

manusculo

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DOS CAMPOS DE RADIAÇÃO GAMA  
DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DO IPEN**

Vítor Vívolo - vivolo@net.ipen.br  
Alessandro M. da Costa - amcosta@net.ipen.br  
José E. Manzoli - jmanzoli@net.ipen.br  
Linda V. E. Caldas - lcaldas@net.ipen.br  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Comissão Nacional de Energia Nuclear  
C.P. 11049, CEP 05422-970, São Paulo, Brasil  
Fone: (011) 3816-9216 Fax: (011) 3816-9209

*Resumo. As incertezas presentes nas medições diretas e indiretas durante a calibração de monitores portáteis de radiação gama devem fazer parte do sistema de controle de qualidade de laboratórios de calibração de instrumentos. Neste trabalho, uma função foi ajustada a um conjunto de dados experimentais obtidos com a utilização de um irradiador, com fontes de  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ , sendo determinadas as variâncias e as covariâncias nos parâmetros ajustados. As curvas provenientes dos ajustes permitem a obtenção das taxas de exposição e suas respectivas incertezas em qualquer distância da fonte. Os dados experimentais incluem as medidas indiretas da taxa de exposição à radiação gama em função da distância com um instrumento de referência calibrado contra um sistema padrão secundário, num laboratório com presença de radiação espalhada. Desse modo, uma vez estabelecidos os campos de radiação, eles podem ser usados para a calibração de detectores de radiação portáteis.*

**Palavras-chave:** Radiação Gama, Fontes Radioativas, Incertezas em Medidas.

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho é definir o campo de radiação para diversas fontes de radiação gama ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ ) e suas incertezas para a calibração de equipamentos monitores de radiação [portáteis, de área (fixos), canetas dosimétricas, dosímetros sonoros e irradiação de amostras, etc]. Uma das técnicas para calibração de instrumentos empregados em Radioproteção faz uso de campos de radiação com propriedades bem conhecidas. Neste caso o campo de radiação pode ser definido a partir do conhecimento de certos parâmetros de uma fonte padrão secundário.

Alguns fatores, como por exemplo a presença de radiação espalhada, podem tornar difícil a especificação do campo. O campo de radiação ideal seria monoenergético e com

uma taxa de exposição bem conhecida (IAEA, 1971). Um método utilizado para se obter uma curva da taxa de exposição em função da distância (fonte-detector) é o método de Marquardt (Bevington & Robinson, 1992) que é empregado neste trabalho e mostra como os parâmetros de ajuste e suas variâncias e covariâncias são utilizadas para se obter, a partir da curva, o valor da incerteza padrão da taxa de exposição para qualquer distância.

Em um campo de radiação, em condições ideais (modelo teórico), a taxa de exposição do campo gerado por uma fonte puntiforme e num local sem espalhamento deve obedecer à lei do inverso do quadrado da distância. Desvios na lei do inverso do quadrado da distância em situações reais são principalmente atribuídos ao espalhamento da radiação e à geometria não puntiforme da fonte, tornando necessário o uso de fatores de correção para aplicações práticas (IAEA, 1971). As taxas de exposição medidas,  $\dot{X}$ , e as distâncias medidas,  $d$ , são as grandezas de entrada da avaliação. Uma curva da taxa de exposição (uma curva para cada fonte radioativa utilizada, neste trabalho) em função da distância foi ajustada pelo método de Marquardt (Bevington & Robinson, 1992):

$$\dot{X} = \frac{a_1}{d^{a_2}} \quad (1)$$

Os parâmetros  $a_1$  e  $a_2$  são os dois mensurandos ou grandezas de saída que foram determinados em cada caso. Uma vez obtidos  $a_1$  e  $a_2$ , juntamente com suas variâncias e covariâncias estimadas, a Equação 1 pode ser usada para prever o valor e a incerteza padrão da taxa de exposição para qualquer valor  $d$  da distância. A Equação 1 é aplicada supondo que o campo obedeça à lei do inverso do quadrado da distância.

A escolha desta função permite uma discussão sobre a divergência dos parâmetros em relação à lei do inverso do quadrado da distância, válida apenas para a situação ideal, com fonte puntiforme e ausência de espalhamento (Manzoli & Potiens, 2000).

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As medições de taxa de exposição foram feitas variando-se a distância entre fontes de radiação gama de  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$  de um irradiador STS Steuerungstechnik & Strahlenschutz GmbH, modelo OB85, e o detector de radiação entre 1,0 e 3,0 m.

O detector, uma câmara de ionização, é um instrumento padrão de referência, calibrado contra um padrão secundário, da Physikalisch-Technische Werkstätten (PTW), Alemanha, modelo LS01. A câmara foi acoplada a um eletrômetro PTW, modelo UNIDOS.

A incerteza total associada ao fator de calibração do instrumento não excede a  $\pm 3,0\%$ , tendo sido definida como sendo duas vezes o valor da incerteza combinada.

Antes de iniciar as medições, o instrumento passou por testes preliminares para verificação de funcionamento, que incluíram testes de fuga, repetitividade e reprodutibilidade.

