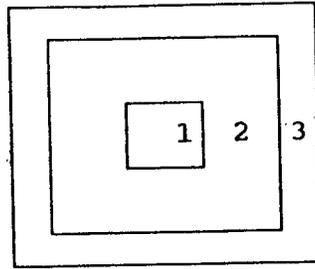
### CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Qualquer material inserido em um campo de radiação absorve energia desse campo. O montante de energia absorvida depende das propriedades do campo e do próprio material absorvedor. Quase toda essa energia é transformada em calor. O perfeito conhecimento das quantidades de calor envolvidas com estas interações podem, deste modo, oferecer informações sobre o campo de radiação e a energia depositada no material absorvedor. Por essa razão, os métodos calorimétricos podem ser usados para medições de energia irradiada por transdutores ultra-sônicos.

Uma importante característica é que o espectro de frequência da energia não influencia no valor medido. Esses fatores dificilmente são transponíveis em outros métodos, salvo excessões como o método da balança.

A medição da intensidade ultra-sônica será exata se o calorímetro se comportar como um corpo negro acústico, ou seja, toda a energia do campo acústico entrando no calorímetro é convertida em calor. Outro fator importante é que haja um bom acoplamento de impedâncias dos meios por onde se propaga o feixe acústico. Há que se considerar, também, que a acurácia da medição de temperatura seja suficientemente elevada na faixa de medição em uso.

Um calorímetro para medição da energia total irradiada convertida em calor divide-se em três partes conforme mostrado na figura 1 (RADAK e MARKOVIC, 1970):



- 1 - absorvedor
- 2 - invólucro
- 3 - jaqueta

Figura 1. Composição básica de um calorímetro

- 1 - Corpo absorvedor, corpo calorimétrico, amostra calorimétrica ou corpo termicamente ativo: é no interior deste corpo que ocorre a geração de calor como resultado da irradiação do campo acústico. O calor gerado resulta em um aumento da temperatura, que é medida, proporcional a taxa de entrada de energia acústica. Dois fatores são importantes para se obter resultados satisfatórios na medição da temperatura do absorvedor: o primeiro é que o material constituinte seja bom absorvedor de ultra-som, de modo que o feixe acústico não sofra reflexão ao incidir; o segundo fator é que apresente alta condutividade térmica para que o calor gerado seja bem distribuído, permitindo um sensoramento rápido e independente da localização dos sensores;
- 2 - Meio circunjacente ou invólucro: neste setor ocorrem as transferências de calor entre o absorvedor e a periferia (manto ou jaqueta). Deve ter baixa condutividade térmica, servindo como isolante térmico para o absorvedor. Utilizou-se para este trabalho a denominação invólucro;
- 3 - Manto, jaqueta, periferia, abafador ou difusor: tem a função de fornecer um meio ambiente definido geograficamente ao absorvedor. Dependendo do método aplicado, sua temperatura pode permanecer aproximadamente constante dentro de uma faixa controlada. Em geral tem uma capacidade calorífica muito elevada. Deve-se ter o cuidado para não confundir o manto com o meio ambiente externo (por exemplo, o ar existente em uma sala de laboratório). Em resumo, o manto é a parte do calorímetro que troca calor diretamente com o absorvedor através do invólucro (admitindo haver diferença de temperatura entre as duas partes). Nos calorímetros a temperatura do absorvedor tanto durante a fase de aquecimento quanto na fase de resfriamento é função do tempo e pode ser expressa pela equação diferencial:

$$\frac{dT}{dt} = \left( \frac{W}{m\xi} \right) - K(T_{\alpha} - T_0) \quad (1)$$

onde:

$T_{\alpha}$	-temperatura do absorvedor ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_0$	-temperatura do manto ( $^{\circ}\text{C}$ )
$W$	-taxa de calor do absorvedor (J/s)
$K$	-constante do sistema para as perdas de calor (coeficiente de transferência total de calor - 1/s)
$m \xi$	-capacidade térmica do corpo (cal/ $^{\circ}\text{C}$ )
$t$	-tempo (s)

O termo  $\frac{W}{m \xi}$  representa a absorção sob forma de calor da energia irradiada ou energia elétrica (no caso de calibração do sistema) no absorvedor e o seu meio ambiente. O termo  $K(T_{\alpha} - T_0)$  diz respeito as trocas de calor entre o absorvedor e a jaqueta ou manto.

