

# ESTIMATIVA DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO DAS RESOLUÇÕES AXIAL E LATERAL DE EQUIPAMENTOS DE DIAGNÓSTICO POR ULTRASSOM

R. M. Souza\*, A. V. Alvarenga\*, L. I. Petrella\*\*, D. S. Braz\*, R. P. B. Costa-Felix\*

\*Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Duque de Caxias, Brasil

\*\*Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde/Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal  
e-mail: rmonteiro@inmetro.gov.br

**Resumo:** Este trabalho apresenta um modelo para estimativa da incerteza de medição de dois dos indicadores comumente utilizados nas avaliações de imagens de ultrassom: a resolução axial e a resolução lateral. As resoluções foram medidas por dois técnicos do Laboratório de Ultrassom do Inmetro seguindo as recomendações da norma vigente, com auxílio de um *phantom* apropriado, e o modelo de incerteza proposto com base nas recomendações do guia de expressão da incerteza de medição. Para o equipamento ensaiado, os resultados apontaram resoluções axial e lateral de 0,60 mm e 2,15 mm, respectivamente. Com base no modelo proposto, as respectivas incertezas expandidas foram de 0,14 mm e 0,21 mm ( $p = 0,95$ ). Cabe ressaltar que o modelo de incerteza proposto contribui de forma inédita para a avaliação metrológica da imagem de diagnóstico por ultrassom.

**Palavras-chave:** Resolução lateral, resolução axial, ultrassom diagnóstico, incerteza de medição, metrologia.

**Abstract:** *This paper presents a model for estimating uncertainty of measurement of two features commonly used in the evaluations of ultrasound images: axial and lateral resolutions. Those resolutions were measured by two technicians of the INMETRO's Laboratory of Ultrasound following the recommendations of the current standards, using a phantom and the model of uncertainty proposed based on the guide to the expression of uncertainty in measurement. For the tested equipment, results indicate axial and lateral resolutions of 0.60 mm and 2.15 mm, respectively. And based on the proposed model, the respective expanded uncertainties were 0.14 mm and 0.21 mm ( $p = 0.95$ ). It is noteworthy that the proposed model of uncertainty contributes an unprecedented way for metrological evaluation of diagnostic imaging by ultrasound.*

**Keywords:** Axial resolution, lateral resolution, diagnostic ultrasound, uncertainty, metrology.

## Introdução

Os equipamentos de diagnóstico por ultrassom (EDUS) são bastante utilizados na maioria dos centros de saúde do Brasil. Embora o surgimento de novos equipamentos eletromédicos, com tecnologias cada vez mais sofisticadas, proporcione mais confiança nas atividades médicas, ainda há necessidade de um controle de qualidade desses equipamentos [1]. Vale a

pena aclarar que procedimentos de medição para a avaliação de imagens geradas por EDUS, amiúde, se destacam como objetivo de trabalhos, que por sua vez, baseiam-se em normas e em documentos de organismos internacionais como a AAPM (*American Association of Physicists in Medicine*) [2] e a IEC (*International Electrotechnical Commission*) [3]. Na avaliação da qualidade da imagem de ultrassom são utilizados indicadores específicos que buscam avaliar suas características. Os indicadores mais comuns são: contraste, resolução axial e resolução lateral, zona morta, entre outros [2], que são quantificados, normalmente, com a ajuda de *phantoms* específicos [2, 3].

A incerteza de medição consiste em um parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser atribuídos ao mensurando [4,5]. No que tange a expressão da incerteza de medição dos indicadores usados na avaliação da qualidade de imagens médicas, a literatura ainda não apresenta trabalhos conclusivos. Vale salientar que estimar a incerteza de medição é indispensável para se avaliar metrologicamente variações observadas no mensurando, fornecendo uma avaliação quantitativa no seu controle de qualidade.