### 3. RESULTADOS

Os dados a serem ajustados são fornecidos nas Tabelas 1, 2 e 3. A incerteza total nas taxas de exposição foi obtida por avaliações dos Tipos A e B. As incertezas na variável independente, ou seja, na distância, não foram desprezadas. Elas foram transferidas para a variável dependente, isto é, para a taxa de exposição, por meio de um procedimento descrito nas referências (Bevington & Robinson, 1992) e (Vuolo, 1996).

Tabela 1. Taxa de exposição em função da distância para a fonte de  $^{241}\text{Am}$ .

Distância (m)	Taxa de Exposição (nC/kg.h)	Incerteza (nC/kg.h)
1,0	236,0	5,0
1,5	94,0	2,0
2,0	49,0	1,0
2,5	32,0	1,0

Tabela 2. Taxa de exposição em função da distância para a fonte de  $^{137}\text{Cs}$ .

Distância (m)	Taxa de Exposição (nC/kg.h)	Incerteza (nC/kg.h)
1,0	954,0	14
1,5	427,0	7,0
2,0	245,0	4,0
2,5	161,0	3,0
3,0	120,0	3,0

Tabela 3. Taxa de exposição em função da distância para a fonte de  $^{60}\text{Co}$ .

Distância (m)	Taxa de Exposição (nC/kg.h)	Incerteza (nC/kg.h)
1,0	308,6	7,1
1,5	134,3	6,2
2,0	69,1	4,0
2,5	40,3	4,0
3,0	36,5	5,4

As curvas da taxa de exposição em função da distância obtidas pelo ajuste da Equação 1 foram:

$$\dot{X} = \frac{233,0(4,0)}{d^{2,22(0,04)}} \text{ (fonte de } ^{241}\text{Am)} \quad (2)$$

$$\dot{X} = \frac{940(12)}{d^{1,92(0,02)}} \text{ (fonte de } ^{137}\text{Cs)} \quad (3)$$

$$\dot{X} = \frac{3091(6,9)}{d^{2,131(0,063)}} \text{ (fonte de } ^{60}\text{Co)} \quad (4)$$

onde os números entre parênteses são os valores numéricos das incertezas padrão correspondentes dos resultados obtidos para os parâmetros  $a_1$  e  $a_2$ .

As covariâncias dos parâmetros de ajuste obtidas foram 0,1309 para a Equação 2, 0,2073 para a Equação 3 e 0,2323 para a Equação 4. As Equações 2, 3 e 4 fornecem a taxa de exposição em qualquer distância da fonte.

Estas funções de ajuste pouco se diferenciam visualmente em seus gráficos, como se pode observar nas Figuras 1, 2 e 3.

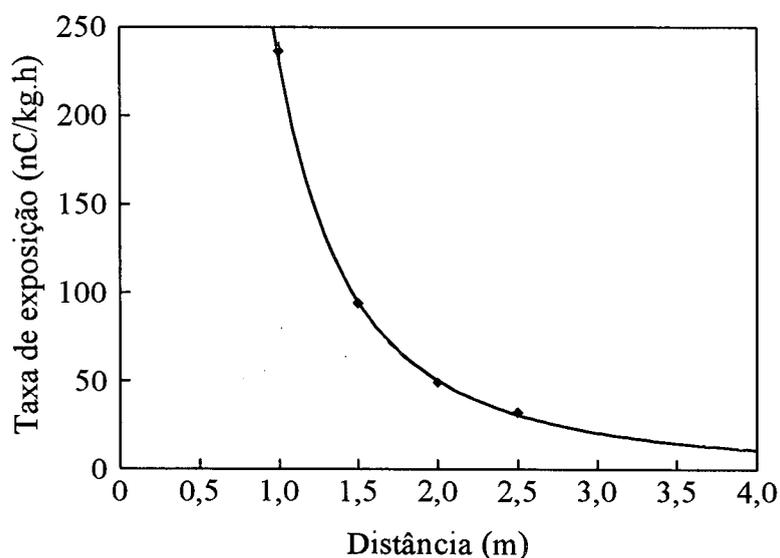


Figura 1. Taxa de exposição em função da distância. Fonte de  $^{241}\text{Am}$ .

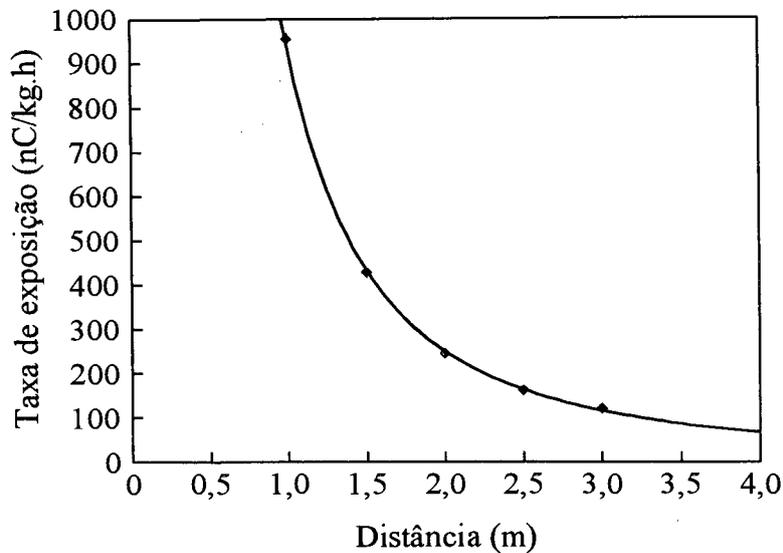


Figura 2. Taxa de exposição em função da distância. Fonte de  $^{137}\text{Cs}$ .

