

# Determinação das propriedades de transmissão de argamassas baritadas

## Determination of transmission properties of barite concretes

Paulo R. Costa, Elisabeth M. Yoshimura

Departamento de Física Nuclear do Instituto de Física da Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil

### Resumo

Uma das metodologias adotadas no NCRP 147 baseia-se no modelo publicado por Archer e col. onde, por uma formulação matemática, as características de transmissão à radiação X de diversos materiais atenuadores foram obtidas pelo ajuste de uma equação paramétrica utilizando um método não-linear de mínimos quadrados. No presente trabalho, o modelo adotado pelo NCRP 147 foi aplicado a um conjunto de cinco argamassas baritadas disponíveis no mercado brasileiro. É descrita, ainda, a metodologia experimental utilizada e são apresentadas as curvas de transmissão resultantes. Estas curvas de transmissão podem ser utilizadas diretamente para estimativa das espessuras de argamassa necessárias para a correta proteção de áreas externas a uma sala radiológica. Podem também ser combinadas a diferentes distribuições de cargas de trabalho para a geração de curvas de transmissão ponderadas semelhantes às apresentadas no NCRP 147 para materiais de blindagem utilizados nos Estados Unidos.

**Palavras-chave:** blindagem contra radiação; proteção radiológica; radiologia

### Abstract

One of the methods adopted by the NCRP 147 is based on a model published by Archer et. al. where, using a mathematical formulation, the x-ray transmission characteristics of several attenuation materials were obtained by fitting a parametric equation using a non-linear least-square method. In the present work, the model adopted by the NCRP 147 was applied to a set of five barite concretes available in the Brazilian market. The experimental methodology is described and the resulting transmission curves are presented. These transmission curves can be used for direct estimations of the thickness required for an adequate protection of the external areas of a radiological room. They can also be combined to different workload distributions for generating weighted transmission curves similar to the curves presented on NCRP 147 for the shielding materials used in United States.

**Keywords:** shielding against radiation; radiation protection; radiology.

### Introdução

Durante a década de noventa um grupo de trabalho formado pela *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM) e pelo *National Council on Radiation Protection* (NCRP), dos Estados Unidos, desenvolveu e aplicou novos métodos de avaliação das propriedades de atenuação dos materiais utilizados em radioproteção, de modo a atualizar os dados publicados anteriormente, em harmonia com a tecnologia moderna em Radiodiagnóstico. A nova versão desta norma<sup>1</sup> foi publicada no final do ano de 2004 e será denominada, neste texto, como NCRP 147.

Uma das metodologias adotadas no NCRP 147 baseia-se no modelo publicado, em 1983, por Archer e col.<sup>2</sup> onde, por uma formulação matemática, as características de transmissão à radiação X de diversos materiais atenuadores foram obtidas pelo ajuste de uma equação paramétrica utilizando um método não-

linear de mínimos quadrados. Esta comissão contou, ainda, com dados revisados, publicados em 1994 por Archer juntamente com pesquisadores do *Center for Devices and Radiological Health* do *Food and Drug Administration* (CDRH/FDA)<sup>3</sup>.

No presente trabalho, o modelo adotado pelo NCRP 147 foi aplicado a um conjunto de cinco argamassas baritadas disponíveis no mercado brasileiro. O presente trabalho descreve a metodologia experimental utilizada e apresenta as curvas de transmissão resultantes.

### Material e Métodos

#### O Modelo de Archer

O Modelo de Archer propõe a seguinte equação paramétrica para representar a transmissão por uma espessura  $x$  de um material submetido a um feixe largo de radiação X:

$$B^m(V, x) = \frac{K^m(V, x)}{K_0(V)} = \left[ \left( 1 + \frac{\beta^m(V)}{\alpha^m(V)} \right) e^{\alpha^m(V)\gamma^m(V)x} - \frac{\beta^m(V)}{\alpha^m(V)} \right]^{-\frac{1}{\gamma^m(V)}} \quad (1)$$

Onde  $K(V, x)$  é o kerma no ar por unidade de carga (mA.min) por semana a 1 metro da fonte de radiação, transmitido pela espessura  $x$  do material  $m$ , obtida aplicando-se um potencial  $V$  ao tubo;  $K_0(V)$  é o valor de  $K(V, x)$  sem que nenhum material atenuador intercepte o feixe e  $\alpha(V)$ ,  $\beta(V)$  e  $\gamma(V)$  são parâmetros determinados utilizando-se um método não-linear de mínimos quadrados. Esta metodologia mostrou-se de grande utilidade para os cálculos de barreiras e, após diversos estudos para sua validação<sup>4-8,123</sup>, tornou-se a base matemática para o NCRP 147.