### CONSTRUÇÃO DO CALORÍMETRO

Para que a medição da potência de saída de transdutores ultra-sônicos seja possível, é preciso que a energia entregue pelo transdutor de ultra-som seja totalmente absorvida. A energia ultra-sônica deve ser levada até o absorvedor por um guia de onda acústico, e desta forma, problemas relacionados a reflexão, atenuação e absorção tem que ser levados em consideração.

A região de interesse de medição exige boa sensibilidade e alto ganho na manipulação de resposta. A variação de temperatura do absorvedor é de baixo valor ( $m^{\circ}\text{C}$ ), exigindo boa estabilidade térmica e baixo ruído dos circuitos amplificadores.

A medição da temperatura é diferencial, realizada em duas câmaras calorimétricas vizinhas uma a outra e sem contato térmico direto. As duas câmaras são fisicamente idênticas, ou seja, tem as mesmas dimensões, massa e materiais constituintes, e além disto, estão inseridas em um meio, o invólucro, onde a temperatura é mantida constante dentro de uma faixa menor que  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Uma das câmaras é tomada como referência e a outra receberá a irradiação do feixe acústico resultando em um aumento da temperatura no interior desta última.

Na figura 2 é apresentado um diagrama esquemático funcional do sistema de medição e nas figuras 3 e 4 estão representados, em perspectiva, o calorímetro procurando demonstrar os seus principais componentes. Dentre as principais partes constituintes destacam-se:

- duas câmaras calorimétricas cada uma contendo o absorvedor inserido no interior de um cilindro de alumínio anodizado de parede fina (distribuidor de calor). O sensor de temperatura (termopar) está localizado no interior desta parede, e o aquecedor de calibração, imerso no absorvedor;
- dois guias de onda acústicos, cada um constituído de um tubo de PVC contendo água com

o suporte para o transdutor;  
a jaqueta ou manto, envolvendo o conjunto acima com exceção dos suportes do transdutor. Uma resistência de aquecimento, acionada por um circuito de controle, envolve a jaqueta de modo a distribuir o calor de modo homogêneo.

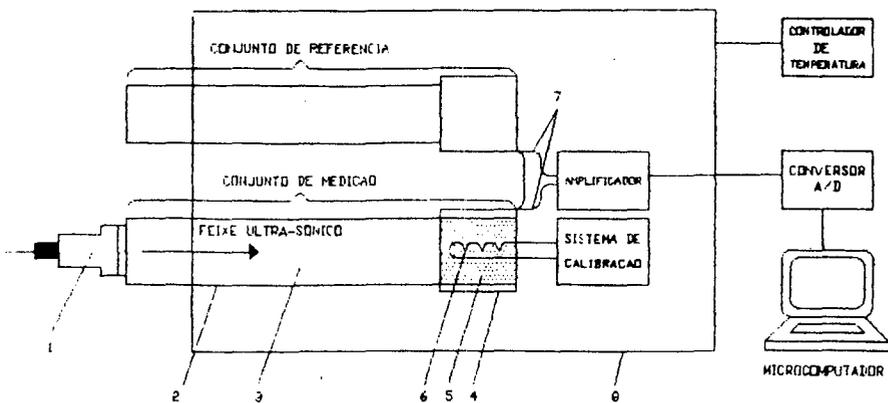
### **Câmara Calorimétrica**

É na câmara calorimétrica onde ocorre a geração de calor decorrente da deposição de energia ultra-sônica ou da dissipação de potência na resistência de calibração elétrica. Seu núcleo é constituído pelo material absorvedor. Neste caso, é composto por borracha de silicone com pó de grafite sugerido por KINSLER e FREY (1962) e GENNA (1966), que tem por objetivo aumentar a absorção ultra-sônica por espalhamento nas partículas de grafite e também a condutibilidade térmica de modo a homogeneizar o calor gerado em decorrência da deposição de energia em seu interior, e facilitar o fluxo térmico para a superfície. O absorvedor é circundado por uma fina camada de alumínio anodizado (o distribuidor de calor), que tem por função distribuir o fluxo de calor na superfície. No interior desta camada localiza-se o sensor de temperatura, um termopar de 0,2 mm de diâmetro de Cromel-Constantan (tipo E). Dentre os diversos tipos, este foi escolhido em razão de apresentar a melhor sensibilidade termoelétrica ( $62 \mu V/^{\circ}C$ ). Na câmara calorimétrica vizinha encontra-se o outro termopar, idêntico ao primeiro, sendo os dois ligados entre si com as f.e.m. (força eletro-motriz) em oposição formando um par diferencial.

