



## **EXPRESSÃO DAS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ASSOCIADAS À DOSIMETRIA E ÀS CALIBRAÇÕES DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO (LEITURA DIRETA) EM RADIOPROTEÇÃO NO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO GAMA (LCG) DO IDQBRN**

**Thiago M S Silva<sup>1</sup>, Rodrigo C Curzio<sup>1,2</sup>, Gabriel F F Marques<sup>1</sup>, Cláudio J F S F Vasconcelos<sup>1</sup>, Alexandre G O Cordeiro<sup>1</sup>, Paulo R T Vilela<sup>1</sup>, Aneuri S Amorim<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (IDQBRN).  
Avenida das Américas, 28.705 - Guaratiba, 23020-470, Rio de Janeiro - RJ - Brasil

<sup>2</sup> Instituto Militar de Engenharia (IME).  
Praça General Tibúrcio, 80 - Urca, 22290-270, Rio de Janeiro - RJ - Brasil  
thiago.medeiros@eb.mil.br

**Palavras-Chave:** Incerteza; Calibração; Dosimetria; Radioproteção; Metrologia.

### **RESUMO**

Devido às atividades específicas realizadas pelo Laboratório de Calibração Gama (LCG) do Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (IDQBRN), é necessário determinar e avaliar as incertezas de medição. Foram identificadas as fontes que contribuem para a incerteza de medição na dosimetria de Césio-137 do LCG e na calibração dos monitores de área de leitura direta na grandeza operacional Equivalente de Dose Ambiente,  $H^*(10)$ , com base no Guia para a Expressão de Incerteza de Medição (GUM). Tais incertezas foram analisadas de acordo com os limites estabelecidos pelas normas de proteção radiológica vigentes. Fez-se uso dos equipamentos e da infraestrutura do próprio IDQBRN, como irradiador de Césio-137 (36,9 GBq em 22/01/15), termobarohigrômetro, trena a laser e conjunto de medição composto por câmara de ionização de 1 L e eletrômetro. Para estudo das calibrações de instrumentos de medição (leitura direta) em radioproteção foram utilizados os monitores de área da Companhia de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (Cia DQBRN). Identificou-se as fontes de incerteza, a incerteza-padrão combinada ( $u_c$ ) e a incerteza expandida ( $U$ ) na calibração de monitores de área para cada uma das escalas dos equipamentos. A repetitividade (incerteza tipo A) foi obtida pelos desvios-padrão de dez leituras consecutivas do monitor, sendo representada pela distribuição t-Student. Também foram consideradas como componentes (tipo B): a incerteza expandida associada à dosimetria em taxa de  $H^*(10)$  do LCG, previamente calculada, e a incerteza declarada no certificado de calibração da trena, ambos os casos com distribuição normal ( $k = 2,0$ ). Na calibração de monitores de área da Cia DQBRN na grandeza operacional  $H^*(10)$  (taxa), para as incertezas expandidas relativas há uma tendência que sejam 6,6%, 6,2%, 6,2% e 6,3% para  $k = 2,0$  em relação aos valores de referência  $10 \mu\text{Sv h}^{-1}$ ,  $100 \mu\text{Sv h}^{-1}$ ,  $1.000 \mu\text{Sv h}^{-1}$  e  $1.0000 \mu\text{Sv h}^{-1}$ , respectivamente. No LCG, as calibrações de instrumentos de medição (leitura direta) tiveram valor máximo de  $U = 7,0\%$ , atendendo ao intervalo recomendado pelas normas pertinentes.

### **1. INTRODUÇÃO**

O Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (IDQBRN), por meio do seu Laboratório de Calibração Gama (LCG), realiza os serviços de calibrações de monitores de área para radioproteção do Exército Brasileiro [1]. Como parte integrante do procedimento de calibração, deve-se determinar a incerteza de medição, a fim de quantificar a confiabilidade dos resultados [2]. Trata-se de um parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos a esse mensurando. Portanto, torna-se necessário que haja uma metodologia implementada e validada para expressar a qualidade dos resultados das medições, isto é, para determinar e avaliar as incertezas [3].