A aplicação do Modelo de Archer para Cálculos de Barreiras depende fortemente do conhecimento do comportamento, em termos de atenuação à radiação, dos materiais empregados como blindagens estruturais. Archer e col.<sup>3</sup> realizaram um estudo detalhado de materiais utilizados para este fim nos Estados Unidos. Trabalhos semelhantes foram realizados anteriormente por um dos autores do presente trabalho, para estudar o comportamento de argamassas baritadas de diferentes fabricantes nacionais<sup>9</sup>, seguindo o método utilizado por Archer. No presente trabalho, parte do conjunto de medições realizado anteriormente foi revisto, visando à adequação da metodologia experimental e a garantia da obtenção de um conjunto de curvas de transmissão consolidadas.

**Medições das propriedades de transmissão**

O processo de medição realizado consistiu na obtenção de curvas e tabelas semelhantes às apresentadas no NCRP 147, porém utilizando-se dados de atenuação

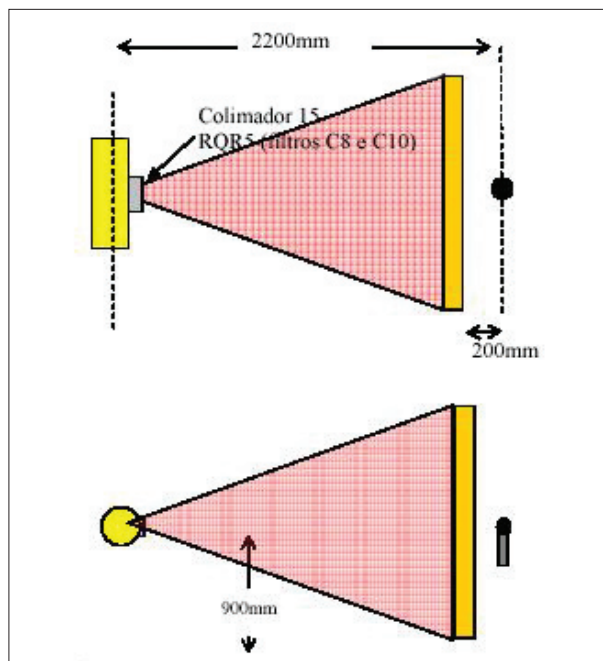


Figura 1. Geometria de medição usando a câmara de ionização.

obtidos para os materiais de radioproteção utilizados em nosso país.

Para isso, um cuidadoso processo de medição das propriedades de transmissão de materiais utilizados como revestimento de parede em salas de diagnóstico por imagens foi desenvolvido. Os materiais escolhidos são todos disponíveis comercialmente e os fabricantes destes materiais foram orientados a fornecerem amostras idênticas às normalmente utilizadas na prática comercial. Além disso, o processo de determinação experimental das propriedades de atenuação deve ser realizado em condições de feixe largo, o que requer amostras planas de dimensões grandes e diferentes espessuras. Assim, foram estimadas relações entre espessuras e dimensões lineares dos materiais que, ao mesmo tempo, permitissem medições em condições de feixe largo e a auto-sustentação dos materiais, que por sua porosidade, facilmente se rompem em casos de choques mecânicos. As etapas do processo de medição estão descritas a seguir.

Foram encaminhadas aos fabricantes de argamassas baritadas caixas de madeira com 75x75 cm<sup>2</sup>, com tampas removíveis através de parafusos, e pregos que serviram para dar fixação às argamassas, após secagem. As áreas úteis de argamassa internas a estas caixas foram de 70x70 cm<sup>2</sup>. As tampas foram revestidas com filme plástico para evitar a fixação das argamassas nas tampas e facilitar sua remoção. Isto também evita a deterioração das tampas de madeira devido à umidade das argamassas antes da secagem. As espessuras nominais previstas de argamassa foram de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 50 mm.

As caixas contendo as argamassas baritadas secas foram transportadas para o laboratório e posicionadas na frente do feixe de raios X, devidamente alinhado, para medições de transmissão da radiação. Para estas medições foi utilizado um conjunto formado por uma câmara de ionização e um monitor de radiação, ambos devidamente calibrados.

A geometria de medição utilizada para as avaliações com a câmara de ionização está apresentada, de forma simplificada, na Figura 1. A Figura 2 apresenta uma foto da montagem experimental utilizada para medição.