Os testes realizados para a avaliação da qualidade de imagem dos EDUS servem como referência para a sua avaliação periódica. Sugere-se realizar um teste para determinar os valores dos indicadores de qualidade, assim que o equipamento é adquirido [2, 3]. Assim, é possível, a partir de testes periódicos, avaliar estatisticamente variações nestes valores, as quais podem indicar uma possível alteração na qualidade da imagem. A ideia principal deste tipo de avaliação não é transferir a incerteza de medição diretamente para aplicações clínicas. Porém, se a qualidade da imagem é metrologicamente avaliada, é possível evitar que um equipamento que não apresente as condições adequadas para uso seja utilizado para o diagnóstico.

Assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar um modelo para a determinação da incerteza das medições de dois dos indicadores comumente utilizados nas avaliações de imagens de ultrassom, a resolução axial e a resolução lateral.

## Materiais e métodos

**Phantom** – O *phantom* adotado para os ensaios é o *Multi-purpose, Multi-tissue, Ultrasound Phantom*

040GSE (CIRS, Virginia, USA), que possui as estruturas apropriadas para a avaliação de diferentes parâmetros das imagens de ultrassom. Para a determinação das resoluções axial e lateral de transdutores de até 5 MHz, existem no *phantom* dois grupos de alvos localizados nas profundidades de 3,0 cm (Zona I) e 6,5 cm (Zona II). Estes consistem em 13 mono filamentos de nylon com 80  $\mu\text{m}$  de diâmetro e espaçamentos nos sentidos axial e lateral de 4 mm, 3 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm e 0,25 mm (Figura 1). As distâncias entre os alvos A1-B1, A2-B2, A3-B3, A4-B4, A5-B5 e A6-B6 são usadas para avaliar a resolução axial e as distâncias entre os alvos A1-A2, A2-A3, A3-A4, A4-A5, A5-A6 e A6-A7 para avaliar a resolução lateral. Segundo a norma IEC/TS 61390 [3], resolução axial (lateral) é definida como a menor separação entre dois alvos ao longo do (perpendicular ao) eixo do feixe ultrassônico a uma profundidade específica no *phantom* para a qual dois ecos podem ser representados.

**Equipamento de ultrassom** – O equipamento de ultrassom utilizado para essa avaliação é o CTS-5500V (SIUI, Guangdong, China), e o transdutor C5F20, de formato convexo (SIUI, Guangdong, China), que opera na frequência central de 5 MHz.

**Suporte** – Para a realização das medições, foi utilizado um suporte para o transdutor, permitindo seu posicionamento estável sobre o *phantom*, para a aquisição das imagens.

**Condições ambientais** – Foram monitoradas e estiveram sempre dentro dos limites estabelecidos na referência [3], a saber: temperatura ambiente entre 21°C e 25°C e umidade relativa de 45% a 75%.

**Configuração do equipamento** – A configuração do equipamento é realizada em duas etapas. A primeira, denominada “configuração base”, é aquela empregada nos exames clínicos para os quais o transdutor é normalmente utilizado. Em seguida, realiza-se a “configuração específica”, onde o equipamento é ajustado para uma melhor visualização dos alvos nas profundidades de 3,0 cm e 6,5 cm, separadamente.

**Protocolo de medição** – O protocolo de medição foi definido com base nas referências [2, 3] e é descrito a seguir:

- i. Colocar uma quantidade de água suficiente na superfície do *phantom* para que haja o acoplamento do transdutor com o mesmo;
- ii. Efetuar a configuração base;
- iii. Posicionar o transdutor na superfície lateral direita do *phantom* para avaliação das resoluções na profundidade desejada (3,0 cm ou 6,5 cm);
- iv. Aplicar a configuração específica no equipamento e anotar a mesma;
- v. Alinhar o transdutor para que os alvos sejam maximizados;
- vi. Congelar a imagem;
- vii. Utilizar o paquímetro eletrônico do equipamento para examinar a imagem e anotar o menor espaço identificável entre dois alvos, tanto no sentido axial quanto no lateral.

viii. Anotar os valores de espaçamento entre os alvos numa tabela (resolução x profundidade).