No absorvedor encontra-se imersa a resistência de calibração do sistema. Constitui-se de um fio de manganina espiralado formando um cilindro paralelo ao eixo da câmara com seus terminais saindo na parte inferior do absorvedor, onde está conectado o circuito de alimentação e controle de calibração.

### **Guia de Onda**

O guia de onda acústico tem a finalidade de condicionar o feixe acústico em direção a câmara calorimétrica. No presente trabalho ele é composto por um tubo rígido de PVC, um adaptador e um acoplador. O guia possui 21mm de diâmetro por 180mm de comprimento contendo água desgasificada. Na extremidade inferior está acoplada a câmara calorimétrica e na extremidade superior encontra-se o suporte com o adaptador do transdutor. Este tem o objetivo de acoplar ao guia o transdutor a ser medido, e posicionar o feixe acústico em direção a câmara calorimétrica. A água foi escolhida como um meio de propagação por apresentar um baixo coeficiente de absorção (0,0022 dB/cm), na faixa de frequência de uso diagnóstico, à propagação ultra-sônica. Na construção do guia teve-se o cuidado para que a coluna de água interna não contivesse bolhas de ar entre a interface transdutor/água.



1-transdutor de u/s; 2-guia de onda; 3-preench. do guia (água);  
 4-câmara calorimétrica; 5-absorvedor; 6-resistência de calibração;  
 7-par termoeletrico; 8-jaqueta

Figura 2. Diagrama esquemático do calorímetro.

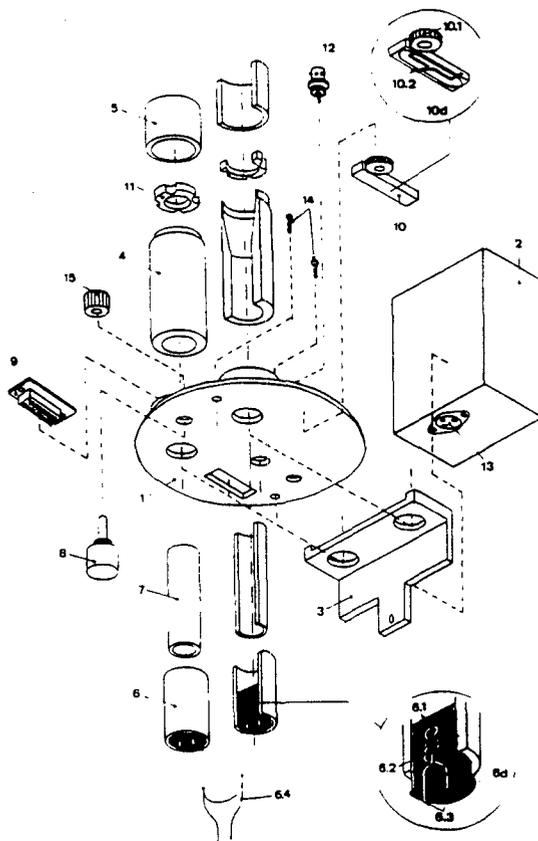


Figura 3. Vista explodida dos guias de onda e das câmaras calorimétricas.

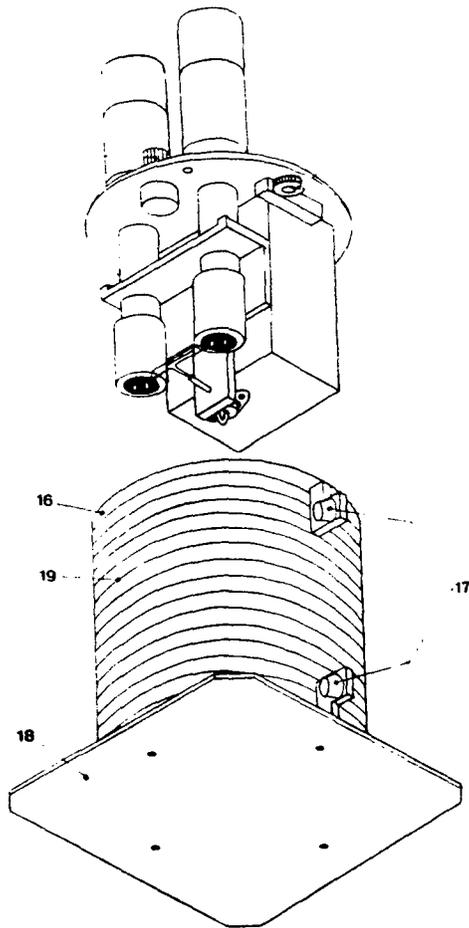


Figura 4. Vista em perspectiva do calorímetro.