Neste estudo, identificaram-se as fontes que contribuem significativamente para a incerteza de medição na dosimetria de Césio-137 do LCG e na calibração de instrumentos de medição (leitura direta) em radioproteção. Adicionalmente, foram realizados os cálculos para as estimativas de incerteza expandida da grandeza kerma no ar ( $K_a$ ) do sistema irradiador e dos monitores de área calibrados e Equivalente de Dose Ambiente,  $H^*(10)$ , com base no Guia para a Expressão de Incerteza de Medição (GUM) [4] e nos procedimentos do Sistema da Qualidade implantado no LCG. Tais incertezas foram analisadas de acordo com os limites estabelecidos pelas normas de proteção radiológica vigentes para avaliação dos dados de medição [5,6,7].

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Equipamentos

Para realizar as análises experimentais foi utilizado o termobarohigrômetro (Fabricante: VAISALA, modelo: PTU 303, N° de série: P1440563) para verificação das condições ambientais (temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade relativa do ar). Os posicionamentos nas distâncias de irradiação foram medidos com a trena a laser (Fabricante: BOSCH, modelo: GLM 120 C, N° de série: 808043307) e os alinhamentos horizontais e verticais com a escala milimetrada projetada (Fabricante: Cidepe, modelo: EQ041.01). Os materiais retromencionados foram calibrados em laboratórios acreditados (ou rastreados) pela Rede Brasileira de Calibração (RBC) [8, 9, 10, 11, 12].

Para medição da taxa de kerma no ar, empregou-se o conjunto de medição composto pela câmara de ionização de 1 L (Fabricante: PTW, modelo: TW32002, N° de série: 528) e pelo eletrômetro (Fabricante: PTW UNIDOS, modelo: Weblin, N° de série: T10022-999452), previamente calibrado no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI) [13].

Fez-se uso dos equipamentos e da infraestrutura do próprio IDQBRN como atenuadores de chumbo (de diferentes espessuras), mesa e bancada de irradiação, sistema de posicionamento a laser, computadores, entre outros. Para irradiação dos dosímetros foi utilizado o irradiador de Césio-137 do LCG (Fabricante: VF NUCLEAR, modelo: IG-13) com atividade certificada inicialmente de 36,9 GBq em 22/01/15 [14].

Para o estudo de calibração de instrumento de medição (leitura direta) em radioproteção foram utilizados 25 monitores de área (Fabricante: Thermo Scientific, modelo: RadEye PRD-ER, N° de série: 30297, 30299, 30302, 30304, 30310, 30311, 30316, 30320, 30340, 30346, 30353, 30354, 30357, 30364, 30388, 31190, 31202, 31206, 31208, 31210, 31213, 31216, 31218 e 31221) da Companhia de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (Cia DQBRN). As calibrações estudadas neste artigo foram realizadas no último trimestre de 2023.

### 2.2 Dosimetria

Para caracterização de feixe de radiação na grandeza dosimétrica kerma no ar,  $K_a$ , a determinação é direta com uma câmara de ionização padrão apropriada, calibrada em termos de  $K_a$  [6]. O alinhamento da câmara com os eixos horizontais e verticais são realizados com o sistema de lasers do LCG na posição padronizada de 2.000 mm.

Posteriormente, as medições são realizadas nos posicionamentos de 500 mm a 3.000 mm (em intervalos de 250 mm) entre o centro do detector e a fonte radioativa de Césio-137. Também são empregados atenuadores de chumbo com 15 mm e com 32 mm no intuito de modificar as taxas de kerma no ar, ampliando a faixa de trabalho ao diminuir os limites inferiores da dosimetria. O tempo de irradiação adotado para a câmara de ionização é de 1 min. Para cada ponto de teste, foram realizadas dez medições da carga elétrica coletada pela câmara [15].



Além disso, foram utilizados os fatores de correção das condições de ensaio para as condições de referência em relação a temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade relativa do ar e o fator de correção devido ao decaimento radioativo da fonte [6].

Já para a grandeza operacional equivalente de dose ambiente,  $H^*(10)$ , a determinação é indireta aplicando o coeficiente de conversão,  $h_K^*(10)$ , aos valores medidos de  $K_a$  [6]. Para a qualidade da radiação utilizada, o valor deste coeficiente é recomendado como  $1,21 \text{ SvGy}^{-1}$  [7].

A partir do tratamento matemático de dados dessa dosimetria, realiza-se a caracterização do campo de radiação sendo possível a construção de curvas dosimétricas. Essas curvas fornecerão as combinações necessárias de distância e atenuador a serem exercidas nas calibrações vindouras.