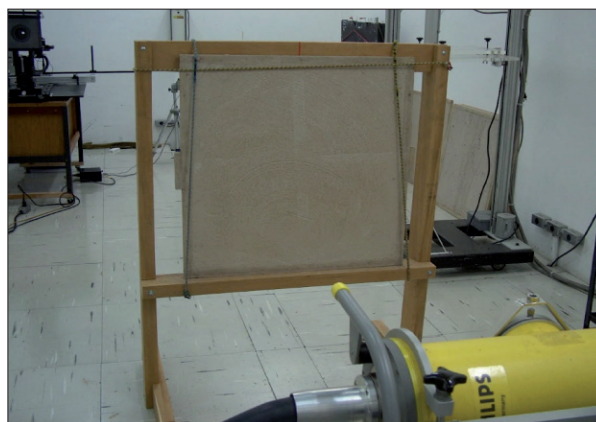


Figura 2. Posicionamento das argamassas baritadas para medição com a câmara de ionização.

Cada série de medições foi realizada selecionando-se o monitor de radiação para leituras em modo integrado e foram realizadas 5 medições para cada espessura de material e para cada tensão selecionada.

A faixa de tensões utilizadas nas medições com a câmara de ionização variou entre 40 e 150 kV, com intervalos de 5 kV. A corrente anódica selecionada foi de 22,5 mA e o tempo de exposição de 30 s, definindo um produto corrente-tempo de 675 mAs, mantido fixo para todas as medições. A filtração do feixe de radiação foi mantida constante em 2,5 mm Al, equivalendo a um feixe RQR-5<sup>10</sup>, ou seja, apresenta uma camada semi-redutora de 2,58 mmAl com coeficiente de homogeneidade de 0,71 quando o tubo é operado a uma tensão de 70 kV. A temperatura e a umidade relativa do ar também foram controladas durante as medições. Os equipamentos utilizados durante esta etapa de medição estão relacionados Tabela 1.

### Resultados

As medições de transmissão realizadas segundo descrito no item 2.1 foram ajustadas à equação 1 utilizando o método de mínimos quadrados não-linear. Os resultados desses ajustes geraram conjuntos de parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  para cada material avaliado e para cada valor de tensão utilizada durante os experimentos. As curvas de transmissão resultantes da aplicação da equação 1 utilizando-se os parâmetros de Archer obtidos para os cinco materiais estudados estão apresentadas na Figura 3.