Partes constituintes do calorímetro:

1 - tampa; 2 - amplificador para termopar; 3 - suporte do termopar; 4 - adaptador do guia de onda; 5 - acoplador do transdutor; 6 - câmara calorimétrica; 6.1 - absorvedor; 6.2- distribuidor de calor; 6.3 - resistência de calibração com terminais; 6.4 - par termoeletrico; 7 - guia de onda (parte principal); 8 - ajuste de offset de saída; 9- conector para ligações elétricas (alimentação sensores); 10 - sistema de calibração; 10.1 - ajuste da potência de calibração; 10.2 acionador

(REED SWITCH); 11 - vazador; 12- tensão de saída do calorímetro; 13 - conector do par termoeletrico; 14 - parafusos de fixação; 15 - botão de ajuste de offset de saída; 16 - jaqueta; 17- conectores de ligação para o controlador de temperatura ; 18 - base; 19 - resistência de aquecimento.

### Amplificador para Termopar

O amplificador é uma parte crítica do sistema por exigir alguns requisitos indispensáveis. São eles:

- alta estabilidade térmica;
- alto ganho;
- baixo ruído;

O amplificador é composto por três estágios, em que o mais crítico é o primeiro. Este tem de atender aos requisitos citados.

A configuração adotada do primeiro estágio amplificador é não inversora estabilizada por chopper, que consiste em converter sinais de corrente contínua ou de baixa frequência em sinais de corrente alternada, que são então amplificados e posteriormente demodulados. A razão de se usar este tipo de configuração, é de reduzir as tensões de desvio de entrada do amplificador, e atender a todos os requisitos mencionados. Este primeiro estágio consiste de um amplificador principal, um par de chaveadores de estado de entrada, um par de chaveadores de estado de saída, um par demodulador e um amplificador diferencial que, em conjunto, formam o amplificador de alto ganho estabilizado.

O segundo estágio, posterior ao amplificador diferencial, é de configuração não inversora com ganho fixo de  $A_v = 5$ . O último estágio consiste em um amplificador de ganho  $A_v = 2$  com ajuste de 3, off-set de saída variando de -1,3 V a +1,3 V sem sinal de entrada.

Os controles de chaveamento provêm de um oscilador tipo astável. O amplificador principal é formado por um integrado de baixo desvio de tensão com a temperatura e baixo off-set de entrada. A tensão de off-set de entrada pode ser ajustada por um trimpot montado sobre a placa do circuito, com acesso pela parte superior do calorímetro. O ganho máximo desta etapa é de  $A_v = 47000$ , ajustável a partir de 10, o ganho mínimo. Os dois estágios seguintes fornecem um ganho adicional e um ajuste de off-set de saída. O ganho total do amplificador para termopar é então:

$$A_v = A_{v1} A_2 A_{v3} \quad (2)$$

Ajustável entre o mínimo e o máximo de:

$$A_{v_{\min}} = 100 \text{ e } A_{v_{\max}} = 470000$$

O diagrama de blocos do amplificador é mostrado na figura 5.

### **Considerações Práticas de Projeto e Montagem:**

Os efeitos termoeletrônicos em amplificadores sensíveis precisam ser levados em consideração, como também as diferenças nos coeficientes térmicos entre os resistores. Sempre que dois metais diferentes são postos em contato, uma tensão termoeletrica devida a este contato se estabelece, sendo esta tensão proporcional à temperatura desta junção e suas extremidades. Em circuitos usando integrados, um mínimo de três materiais são postos em contato: cobre, solda e kovar (liga metálica usada nos terminais de circuitos integrados). Normalmente todas as partes de um circuito estão a mesma temperatura, porém pequenos gradientes de temperatura podem existir através de alguns centímetros, o que se torna um grande problema em amplificadores de baixo sinal como este.