### 2.3 Calibração de instrumento de medição (leitura direta) em radioproteção

Para calibração dos monitores de área foi utilizado o método de calibração por resposta em um campo de radiação conhecido [16] para os valores de referência de taxa de  $H^*(10)$  de  $10 \mu\text{Svh}^{-1}$ ,  $100 \mu\text{Svh}^{-1}$ ,  $1.000 \mu\text{Svh}^{-1}$  e  $10.000 \mu\text{Svh}^{-1}$ . Para cada um desses valores é obtido nas curvas dosimétricas a combinação de distância de irradiação e atenuador, priorizando sempre o uso do feixe menos atenuado.

Após o alinhamento do monitor (ponto de referência do instrumento a 2.000 mm), posicionamento no ponto de teste (na distância de irradiação) e colocação do atenuador de chumbo (se necessária), foram realizadas dez leituras em cada ponto de teste. Para radioproteção, a faixa de aceitação é de  $\pm 10\%$  sobre os valores de referência. Se a média das medições estiver dentro desse intervalo e a incerteza expandida associada à grandeza estiver em torno de 6% a 10%, o monitor é aprovado nesta faixa. O certificado de calibração só é emitido se, e somente se, o monitor for aprovado em todas as suas escalas de medições [3,15].

## 3. RESULTADOS

As incertezas globais neste estudo foram estimadas com probabilidade de abrangência de 95,45%. Além deste nível da confiança requerido, o fator de abrangência ( $k$ ) adotado é também influenciado pelo grau de liberdade ( $\nu$ ). As incertezas expandidas relativas,  $U$  (%), foram calculadas em relação ao valor médio medido pelo instrumento. Em cada cálculo de  $u_c$  (%) utilizou-se o pior resultado (isto é, a maior contribuição) na avaliações do tipo A da incerteza-padrão dentre as obtidas nos testes realizados [17].

São apresentados na tabela 1 os valores das fontes de incerteza, da incerteza-padrão combinada relativa e da incerteza expandida relativa na dosimetria em kerma no ar utilizando a fonte de Césio-137 do LCG. A incerteza associada à repetitividade (tipo A) é referente às dez leituras consecutivas das cargas elétricas medidas pelo eletrômetro. Também foram consideradas como componentes de incerteza (tipo B) na dosimetria em  $K_a$ : as declaradas nos certificados de calibração do conjunto de medição, do termobarohigrômetro [8,9,10], do cronômetro [11] e da trena a laser [12]; a uniformidade do campo; o possível erro nos alinhamentos horizontal e vertical; e o decaimento da fonte radioativa [18].

Na incerteza da uniformidade do campo, fez-se uso da maior diferença percentual encontrada entre as taxas de kerma no ar no centro do detector e a  $\pm 100 \text{ mm}$  nos eixos horizontal e vertical pertencentes ao plano perpendicular ao feixe de radiação. Já para o alinhamento (horizontal e vertical), considerou-se a menor divisão da escala em relação ao tamanho de campo uniforme a 2.000 mm [18]. Para essas componentes foi considerada distribuição de probabilidade em formato de  $U$  ( $k = \sqrt{2}$ ) e triangular ( $k = \sqrt{6}$ ), respectivamente. Não se considerou a contribuição de corrente de fuga, visto que esta tem sido desprezível após estabilização do conjunto de medição. Para a taxa de  $K_a$ , estimou-se que a  $U$  (%) = 4,3 para  $k = 2,0$ .



Tab. 1. Cálculo da incerteza expandida relativa associada à grandeza  $K_a$  na dosimetria.

$i$	Fonte de Incerteza	Tipo	$U(x_i)$	$\bar{x}_i$	Distribuição	$k$	$c_i$	$u(x_i)(\%)$	$\nu_i$
1	Repetibilidade das leituras (%)	A	1,33	100,00	t-Student	$\sqrt{10}$	1,0	0,004	9
2	Coefficiente de Calibração (%)	B	2,5	100,0	Normal	2,0	1,0	0,013	$\infty$
3	Temperatura ambiente (°C)	B	0,2	20,0	Normal	2,0	1,0	0,005	$\infty$
4	Pressão atmosférica (hPa)	B	0,2	1.013,3	Normal	2,0	1,0	< 0,001	$\infty$
5	Umidade relativa do ar (%)	B	1,3	65,0	Normal	2,0	1,0	0,010	$\infty$
6	Tempo de irradiação (min)	B	0,00008	1,00000	Normal	2,0	1,0	< 0,001	$\infty$
7	Distância de irradiação (mm)	B	0,3	500,0	Normal	2,0	1,0	< 0,001	$\infty$
8	Uniformidade do campo (%)	B	1,67	100,00	Forma de U	$\sqrt{2}$	1,0	0,012	$\infty$
9	Alinhamento horizontal (mm)	B	1	652	Triangular	$\sqrt{6}$	1,0	0,001	$\infty$
10	Alinhamento vertical (mm)	B	1	652	Triangular	$\sqrt{6}$	1,0	0,001	$\infty$
11	Decaimento radioativo (a)	B	0,022	30,018	Normal	2,0	1,0	< 0,001	$\infty$
<b>Incerteza-padrão combinada relativa</b>								<b><math>u_c(y)(\%)</math></b>	<b><math>\nu_{eff}</math></b>
								<b>2,1</b>	<b><math>\infty</math></b>
<b>Incerteza expandida relativa</b>								<b><math>U(y)(\%)</math></b>	<b><math>k</math></b>
								<b>4,3</b>	<b>2,0</b>

