

# INFLUÊNCIA DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA CAMADA SEMI-REDUTORA EM RADIOLOGIA DIAGNÓSTICA\*

Marco Aurélio de Sousa Lacerda<sup>1</sup>, Teógenes Augusto da Silva<sup>2</sup>, Arno Heeren de Oliveira<sup>3</sup>

**Resumo** **OBJETIVO:** A análise crítica da metodologia de medida da camada semi-redutora em feixes de raios X teve como base o regulamento técnico para proteção radiológica e controle de qualidade em radiodiagnóstico médico e odontológico. **MATERIAIS E MÉTODOS:** Na medida da camada semi-redutora, a técnica radiográfica, o arranjo experimental, os meios espalhadores, a instrumentação, o tamanho de campo de radiação e a metodologia de análise dos dados foram considerados. **RESULTADOS:** A camada semi-redutora obtida em condições de boa geometria, para a técnica escolhida, foi de  $2,44 \pm 0,02$  mmAl. Em relação a este valor, observaram-se desvios máximos na camada semi-redutora de 4,1% na variação da geometria, de 98,8% na variação da câmara de ionização e do meio espalhador, e de até 29,5% com outro tipo de detector. **CONCLUSÃO:** Os resultados mostraram que não ocorre variação significativa na camada semi-redutora para diferentes tamanhos de campo de radiação, mas foram evidentes a influência do espalhamento na superestimação da camada semi-redutora e a redução desta na presença de blocos de chumbo como meio espalhador. O procedimento prático adotado mostrou-se bastante confiável e evidenciou a grande discrepância decorrente da adoção de metodologias impróprias, enfatizando a necessidade de estabelecer um procedimento padrão para a medida da camada semi-redutora.

*Unitermos:* Camada semi-redutora; CSR; Controle de qualidade; Radiologia diagnóstica.

**Abstract** *The methodology for evaluating half-value layer and its influence on the diagnostic radiology.*

**OBJECTIVE:** The critical analysis of the methodology for evaluating the x-ray beam half-value layer was based on technical standards for radiological protection and quality control in medical and dental diagnoses. **MATERIALS AND METHODS:** Exposure parameters, experimental set-up, scattering materials, instrumentation, size of radiation field and methodology of data analysis have been taken into consideration for measurements of half-value layer. **RESULTS:** The half-value layer, in good geometry, measured  $2.44 \pm 0.02$  mmAl. A maximum deviation of 4.1% was found under other geometry conditions. A 98.8% deviation was observed with a different ionization chamber, and scattering material, and 29.5% with another type of detector. **CONCLUSION:** Results showed that no relevant variation is observed in the half-value layer for different radiation field sizes. On the other hand, the influence of the radiation scattering on the half-value layer overestimation was clearly observed, as well as the half-value layer reduction in the presence of lead used as scattering material. The practical methodology adopted for half-value layer evaluation has shown to be quite reliable, besides evidencing remarkable discrepancies resulting from the adoption of inappropriate methodologies, emphasizing the necessity of establishing a standard procedure for measuring the half-value layer.

*Keywords:* Half value layer; HVL; Quality control; Diagnostic radiology.

## INTRODUÇÃO

A filtração do feixe de radiação produzido por um tubo de raios X reduz a exposição do paciente à radiação, ao remover,

preferencialmente, os fótons de baixa energia que em nada contribuem para a formação da imagem de interesse para diagnóstico. A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) estabeleceu um valor mínimo para a espessura da filtração total a ser adotada em feixes de raios X diagnóstico. Este valor não deve ser menor que 2,5 mm de alumínio (mmAl) — exceto para equipamentos de mamografia — e igual a 1,5 mmAl para raios X odontológicos de até 70 kV<sup>(1)</sup>. Os fabricantes de equipamentos de raios X devem assegurar que os re-

quisitos de filtração mínimos estabelecidos pela ICRP sejam atendidos.

O método mais empregado para inferir sobre a filtração total da máquina é o que relaciona essa filtração à qualidade do feixe de raios X, também denominada penetrabilidade ou poder de penetração do feixe, caracterizada numericamente pela camada semi-redutora (CSR). Vários autores apresentam correlações entre a CSR para um determinado potencial e a filtração total do tubo, também chamadas de diagramas de qualidade<sup>(2,3)</sup>. Como tais diagramas apresentam grandes discrepâncias entre si, devido aos diversos parâmetros que influenciam a correlação entre a CSR e a filtração total, a norma brasileira<sup>(4)</sup>, assim como

\* Trabalho realizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN/CNEN), Belo Horizonte, MG, Brasil.

1. Doutor em Ciências Nucleares, Assistente de Pesquisa do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN/CNEN), Belo Horizonte, MG, Brasil.

2. Doutor em Ciências – Engenharia Nuclear, Pesquisador Titular e Chefe de Divisão do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN/CNEN), Belo Horizonte, MG, Brasil.

3. Doutorado em Genie Atomique, Professor Adjunto do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço para correspondência: Prof. Dr. Teógenes Augusto da Silva. Avenida Presidente Antonio Carlos, 6627, Pampulha.

Belo Horizonte, MG, Brasil, 31270-901. Caixa Postal 941. E-mail: silvata@cdtn.br

Recebido para publicação em 22/12/2006. Aceito, após revisão, em 13/2/2007.

grande parte das normas técnicas de outros países, fixa apenas valores mínimos para a CSR, para determinadas tensões do tubo (kV) e número de fases que alimentam o gerador. Se tais valores mínimos são obtidos para a CSR, supõe-se a adequação da filtração total do feixe conforme especificado pela ICRP.