Uma montagem experimental foi realizada, com o fim de analisar as influências térmicas no funcionamento de um amplificador operacional. Confeccionou-se um termopar de solda e cobre como sensor de entrada. O esquema é mostrado na figura 6, indicando os pontos de maior indução a erro do amplificador.

As letras (a),(b),(c) e (d), indicam respectivamente, grandes, médias, pequenas e nenhuma variação da tensão de saída com a elevação da temperatura. A proporção desta qualificação é de aproximadamente 25 vezes uma da outra. Não há indicação dos valores, já que a análise é qualitativa.

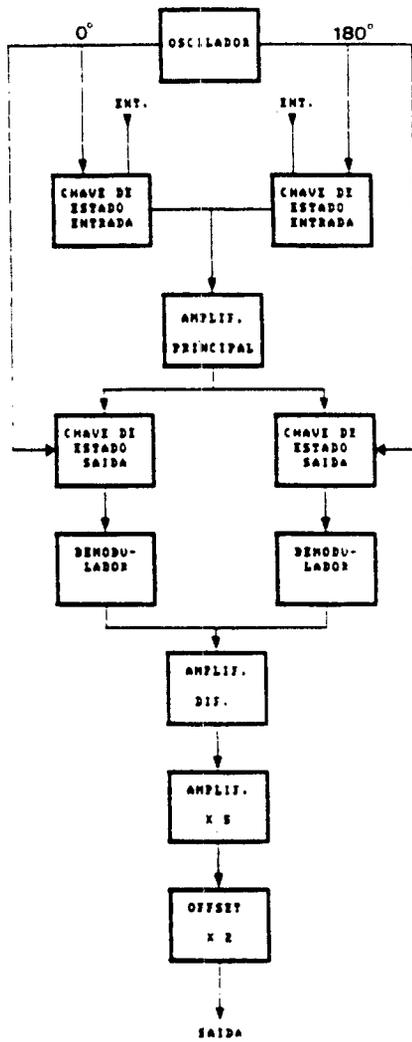


Figura 5. Diagrama de blocos do amplificador.

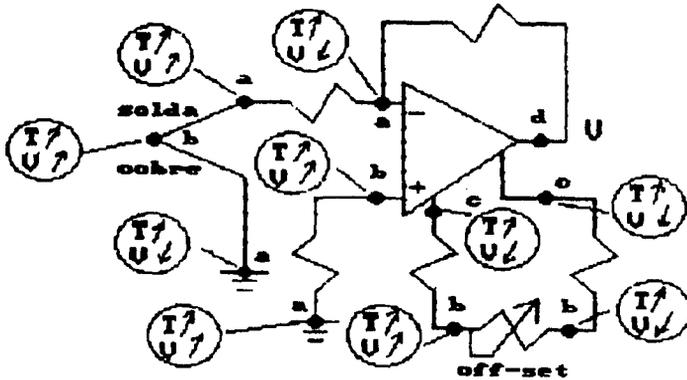


Figura 6 Esquema da montagem experimental de um amplificador com o termopar experimental (solda-cobre) na entrada inversora. São indicados os pontos em que impôs-se um aumento de temperatura, (T), mostrando o sentido da variação da tensão de saída do amplificador, (V), como resposta a esse aquecimento.

Observa-se desta figura, que a região de entrada do amplificador é a mais susceptível às variações de temperatura. Pode-se visualizar, além dos pontos susceptíveis, as diferenças em sentido da tensão com o aumento da temperatura. A variação mais drástica é a junção dos pinos de kovar com o cobre da placa de montagem, que é de aproximadamente 35 V/0C na entrada inversora, superando em sensibilidade o termopar experimental de liga cobre-solda. Outra observação a ser mencionada é em relação aos pontos ligados ao "terra" do circuito, que se mostraram também muito sensíveis. Não houve variação na região de saída do amplificador com a temperatura, o que permitiu menos cuidados com o problema.

#### Componentes Periféricos do Calorímetro:

**O Sistema de Calibração** – Este sistema nada mais é que uma resistência inserida dentro do absorvedor e que pode eventualmente ser ligada a uma tensão escolhida. Desta forma, é possível gerar uma potência elétrica conhecida, permitindo calibrar o calorímetro. A resistência de calibração que está imersa no absorvedor, constitui-se de um fio de manganina confeccionado em forma cilíndrica de valor igual a 126 .