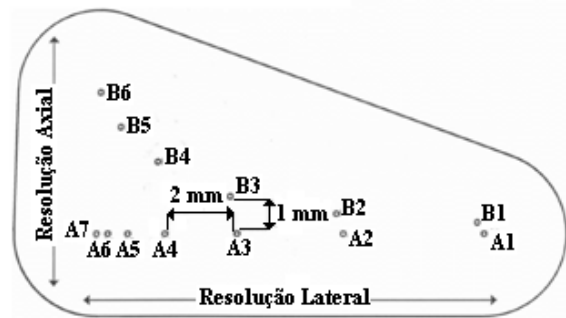


Figura 1: Imagem ilustrativa dos alvos utilizados para a medição da resolução axial e resolução lateral no *phantom* 040GSE (CIRS, Virginia, USA).

**Técnicos** – Dois técnicos treinados realizaram a avaliação da resolução axial e resolução lateral. Ambos repetiram as medições três vezes respeitando as mesmas condições ambientais, a configuração do equipamento e o protocolo de medição.

**Cálculo de incerteza** – Para estimar a incerteza das medições, foi utilizado o método de expressão de incerteza descrito no Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (GUM) [5]. O referido método enceta o roteiro através da definição dos mensurandos que neste trabalho são a resolução axial e a resolução lateral em milímetros. Para tal, realizam-se os seguintes passos:

- i. Identificar as fontes de incerteza.
- ii. Quantificar as fontes de incerteza: a análise estatística de uma série de observações repetidas no ensaio se enquadra na avaliação de incerteza Tipo A, a qual pode ser expressa pelo desvio padrão experimental da média que é uma medida de incerteza associada ao valor da média, indicando a repetitividade da medição, sendo calculado pela equação (1).

$$u_s = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Onde  $u_s$  é a incerteza do Tipo A,  $s$  é o desvio padrão da média da resolução axial (ou resolução lateral) e  $n$  é o número de medições. A resolução  $R$  em milímetros do paquímetro eletrônico do equipamento de diagnóstico foi utilizada para calcular a incerteza padrão do Tipo B,  $u_R$  (Equação 2). Por se tratar de uma distribuição retangular, todos os valores possuem a mesma probabilidade de ocorrer.

$$u_R = \frac{R}{\sqrt{12}} \quad (2)$$

Sendo assim,  $u_R = 0,052$  mm, uma vez que a resolução do paquímetro eletrônico é  $R = 0,18$  mm.

- iii. Calcular a incerteza padrão combinada: uma vez obtidas todas as incertezas padrão, a lei de propagação de incertezas estabelece que as incertezas padrão relacionadas a cada variável do modelo matemático da medição devem ser propagadas para gerar uma incerteza combinada  $u_C$ . Como os coeficientes de sensibilidade

estimados valem 1, a combinação das incertezas pode ser simplificada como:

$$u_C = \sqrt{(u_R^2 + u_S^2)} \quad (3)$$

iv. Calcular o número de graus de liberdade efetivos  $v_{eff}$  conforme (4):

$$v_{eff} = \frac{u_C^4}{\left(\frac{u_S^4}{n}\right)} \quad (4)$$

v. Calcular a incerteza expandida  $U$ : para o cálculo da incerteza expandida, dada pela equação 5, determinou-se o fator de abrangência  $k$  com base no número de graus de liberdade efetivo e em uma probabilidade de abrangência de 0,95.

$$U = k \times u_C \quad (5)$$

vi. Declarar o resultado final (Equação 6), indicando o fator de abrangência e a probabilidade de abrangência. Onde  $X$  é a média das medições da resolução lateral (ou axial).