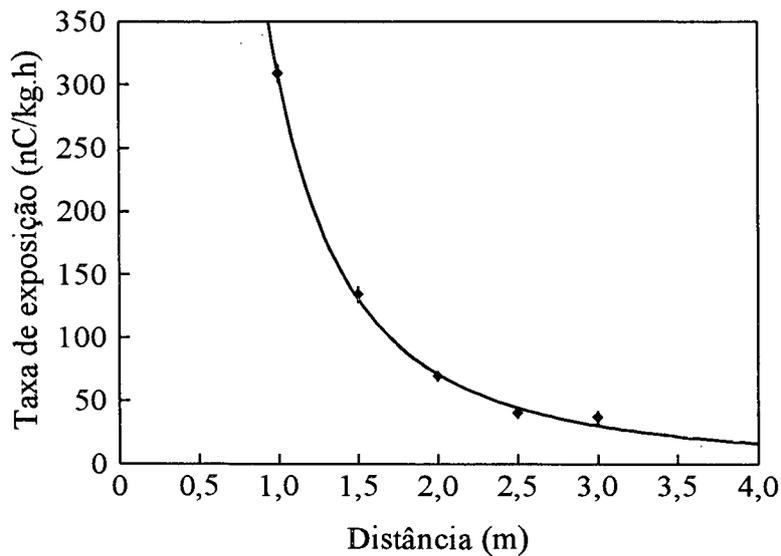


Figura 3. Taxa de exposição em função da distância. Fonte de  $^{60}\text{Co}$ .

A expressão para a incerteza padrão combinada do valor da taxa de exposição pode ser prontamente obtida aplicando-se a lei de propagação de incertezas nas Equações 2, 3 e 4 (Bevington & Robinson, 1992; Vuolo, 1996).

#### 4. DISCUSSÃO FINAL

A função ajustada tem um número de parâmetros que resulta em ajustes de boa qualidade, pelos critérios de verossimilhança (Vuolo, 1996). As incertezas verificadas nas taxas de exposição são inferiores a 3% para as três fontes, muito aquém dos limites de 20 a 25% permitidos pelas normas (ABNT, 1987; ANSI, 1978; ANSI, 1971) para os desvios de

medida na calibração de detectores portáteis de radiação gama, o que permite a utilização destas funções para caracterização do campo.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

### **REFERÊNCIAS**

ABNT, 1987, Medidores e monitores portáteis de taxa de exposição de raios X e gama, para uso em radioproteção, 1987 (NBR10011/1987).

ANSI, 1971, American National Standard for the specification of portable X or gamma-radiation survey instruments. (ANSI N13.4-71).

ANSI, 1978, Radiation protection instrumentation test and calibration. (ANSI N323-78).

Bevington, P. R. & Robinson, D. K., 1992, Data reduction and error analysis for the physical sciences. 2<sup>nd</sup> ed. Boston, Mass., McGraw-Hill, 1992.

IAEA, 1971, Handbook on calibration of radiation protection monitoring instruments, IAEA, Vienna, 1971. (Technical Report Series No. 133).

Manzoli, J. E. & Potiens, M. P. A., 2000, Establishment of a procedure to calculate the measurement uncertainties in radiation survey meters calibration. In: International Radiation Protection Association, Harmonization of radiation, human life and the ecosystem, Hiroshima: IRPA, 2000. Proceedings of the 10th International Congress of..., held in Hiroshima, Japan, May 14-19, 2000. (CD-ROM)

Vuolo, J. H., 1996, Fundamentos da teoria de erros, 2<sup>a</sup> ed., Edgar Blücher, São Paulo, p.144, 1996.

## DETERMINATION OF GAMMA RADIATION FIELD PARAMETERS OF THE CALIBRATION LABORATORY OF IPEN

*Abstract.* The uncertainties present in every direct or indirect measurement during the calibration of portable survey meters must be evaluated for purposes of the quality control program of calibration laboratories. In this work one function was fitted to a set of experimental data, using an irradiator with  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  sources, obtaining the variances and covariances of the fitted parameters. The experimental data include indirect measurements of the exposure rates taken using a standard instrument at different source-detector distances. The curve obtained can be used to estimate the exposure rate and its uncertainty at any distance from the sources. Once specified the fields, they can be used for the calibration of portable radiation detectors.

*Key-words:* Gamma Radiation, Radioactives Sources, Uncertainties in Measurements.