**O Controlador de Temperatura da Jaqueta** – Conforme já descrito anteriormente,

a temperatura da jaqueta é mantida constante por meio de uma resistência de aquecimento. A energização desta resistência é feita por meio de um circuito controlador. Este circuito aquece a espiral resistiva, localizada na parte externa da jaqueta, a uma temperatura selecionada através do controlador. Este circuito é do tipo on-off, fornecendo uma potência fixa, em torno de 100 W, e possui um controle de seleção de temperatura de operação. A temperatura de 37°C foi escolhida em todas as experiências envolvendo controle de temperatura.

### **O Conversor A/D para Microcomputador:**

Os procedimentos de medição de potência requerem períodos de tempo que podem variar de alguns segundos até horas. Além disso, é necessário conhecer-se o comportamento dos amplificadores com as condições ambientais de funcionamento por tempos prolongados. Para uma análise mais precisa destes eventos, desenvolveu-se uma placa conversora analógico-digital para microcomputador (Apple), a fim de armazenar os dados de um evento e permitir um processamento posterior destes sinais.

Foi desenvolvido um programa de controle da placa de conversão A/D, além de diversos programas aplicativos de processamento e exibição dos sinais.

O conversor baseia-se no integrado AD 670, de 8 bits de resolução, possuindo dois canais de entrada, com controle de seleção de canal e tempo de amostragem.

## **RESULTADOS**

Após o procedimento de calibração do calorímetro, um transdutor ultra-sônico foi acoplado ao guia de onda e várias tensões senoidais foram a ele aplicadas, obtendo-se os resultados para cada uma. A frequência aplicada e de operação do transdutor é de 1,9 MHz. A tabela 1 mostra os valores de tensão de excitação e a potência ultra-sônica correspondente obtida:

Tabela 1 Resposta do calorímetro para o transdutor em teste para várias tensões senoidais de excitação.

TENSÃO DE EXCITAÇÃO	POTÊNCIA ABSORVIDA
V (Vrms)	P (mW)
3,89	10,38
5,30	21,16
7,07	35,83
8,48	46,32
10,60	65,50

Dos resultados da tabela 1 e sabendo-se que a potência ultra-sônica de um transdutor ideal é proporcional ao quadrado da tensão de excitação (KINSLER E FREY, 1962), obteve-se uma curva de ajuste de potência, mostrada na figura 7, dada pela equação abaixo:

$$P = 0,87 V^{1,86} \quad (3)$$

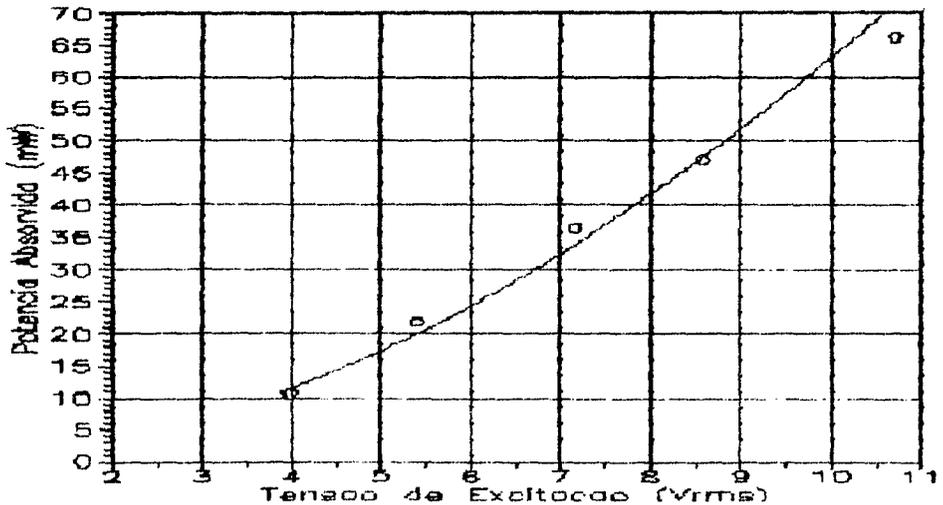


Figura 7. Gráfico Tensão x Potência para o transdutor em teste na frequência de 1,9 MHz.