$$(X \pm U) \quad (6)$$

**Teste de diferença entre médias** – É aplicado com o objetivo de verificar se as medições realizadas pelos dois técnicos podem ser consideradas estatisticamente iguais, para uma dada probabilidade de abrangência. Considera-se a hipótese nula de igualdade entre médias e a hipótese alternativa de diferença entre médias, sendo a estatística teste  $t_{calc}$  dada pela equação (7):

$$t_{calc} = \frac{X_{tec.1} - X_{tec.2}}{\sqrt{\left(\frac{u_{C\ tec.1}^2}{n_{tec.1}} + \frac{u_{C\ tec.2}^2}{n_{tec.2}}\right)}} \quad (7)$$

Onde  $X_{tec.}$  é o valor médio das medições de cada técnico,  $u_{C\ tec.}$  sua respectiva incerteza combinada e  $n_{tec.}$  o número de medições.

O valor obtido para  $t_{calc}$  é comparado com o de  $t_{tab}$  extraído da tabela da distribuição  $t$  de Student, em função dos graus de liberdade calculados pela equação (8). Se  $t_{calc}$  for menor que  $t_{tab}$ , as médias podem ser consideradas iguais e, desta forma, podem ser combinadas para a determinação do resultado final da medição.

$$v = \frac{\left(\frac{u_{C\ tec.1}^2}{n_{tec.1}} + \frac{u_{C\ tec.2}^2}{n_{tec.2}}\right)^2}{\left(\frac{u_{C\ tec.1}^2}{n_{tec.1}}\right)^2 + \left(\frac{u_{C\ tec.2}^2}{n_{tec.2}}\right)^2} \quad (8)$$

Por fim, a incerteza expandida oriunda da combinação da medição dos dois técnicos é dada por:

$$U = t_{tab} \times \sqrt{\left(\frac{u_{C\ tec.1}^2}{n_{tec.1}} + \frac{u_{C\ tec.2}^2}{n_{tec.2}}\right)} \quad (9)$$

## Resultados

Foram medidos os valores de espaçamento entre os alvos da resolução axial e lateral nas profundidades de 3,0 cm e 6,5 cm. A Figura 2 apresenta um exemplo de imagem gerada pelo equipamento na profundidade de 3,0 cm.

Os resultados obtidos pelo técnico 1, bem como o fator de abrangência, incerteza expandida e erro absoluto  $E_{abs}$  (diferença entre a média e o valor de referência), são apresentados na Tabela 1, para a profundidade de 3,0 cm e na Tabela 2, para a profundidade de 6,5 cm. Similarmente, para o técnico 2 os resultados são apresentados nas Tabelas 3 e 4. Não foi possível medir as distâncias entre os alvos A1-B1, A4-A5, A5-A6 e A6-A7 nas duas zonas, pelos dois técnicos.

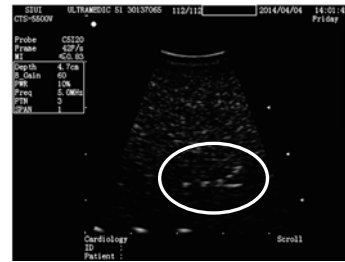


Figura 2: Imagem dos alvos usados para medição das resoluções axial e lateral na profundidade de 3,0 cm.

Tabela 1: Resultado das medições realizadas pelo técnico 1 na profundidade de 3,0 cm do *phantom*.

Técnico 1		Zona I					
Alvos	Valor de referência (mm)	X (mm)	$u_s$ (mm)	$u_R$ (mm)	$k$	U (mm)	$E_{abs}$ (mm)
A2-B2	0,5	0,62	0,03	0,05	2,07	0,13	0,12
A3-B3	1	1,05	0,08	0,05	3,18	0,31	0,05
A4-B4	2	1,97	0,06	0,05	2,45	0,19	0,03
A5-B5	3	2,96	0,05	0,05	2,36	0,18	0,04
A6-B6	4	3,88	0,00	0,05	1,96	0,10	0,12
A1-A2	4	3,88	0,09	0,05	3,18	0,33	0,12
A2-A3	3	3,11	0,03	0,05	2,04	0,12	0,11
A3-A4	2	2,13	0,05	0,05	2,36	0,18	0,13

Tabela 2: Resultado das medições realizadas pelo técnico 1 na profundidade de 6,5 cm do *phantom*.

