

# Características de espalhamento de materiais utilizados em radioproteção

Paulo R. Costa<sup>1</sup>, Linda V. E. Caldas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP - IEE/USP

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - CEP 05508-900 - São Paulo - SP

http://www.iee.usp.br - Tel. (011) 818-4816 - Fax (011) 210-7750 - pcosta@iee.usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN

Travessa R, 400 - CEP 05508-900 - São Paulo - SP

Tel. (011) 816-9118 - Fax (011) 816-9117

**Resumo** - Propõe-se um modelo paramétrico para a distribuição da radiação espalhada por materiais utilizados em radioproteção. O modelo apresenta vantagens por ser independente da composição química ou do coeficiente de atenuação linear do meio como função da energia. São apresentados resultados comparativos entre o modelo e dados experimentais.

**Abstract** - This work proposes a parametrical model for the distribution of the radiation scattered by shielding materials. This approach shows advantages for its independence on chemical composition or linear attenuation coefficient of the media as a function of energy. Comparative results between the model and experimental data are presented.

## Introdução

A publicação número 60 da ICRP<sup>1</sup> sugere que sejam implantados métodos de otimização que garantam que o público exposto à radiação esteja submetido aos menores níveis de radiação possíveis, levando-se em conta fatores sociais e econômicos. Para isto, paredes, biombo, visores, tetos e pisos de salas utilizadas em radiologia diagnóstica, radioterapia e medicina nuclear devem ser corretamente dimensionadas e revestidas com materiais atenuadores que garantam que os níveis de radiação em suas adjacências sejam compatíveis com os limites máximos permissíveis para o tipo de público ocupante da área em questão.

O presente trabalho descreve uma metodologia para avaliação das propriedades de absorção e de espalhamento dos materiais utilizados em radioproteção. Esta metodologia baseia-se no modelo de Archer<sup>2,3</sup>, que apresenta uma formulação paramétrica para descrever as curvas de atenuação destes materiais. Para as propriedades de espalhamento, o equacionamento proposto por Costa & Caldas<sup>4</sup> é acoplado ao modelo de Archer para a dedução de uma função paramétrica para a distribuição de espalhamento.

## Metodologia

Archer e col.<sup>2</sup> propõem a seguinte equação paramétrica para o ajuste da função de transmissão,  $B_{\alpha\beta\Gamma}(x)$ , de diversos materiais:

$$B_{\alpha\beta\Gamma}(x) = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) \exp(\alpha\Gamma x) - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\Gamma}} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde  $B_{\alpha\beta\Gamma}$  fornece o percentual de transmissão da radiação como função da espessura,  $x$ , do material sendo  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\Gamma$  constantes obtidas pela aplicação de um método de mínimos quadrados não-linear aos dados de atenuação.

Um modelo matemático para o cálculo da distribuição de radiação espalhada é proposto na referência 4. Este modelo tanto utiliza informações sobre o espectro de radiação incidente no meio espalhador como sobre a composição química ou o coeficiente de atenuação do meio. Deste modo, o modelo proposto é útil somente quando estas informações estão disponíveis. Contudo, na maioria dos casos, os materiais utilizados comercialmente são compostos por ligas ou misturas de elementos cuja formulação química não é divulgada pelos fabricantes. Assim, o equacionamento proposto na referência 4 será reescrito com auxílio do modelo analítico de Archer (Eq. 1) e toma a forma:

$$H(\theta) = \frac{r_0^2}{2} n_e A \int_0^{E_{\text{max}}} \int_0^{\sec\theta} B_{\alpha\beta\Gamma}(x-z) B_{\alpha\beta\Gamma}(z \sec\theta) \times (1 + \cos^2 \theta) F_{\text{KN}}(E, \theta) S(E, \theta, Z) dz dE \dots (\text{Eq. 2})$$

onde:  $r_0$  é o raio clássico do elétron,  $n_e$  a densidade eletrônica do material,  $A$  a área da seção transversal do feixe incidente,  $F_{\text{KN}}$  a função de Klein-Nishina,  $S(E, \theta, Z)$  a função de espalhamento incoerente, sendo  $Z$  o número atômico efetivo do material, e  $B_{\alpha\beta\Gamma}(x)$  a função de transmissão do material, conforme descrita acima. Os parâmetros geométricos  $x$ ,  $z$  e  $\theta$  estão descritos na referência 4.