## CONCLUSÕES

No presente trabalho foi construído um calorímetro capaz de medir potência de saída de transdutores ultra-sônicas a partir de 10 mW.

A potência ultra sônica máxima empregada para este transdutor foi de 65 mW. Para a calibração elétrica, o limite foi de 400mW, não sendo este, entretanto, o limite superior do calorímetro. Observou-se que na faixa adotada a resposta do calorímetro é linear. A técnica de calibração utilizada possibilitou a simplificação do processamento da resposta.

O emprego de medição diferencial permitiu melhor sensibilidade do equipamento, na faixa de m<sup>0</sup>C.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colegas do LUS/PEB, a J.M.Teixeira, a A. Xavier e à Oficina Mecânica da COPPE. Agradecem também à DEGUSSA AG-Hanau, RFA e sua filial-São Paulo, pelo fornecimento dos materiais sensores e da literatura técnica. Este trabalho contou com apoio financeiro da FINEP, CAPES e CNPq.

## REFERÊNCIAS

- CALVET,A. e PRAT,H.(1956),"Microcalorimetrie",Masson et Cie, Paris
- ERIKSON,K.R.(1972), "Calibration of Standard Ultrasonic Probe Transducers Using Light Diffraction",Interaction of Ultrasound and Biol. Tissues-Proc. of a Workshop, Seattle.
- FILIPCZYNSKI,L.(1972),"Intensity Determination of Ultrasonic Pulses by Means of a Capacitance Transducer", Interaction of Ultrasound and Biological Tissues-Proc. of a Workshop, Seattle.
- FRY,W.J.e FRY,R.B. (1954), "Determination of Absolute Sound Levels and Acoustic Absorption Coefficients by Thermocouple Probes-experiment", Jour. Acoust. Soc. Am., Volume 26, Number 3, pages 311-317.
- GENNA,S. e LAUGHLIN,J.S. (1966), "Calorimetry", Radiation Dosimetry, Attix, F.H., Roesch, W.C., Ac.Pr., pages 389-441.
- HILL,C.R. (1970), "Calibration of Ultrasonic Beams for Bio-Medical Applications", Phis.Med.Biol.,Volume 15,Number 2,pages 241-248.
- KINSLER,L.E.,FREY,A.R.,(1962), "Fundamentals of Acoustics", New York, John Wiley & Sons.
- KORPELA,A.,KESSLER,L. e AHMED,A.(1972), "Bragg Diffraction Sampling of a Sound Field", Jour. Acoust. Soc. Am., Volume 51, pages 1582-1592.
- KOSSOF,G. (1965), "Balance Technique for the Measurement of Very Low Ultrasonic Power Outputs", Jour.Acoust.Soc. Am., Volume 38, pages 880-881.

- MIKHAILOV,I.G.(1964), "Methods of Measuring The Absolute Intensity of Ultrasonic Waves in Liquids and Solids", *Ultrasonics*, pages 129-133.
- RADAK,B.,MARKOVIC,V.(1970),"Calorimetry", *Manual of Radiation Dosimetry*, Holm, N.W., Berry,R.J., Marcel Dekker Inc. pages 45-81.z
- ROMANENKOV,E.V. (1957), "Miniature Piezoelectric Receivers", *Soviet Physics - Acoustics* 3, page 364.
- WELLS,P.N.T., BULLEN,MA., FOLLET,D.H., FREUNDLICH,H.F. e JAMES,J.A., (1963), "The Dosimetry of Small Ultrasonic Beams", *Ultrasonics*, Apr-Jun, pages 106-110.
- ZIENIUK,J.,CHIVERS,R.C.(1976),"Measurement of Ultrasonic Exposure with Radiation Force and Thermal Methods", *Ultrasonics*, Jul. pages 161-171.

#### CONSTRUCTION OF A CALORIMETER FOR POWER OUTPUT MEASUREMENT OF ULTRASONIC TRANSDUCERS

**ABSTRACT** – The purpose of this work is the development of a calorimeter to measure the power output of ultrasonic transducers in the 10 to 200 mW range. This is relevant in the assessment of risk to patients subjected to ultrasonic irradiation, both for diagnostic or therapeutic purposes, and also in the study of toxicity and therapeutic properties of ultrasound. Power output measurement is also required in ultrasonic equipment evaluation and testing both for construction and maintenance.