Técnico 1		Zona II					
Alvos	Valor de referência (mm)	X (mm)	$u_s$ (mm)	$u_R$ (mm)	$k$	U (mm)	$E_{abs}$ (mm)
A2-B2	0,5	0,51	0,05	0,05	2,36	0,18	0,01
A3-B3	1	1,03	0,05	0,05	2,36	0,18	0,03
A4-B4	2	1,95	0,05	0,05	2,31	0,17	0,05
A5-B5	3	2,98	0,05	0,05	2,31	0,17	0,02
A6-B6	4	3,95	0,05	0,05	2,31	0,17	0,05
A1-A2	4	4,06	0,22	0,05	4,30	0,99	0,06
A2-A3	3	3,03	0,14	0,05	4,30	0,62	0,03
A3-A4	2	1,91	0,06	0,05	2,45	0,19	0,09

As medições do técnico 1 apontaram resoluções axiais de  $0,62 \text{ mm} \pm 0,13 \text{ mm}$  e  $0,51 \text{ mm} \pm 0,18 \text{ mm}$  para as profundidades de 3,0 cm e 6,5 cm, respectivamente. Enquanto para o técnico 2, os resultados foram  $0,58 \text{ mm} \pm 0,13 \text{ mm}$  e  $0,67 \text{ mm} \pm 0,17 \text{ mm}$ , respectivamente. Aplicando-se o teste de diferença entre médias para uma probabilidade de abrangência de 0,95, observou-se que a hipótese das médias serem iguais não pode ser rejeitada para a profundidade de 3,0 cm. Assim, os resultados dos técnicos podem ser combinados fornecendo um valor de resolução axial de  $0,60 \text{ mm} \pm 0,14 \text{ mm}$ . O mesmo não ocorreu para a profundidade de 6,5 cm.

No que tange a resolução lateral, o técnico 1 obteve  $2,13 \text{ mm} \pm 0,18 \text{ mm}$  e  $1,91 \text{ mm} \pm 0,19 \text{ mm}$  para as profundidades de 3,0 cm e 6,5 cm, respectivamente. Enquanto o técnico 2 apontou  $2,16 \text{ mm} \pm 0,21 \text{ mm}$  e  $2,10 \text{ mm} \pm 0,37 \text{ mm}$ . Ao aplicar o teste de diferença entre as médias da resolução lateral, observou-se que a hipótese das médias serem iguais não pode ser rejeitada para ambas as profundidades. Assim, os resultados de resolução lateral combinados para a profundidade de 3,0 cm é de  $2,15 \text{ mm} \pm 0,21 \text{ mm}$ , enquanto que para a profundidade de 6,5 cm é de  $2,01 \text{ mm} \pm 0,26 \text{ mm}$ .

## Discussão

Analisando-se os resultados, observa-se que nenhum dos técnicos conseguiu medir a resolução axial de 0,25 mm. Este resultado é coerente, tendo em vista que para a frequência central de 5 MHz, o comprimento de onda é da ordem de 0,3 mm. As medições das resoluções laterais de 1,0 mm, 0,5 mm e 0,25 mm, também não foram possíveis devido à distorção geométrica dos alvos observada por ambos os técnicos durante as medições. Este resultado sugere que a largura do feixe é da ordem de 1,0 mm.