A tabela 2 exhibe os valores das fontes de incerteza, da incerteza-padrão combinada e da incerteza expandida na determinação da taxa de equivalente de dose ambiente para um dos monitores de área selecionado aleatoriamente (Nº de série: 31216). Foram consideradas como componentes de incerteza (tipo B) na dosimetria em  $H^*(10)$ : a incerteza expandida associada à dosimetria em taxa de kerma no ar (tabela 1), a incerteza estimada para o ajuste da curva dosimétrica (máximo de 1,0% para cada um dos dois parâmetros que compõem as equações) [17] e a incerteza do coeficiente de conversão para os campos de referência correspondente [7]; todas com distribuição normal ( $k = 2,0$ ). Obteve-se que  $U (\%) = 6,2$  com  $k = 2,0$  para a taxa de  $H^*(10)$ .

Tab. 2. Cálculo da incerteza expandida relativa associada à grandeza  $H^*(10)$  na dosimetria.

$i$	Fonte de Incerteza	Tipo	$U(x_i)$	$\bar{x}_i$	Distribuição	$k$	$c_i$	$u(x_i)(\%)$	$\nu_i$
1	Dosimetria em $K_a$ (%)	B	4,3	100,0	Normal	2,0	1,0	0,021	$\infty$
2	Coefficiente de conversão (%)	B	4,0	100,0	Normal	2,0	1,0	0,020	$\infty$
3	Ajuste da curva dosimétrica (%)	B	2,0	100,0	Normal	2,0	1,0	0,010	$\infty$
<b>Incerteza-padrão combinada relativa</b>								<b><math>u_c(y)(\%)</math></b>	<b><math>\nu_{eff}</math></b>
								<b>3,1</b>	<b><math>\infty</math></b>
<b>Incerteza expandida relativa</b>								<b><math>U(y)(\%)</math></b>	<b><math>k</math></b>
								<b>6,2</b>	<b>2,0</b>



Na tabela 3, são expostos os valores das fontes de incerteza, da incerteza-padrão combinada e da incerteza expandida na calibração de dosímetros de área em taxa de equivalente de dose ambiente. A incerteza associada à repetitividade (tipo A) é a incerteza obtida pelo cálculo do desvio padrão de dez leituras consecutivas do monitor. Também foram consideradas como componentes de incerteza (tipo B) na calibração dos monitores em taxa de  $H^*(10)$ : a incerteza expandida associada à dosimetria em taxa de equivalente de dose ambiente (calculada na tabela 2) e a incerteza declarada no certificado de calibração da trena, todas com distribuição normal ( $k = 2,0$ ).

Tab. 3. Cálculo da incerteza expandida relativa associada à grandeza  $H^*(10)$  na calibração de monitores de área para o valor de referência de  $10 \mu\text{Svh}^{-1}$ .