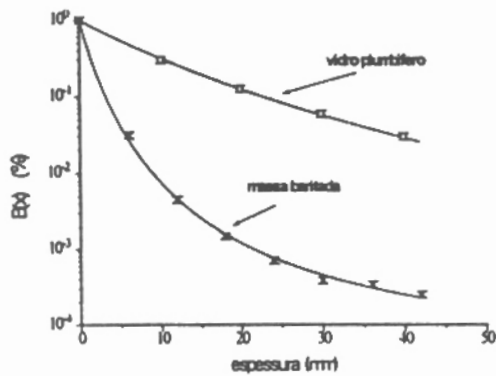


Figura 1 - Funções de transmissão,  $B_{\alpha\beta\Gamma}(x)$ , para vidro plumbífero e massa baritada e pontos experimentais utilizados para o cálculo dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\Gamma$  pelo modelo de Archer.

### Resultados Comparativos

*Simulações:* Para a simulação da Eq. 2 foi utilizado o software Mathcad 5.0 (MathSoft Inc.). Os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\Gamma$  foram obtidos a partir das curvas de transmissão dos materiais avaliados (Fig.1). Para a medição dessas curvas foi utilizado o equipamento radiológico trifásico do Laboratório de Ensaio em Equipamentos Eletromédicos do IEE/USP e uma câmara de ionização Radcal 10x5-6 acoplada a um monitor Radcal, modelo 9015. A geometria utilizada foi a de feixe estreito. Para o cálculo desses parâmetros, utilizou-se o programa original utilizado por Archer e col.<sup>3</sup>. Os valores obtidos para estes parâmetros estão apresentados na Tabela 1. A função  $H(\theta)$  foi, então, calculada utilizando estes valores de  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\Gamma$  para diferentes materiais e espectros incidentes.

Tabela 1 - Parâmetros para o modelo de Archer

MATERIAL	kVp	$\alpha$	$\beta$	$\Gamma$
Vidro plumbífero	100	0,028	0,105	0,300
Massa baritada	100	-0,173	1,153	0,199

*Experimento:* As medições da fração de espalhamento foram realizadas utilizando-se câmaras de ionização Radcal 10x5-6 e 10x5-1800 acopladas a monitores de radiação Radcal (modelos 1515 e 9015 respectivamente). Neste caso, novamente, o feixe de radiação-X foi gerado através do mesmo equipamento de raios-X utilizado na obtenção dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\Gamma$ . Detalhes da configuração geométrica utilizada estão apresentados na referência 4. A massa baritada e os vidros plumbíferos avaliados são materiais encontrados comercialmente e compunham-se, no primeiro caso, de placas de 6mm de espessura sobre madeira compensada e, no caso do vidro, em

placas de 10mm de espessura. Em ambos os casos, o material espalhador cobriu completamente o feixe incidente. A Fig. 2 apresenta os resultados comparativos para o vidro plumbífero.

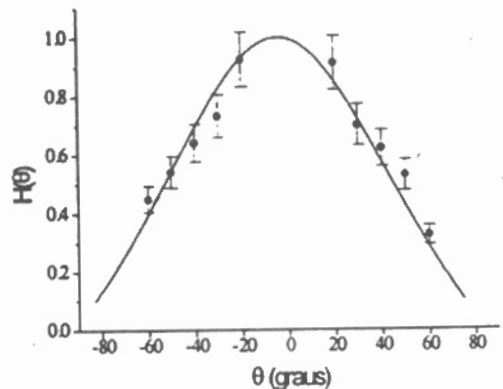


Figura 2 - Resultados comparativos entre o modelo teórico (curva contínua-normalizada) e os valores obtidos experimentalmente (pontos-normalizados) - Material estudado: vidro plumbífero.

### Discussão

As propriedades de espalhamento não têm sido consideradas como uma ferramenta adicional na escolha de materiais utilizados em dispositivos radioprotetores. Pela boa concordância entre os resultados previstos e os dados experimentais, apresentados na Fig. 2, pode-se concluir que o modelo proposto pode ser utilizado para a otimização de barreiras protetoras, através da análise de suas propriedades de espalhamento. Para isto, destaca-se a importância de medições sistemáticas dos parâmetros de implementação do modelo de Archer e col.<sup>3</sup> para a melhor caracterização de todos os materiais utilizados comercialmente no País.

### Referências

- ICRP Publication 60 - "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection". Pergamon Press, New York, 1990.
- ARCHER, B.R.; THORNBLY, J.I.; BUSHONG, S.C. - "Diagnostic X-ray Shielding Design Based on an Empirical Model of Photon Attenuation". Health Phys. 44:507-517, 1983.
- ARCHER, B.R.; FEWELL, T.R.; CONWAY, B.J.; QUINN, P.W. - "Attenuation Properties of Diagnostic X-ray Shielding Materials". Medical Phys. 21(9):1499-1507, 1994.
- COSTA, P.R.; CALDAS, L.V.E. - "Avaliação de Materiais Atenuadores: Modelo para Distribuição da Radiação Espalhada". Trabalho submetido ao III FNCTS, 1996.