Observando-se as incertezas do tipo A ( $u_s$ ), nota-se que quanto maior a profundidade, maior a dificuldade para medir as distâncias entre os alvos. Este fato pode estar associado ao aumento da atenuação com a profundidade. Consequentemente, maiores incertezas foram observadas nas medições na profundidade de 6,5 cm, onde os resultados da resolução axial dos dois técnicos não puderam ser combinados.

Os resultados combinados sugerem uma limitação do EDUS ensaiado em resolver axialmente estruturas menores que 0,60 mm na profundidade de 3,0 cm, enquanto lateralmente esta limitação é da ordem de 2,15 mm. Para a mesma profundidade, o modelo de incerteza proposto sugere que a incerteza expandida da medição da resolução axial é de 0,14 mm e de 0,21 mm para a resolução lateral.

Cabe ressaltar que, com base na revisão da literatura, este é o primeiro trabalho a apresentar um modelo para a determinação da incerteza de medição de indicadores utilizados nas avaliações de imagens de ultrassom. Assim, os resultados apresentados contribuem de forma inédita para alavancar a avaliação metroológica da imagem de diagnóstico por ultrassom.

Tabela 3: Resultado das medições realizadas pelo técnico 2 na profundidade de 3,0 cm do *phantom*.

Técnico 2		Zona I					
Alvos	Valor de referência (mm)	X (mm)	$u_s$ (mm)	$u_R$ (mm)	k	U (mm)	$E_{abs}$ (mm)
A2-B2	0,5	0,58	0,03	0,05	2,07	0,13	0,08
A3-B3	1	1,08	0,03	0,05	2,04	0,12	0,08
A4-B4	2	2,00	0,03	0,05	2,04	0,12	0
A5-B5	3	2,96	0,00	0,05	1,96	0,10	0,04
A6-B6	4	3,79	0,00	0,05	1,96	0,10	0,21
A1-A2	4	4,03	0,06	0,05	2,57	0,21	0,03
A2-A3	3	3,17	0,03	0,05	2,04	0,12	0,17
A3-A4	2	2,16	0,06	0,05	2,57	0,21	0,16

Tabela 4: Resultado das medições realizadas pelo técnico 2 na profundidade de 6,5 cm do *phantom*.

Técnico 2		Zona II					
Alvos	Valor de referência (mm)	X (mm)	$u_s$ (mm)	$u_R$ (mm)	k	U (mm)	$E_{abs}$ (mm)
A2-B2	0,5	0,67	0,05	0,05	2,31	0,17	0,17
A3-B3	1	1,08	0,00	0,05	1,96	0,10	0,08
A4-B4	2	1,95	0,05	0,05	2,31	0,17	0,05
A5-B5	3	2,98	0,10	0,05	3,18	0,37	0,02
A6-B6	4	3,90	0,05	0,05	2,31	0,17	0,10
A1-A2	4	4,16	0,16	0,05	4,30	0,71	0,16
A2-A3	3	3,23	0,09	0,05	3,18	0,33	0,23
A3-A4	2	2,10	0,10	0,05	3,18	0,37	0,10

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a Faperj pelo apoio financeiro.

## Referências

- [1] Oliveira LM, Maia JM, Gamba HR, Gewehr PM, Pereira WCA. Avaliação da qualidade de imagens de equipamentos de ultrassom modo B. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica. 2010; v. 26, n. 1, p. 11-24;
- [2] Mitchell M, Goodsitt and Paul L. Carson, "Real-time B-mode ultrasound quality control test procedures Report of AAPM Ultrasound Task Group No. 1", Department of Radiology, University of Michigan; 3 June 1998;
- [3] International Electrotechnical Commission Technical Report IEC/TS 61390 ed. 1.0: Ultrasonics – Real-time pulse-echo systems – Test procedures to determine performance specifications. Genève, Suisse, 1996.
- [4] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO, Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012), 1ª Edição Luso Brasileira, Rio de Janeiro, 2012.
- [5] Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, 3ª Edição Brasileira em Língua Portuguesa, Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, 2008.