$i$	Fonte de Incerteza	Tipo	$U(x_i)$	$\bar{x}_i$	Distribuição	$k$	$c_i$	$u(x_i)(\%)$	$\nu_i$
1	Repetibilidade das leituras ( $\mu\text{Svh}^{-1}$ )	A	0,3	9,1	t-Student	$\sqrt{10}$	1,0	0,010	9
2	Dosimetria em $H^*(10)$ (%)	B	6,2	100,0	Normal	2,0	1,0	0,031	$\infty$
3	Distância de irradiação (mm)	B	0,4	2.639,0	Normal	2,0	1,0	< 0,001	$\infty$
<b>Incerteza-padrão combinada relativa</b>								<b><math>u_c(\mathbf{y})(\%)</math></b>	<b><math>\nu_{eff}</math></b>
								<b>3,2</b>	<b><math>\infty</math></b>
<b>Incerteza expandida relativa</b>								<b><math>U(\mathbf{y})(\%)</math></b>	<b><math>k</math></b>
								<b>6,5</b>	<b>2,0</b>

Repetiu-se o mesmo cálculo para as demais escalas do equipamento. Sucintamente, na calibração deste monitor de área (Nº de série: 31216), as incertezas expandidas relativas estimadas são 6,5%, 6,2%, 6,2% e 6,4% para  $k = 2,0$  em relação aos valores de referência  $10 \mu\text{Svh}^{-1}$ ,  $100 \mu\text{Svh}^{-1}$ ,  $1.000 \mu\text{Svh}^{-1}$  e  $10.000 \mu\text{Svh}^{-1}$ , respectivamente.

De igual modo, a tabela 4 exibe as incertezas expandidas estimadas para todos os monitores de área da Cia DQBRN que foram calibrados no LCG no último trimestre de 2023.

Tab. 4. Incerteza expandida relativa,  $U(\%)$ , associada à grandeza  $H^*(10)$  na calibração de monitores de área para os quatro valores de referência.

Monitor	Nº de série	$10 \mu\text{Svh}^{-1}$	$100 \mu\text{Svh}^{-1}$	$1.000 \mu\text{Svh}^{-1}$	$10.000 \mu\text{Svh}^{-1}$
1	30297	7,0	6,2	6,2	6,3
2	30299	6,4	6,2	6,2	6,2
3	30302	6,5	6,3	6,2	6,2
4	30304	6,6	6,2	6,2	6,2
5	30310	6,4	6,2	6,2	6,3
6	30311	6,7	6,2	6,2	6,3
7	30316	6,3	6,3	6,3	6,7
8	30320	6,5	6,2	6,2	6,3
9	30340	6,4	6,3	6,2	6,3
10	30346	6,9	6,2	6,2	6,3
11	30353	6,7	6,2	6,2	6,2
12	30354	6,5	6,3	6,7	6,4
13	30357	6,4	6,3	6,2	6,2
14	30364	6,4	6,2	6,2	6,2
15	30376	6,5	6,2	6,2	6,2
16	30388	6,5	6,3	6,2	6,3



Tab. 4. Incerteza expandida relativa,  $U(\%)$ , associada à grandeza  $H^*(10)$  na calibração de monitores de área para os quatro valores de referência (continuação)

Monitor	Nº de série	10 $\mu\text{Svh}^{-1}$	100 $\mu\text{Svh}^{-1}$	1.000 $\mu\text{Svh}^{-1}$	10.000 $\mu\text{Svh}^{-1}$
17	31190	6,5	6,2	6,2	6,4
18	31202	6,3	6,2	6,2	6,2
19	31206	6,2	6,2	6,2	6,4
20	31208	6,6	6,2	6,2	6,5
21	31210	6,5	6,2	6,3	6,5
22	31213	6,2	6,3	6,2	6,2
23	31216	6,5	6,2	6,2	6,4
24	31218	6,4	6,2	6,2	6,2
25	31221	6,4	6,2	6,2	6,2
$\infty$	<b>Tendência</b>	6,6	6,2	6,2	6,3

Através de métodos de análise estatística apropriados da tabela 4, é possível observar que há uma tendência que as incertezas expandidas relativas sejam 6,6%, 6,2%, 6,2% e 6,3% para  $k = 2,0$  em relação aos valores de referência 10  $\mu\text{Svh}^{-1}$ , 100  $\mu\text{Svh}^{-1}$ , 1.000  $\mu\text{Svh}^{-1}$  e 10.000  $\mu\text{Svh}^{-1}$ , respectivamente.

Não é explicitado o limite máximo para a incerteza expandida associada ao  $K_a$  (ou taxa de) para radiação gama emitida por radionuclídeos. Contudo, é recomendado que o valor da incerteza expandida total ( $k=2$ ) do valor da dose (ou taxa de dose) deve ser em torno de 6% a 10% para as grandezas operacionais relacionadas aos simuladores da *International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU)* nos campos de referência [5, 6, 7]. Tanto na dosimetria quanto na calibração dos monitores de área, ambas em  $H^*(10)$ , o maior valor de incerteza associada a esta grandeza é 7,0% que atende ao intervalo desejado.