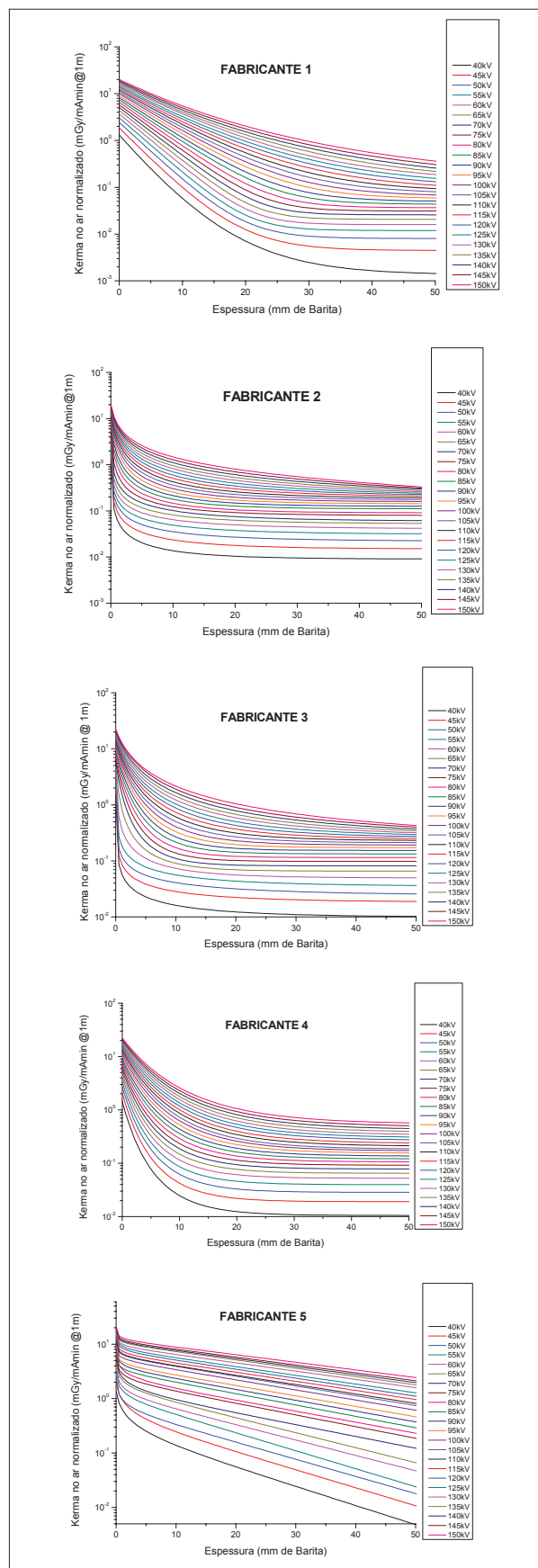
### Discussão e Conclusões

Os comportamentos relacionados à transmissão dos feixes de raios X para diferentes faixas de tensão foram estudados utilizando-se uma modelagem semelhante à desenvolvida para a estruturação da norma norte-americana NCRP 147. Para isso, o Modelo de Archer para a transmissão de feixes de raios X transmitidos através de materiais foi aplicado a dados experimentais obtidos em feixe largo com cinco argamassas baritadas disponíveis comercialmente.

A aplicação do Modelo de Archer considera a utilização de um método de mínimos quadrados não linear

**Tabela 1.** Equipamentos utilizados durante a etapa experimental do presente trabalho para determinação das propriedades de atenuação de materiais estruturais.

Equipamento	Marca	Modelo
Controle do tubo de raios X	Philips	MGC 40
Tubo de raios X	Philips	MCM 323
Câmara de ionização	Radcal	10X5-6
Monitor da câmara de ionização	Radcal	9095
Filtros de alumínio 1100	Nuclear associates	1100



**Figura 3.** Curvas de transmissão resultantes da aplicação da equação 1 utilizando-se os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  para os cinco fabricantes estudados.

para a obtenção de três parâmetros de ajuste à equação proposta no modelo. Estes parâmetros foram obtidos para todos os materiais cujos dados de transmissão foram medidos através de experimentos com espessuras de materiais variando entre 5 e 50 milímetros, utilizando-se diferenças de potencial entre 40 e 150 kV em intervalos de 5 kV.

As curvas de transmissão resultantes podem ser utilizadas diretamente para estimativa das espessuras de argamassa necessárias para a correta proteção de uma área externa a uma sala radiológica. Podem, ainda, ser combinadas a diferentes distribuições de cargas de trabalho para a geração de curvas de transmissão ponderadas semelhantes às apresentadas no NCRP 147 para materiais de blindagem utilizados nos Estados Unidos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao corpo técnico do IEE-USP pelo apoio durante a etapa de medição das curvas de transmissão. Agradecem, em especial, à colega Raquel Brás Brasil pelas contribuições durante as medições com as argamassas baritadas. Agradecem, ainda, o apoio do CNPq, através do convênio 311751/2006-7.

## Referências

1. National council on radiation protection and measurements. Structural Shielding Design for Medical X-ray Imaging Facilities. Bethesda, MD: NCRP Publications; 2004 (NCRP Report 147).
2. Archer BR, Thornby JI, Bushong SC. Diagnostic X-ray Shielding Design Based on an Empirical Model of Photon Attenuation. *Health Physics*. 1983;44(5):507-17.
3. Archer BR, Fewell TR, Conway BJ, Quinn PW. Attenuation properties of diagnostic x-ray shielding materials. *Medical Physics*. 1994;21(9):1499-507.
4. Dixon RL, Simpkin DJ. New Concepts for Radiation Shielding of Medical Diagnostic X-ray Facilities. In: Frey D, Spraws P, editors. The expanding role in medical physics in diagnostic imaging. Proceedings of the 1997 AAPM Summer School. Advanced Medical Publishing, Wisconsin, Madison; 1997.
5. Dixon R. On the primary barrier in diagnostic x-ray shielding. *Medical Physics*. 1994;21(11):1785-93.
6. Dixon RL, Simpkin DJ. Primary shielding barriers for diagnostic x-ray facilities: a new model. *Health Physics*. 1998;2(74):181-9.
7. Simpkin DJ. Transmission data for shielding diagnostic x-ray facilities. *Health Physics*. 1995;68:704-9.
8. Simpkin DJ, Dixon RL. Secondary shielding barriers for diagnostic x-ray facilities: scatter and leakage revisited. *Health Physics*. 1998;74(3):350-65.
9. De Paula FT, Nersissian DY, Costa PR. Estudo das propriedades de atenuação de argamassas baritadas utilizadas em proteção radiológica. XI Congresso Brasileiro de Física Médica, Ribeirão Preto; 2006.
10. International Electrotechnical Commission. Medical diagnostic X-ray equipment. Radiation conditions for use in the determination of characteristics. IEC standard 61267; 2005.