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou a relevância da expressão da incerteza na apresentação do resultado de medição. De início realizou-se uma síntese das etapas de cada processo de medição do LCG. Com foco nas grandezas de saída associadas à dosimetria e às calibrações de instrumentos de medição (leitura direta) em radioproteção, foram identificadas as fontes de incerteza no intuito de possibilitar a combinação dessas contribuições individuais em uma incerteza total única com probabilidade de abrangência de 95,45%.

A caracterização do feixe em kerma no ar teve uma estimativa máxima de incerteza global de 4,3%. A dosimetria (em taxa de equivalente de dose ambiente) proporcionou uma incerteza expandida de 6,2%, enquanto que a calibração de monitores de área de leitura direta apresentou uma tendência máxima de 6,6%. Esses valores estão dentro do intervalo recomendado pela ICRU para os monitores de radiação, tanto com leitura analógica quanto digital.

Soma-se aos aspectos técnicos já expostos a importância da difusão do conhecimento da metodologia para a correta expressão e avaliação das incertezas, visto que esta não é simplesmente uma tarefa rotineira nem uma tarefa puramente matemática; dependendo de detalhado conhecimento da natureza do mensurando e do processo de medição.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Exército Brasileiro e ao IDQBRN pelo apoio oferecido, proporcionando a realização desta obra.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EME - Estado-Maior do Exército. Portaria Nº 204. Aprova a Diretriz para Atualização e Funcionamento do Sistema de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear do Exército. Brasília, DF, 2012.
- [2] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibração. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 32 p.
- [3] INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012. 94 p.
- [4] INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Avaliação de dados de medição: Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. 141 p.
- [5] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 4037-1: Proteção radiológica — Radiação X e gama de referência para calibração de dosímetros e medidores de taxa de dose, e para determinação de suas respostas em função da energia dos fótons. Parte 1: Características das radiações e métodos de produção. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2020. 53 p.
- [6] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 4037-2: Proteção radiológica — Radiação X e gama de referência para calibração de dosímetros e medidores de taxa de dose, e para determinação de suas respostas em função da energia dos fótons. Parte 2: Dosimetria para proteção radiológica nas faixas de energia de 8 keV a 1,3 MeV e de 4 MeV a 9 MeV. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2021. 32 p.
- [7] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 4037-3: Proteção radiológica — Radiação X e gama de referência para calibração de dosímetros e medidores de taxa de dose, e para determinação de suas respostas em função da energia dos fótons. Parte 3: Calibração de dosímetros de área e individuais e a medição de sua resposta em função da energia e do ângulo de incidência. 1.ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2020. 68 p.
- [8] VISOMES. Certificado de calibração Nº LV08025-000173-23-R1. São Paulo, SP, 2023.
- [9] VISOMES. Certificado de calibração Nº LV08025-00812A-23-R1. São Paulo, SP, 2023.
- [10] VISOMES. Certificado de calibração Nº LV08025-00812B-23-R1. São Paulo, SP, 2023.
- [11] CIMEQ. Certificado de calibração Nº 003414/201. Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- [12] LEKAS. Certificado de calibração Nº 2037423. Rio de Janeiro, RJ, 2023.
- [13] LNMRI - Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. Certificado de calibração Nº 0948. Rio de Janeiro, RJ: IRD, 2023.



[14] VF. Certificate of sealed radioactive source CS7.P04 - 003/15. Černá Hora, BR, Czech Republic, 2015.

[15] CASEC - Comitê de Avaliação de Serviços de Ensaio e Calibração. Requisitos Técnicos para Certificação de Laboratório de Calibração de Instrumentos de Medição para Radiação Ionizante Usados em Radioproteção. Rio de Janeiro, RJ: IRD/CNEN, 2011. 20 p.

[16] IAEA - International Atomic Energy Agency. Calibration of radiation protection monitoring instruments. Safety reports series, ISSN 1020–6450; N° 16. Vienna, W, Austria: AIEA, 1999. 162 p.

[17] MENDES, A.; ROSÁRIO, P. P. N. Metrologia e Incerteza de Medição: Conceitos e Aplicações. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2020. 253 p.

[18] LNHB - Laboratoire National Henri Becquerel. Table de Radionucléides: 137. 55 Cs 82. Paris, IDF, France: LNE – LNHB/CEA, 2023. 6 p.