A CSR pode ser definida de maneira mais completa como a espessura de material absorvedor necessária para reduzir a intensidade do feixe de raios X a 50% do valor inicial, em condições de boa geometria. Essa condição implica uma configuração que minimize a influência do espalhamento, que tende a aumentar o valor da CSR. Nesse sentido, Farr<sup>(5)</sup> e Trout et al.<sup>(6)</sup> investigaram o efeito das variações do tamanho do campo de radiação e distâncias foco-filtro-detector na medida da CSR. Trout et al.<sup>(6)</sup> desenvolveram um método para determinar com precisão a CSR, para energias geradas por tensões de 100 kV a 300 kV, com base na extrapolação para o tamanho de campo nulo da curva CSR em função do tamanho do campo de radiação incidente no filtro.

Além da geometria, outras fontes de incertezas influenciam na medida da CSR, principalmente originadas pela dosimetria e metodologia de análise dos dados da atenuação do feixe<sup>(3,6-8)</sup>. Na adoção de uma determinada metodologia deve-se sempre levar em conta fatores técnicos, práticos e econômicos, mas a confiabilidade dela requer a fixação de todas as componentes de incerteza relevantes, obtidas a partir de uma criteriosa análise dos parâmetros de influência direta nas medidas.

Neste trabalho faz-se análise crítica da metodologia de medida da CSR em feixes de raios X diagnóstico, segundo a norma técnica publicada pelo Ministério da Saúde<sup>(4)</sup>. O trabalho identifica os parâmetros relevantes para a medida da CSR e as principais componentes de incerteza, de forma a assegurar a adequação do equipamento analisado aos padrões de desempenho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho experimental foi realizado em uma unidade de raios X VMI, modelo Pulsar 800 Plus, com gerador de alta frequência, anodo giratório de tungstênio de

16°, duplo foco (FF = 1,0 mm; FG = 2,0 mm). O equipamento apresenta linearidade da taxa de kerma no ar com a corrente e a carga inferiores a 0,01 e 0,02, respectivamente, exatidão e reprodutibilidade da tensão e tempo de exposição inferiores a 2,5%, reprodutibilidade da taxa de kerma no ar inferior a 2% e rendimento igual a  $(3,86 \pm 0,08) \times 10^{-2}$  mGy/mA.s, a 80 kV e 1 m.

A escolha da metodologia para a realização das medidas da CSR considerou a avaliação da técnica radiográfica, bem como do arranjo experimental, dos atenuadores, da instrumentação de medida, do tamanho do campo de radiação e do procedimento de análise dos dados da atenuação do feixe.

Para a escolha da técnica radiográfica, a American Association of Physicists in Medicine<sup>(9,10)</sup> recomenda que se use, para a determinação da CSR, potencial do tubo de 80 kV, corrente clinicamente utilizada entre 200 mA e 400 mA e tempo de exposição maior que 50 ms. Já o Instituto de Eletrotécnica e Energia<sup>(11)</sup> recomenda tensão do tubo de 80 kV e produto corrente pelo tempo de exposição de 20 mA.s, sugerindo que se realize o teste da reprodutibilidade da taxa de kerma no ar para verificar que corrente fornece valores mais reprodutíveis para o mesmo parâmetro. Tendo isto em conta, para este trabalho foi escolhida a técnica radiográfica com tensão de 80 kV, carga de 20 mA.s e corrente de 200 mA.

Os atenuadores utilizados foram feitos com uma chapa de alumínio do tipo comercial liga 1200 H14, de no mínimo 99% de alumínio e limites máximos estabelecidos pela NBR-7556<sup>(12)</sup>. As conclusões do trabalho de Piubelli<sup>(13)</sup>, que executou medidas comparativas da atenuação do feixe de raios X por placas comerciais e de alta pureza, e que mostraram diferença não-significativa para a qualidade do feixe empregada (< 0,1%), e o elevado custo das placas de alta pureza foram os principais motivos pela escolha do alumínio comercial. A espessura da chapa de alumínio com a respectiva tolerância, declarada pelo fabricante (Alcan, s.d.) era de  $0,50 \pm 0,04$  mm, que foi confirmada com medidas com um micrômetro Mitutoyo MFG digital realizadas em três pontos de cada placa, com um desvio máximo de 0,01 mm.

Para minimizar as incertezas causadas pelo arranjo experimental (geometria) e

pela dosimetria nas medidas a serem consideradas como referência, foi utilizada uma câmara de ionização da Radcal/MDH, modelo 10X5-6, que possui baixa dependência energética ( $\pm 3\%$  entre 30 keV e 150 keV) e pequeno volume de 6 cm<sup>3</sup>, acoplada a um eletrômetro Radcal/MDH modelo 9010. Seguindo recomendações para uma boa geometria<sup>(6,9,10,14,15)</sup>, a câmara foi posicionada a 100 cm do foco e a 30 cm dos meios espalhadores; as placas de alumínio foram dispostas a 50 cm do foco, igual à metade da distância foco-câmara.

As medidas de atenuação do feixe foram realizadas para três faixas de tamanho de campo incidentes na câmara de ionização: um menor de  $8 \times 8$  cm<sup>2</sup>, um intermediário de  $11 \times 11$  cm<sup>2</sup> e outro maior de  $14 \times 14$  cm<sup>2</sup>, com o objetivo de se obter, por meio de extrapolação, o valor correspondente ao campo nulo<sup>(6)</sup>.

A CSR foi determinada mediante ajuste exponencial dos quatro pontos da atenuação do feixe, vizinhos ao correspondente a 50% da intensidade inicial; assim, não utilizando a medida inicial sem atenuação do feixe, minimizou-se a incerteza decorrente da interpolação dos dados e da consideração da atenuação exponencial do feixe<sup>(16)</sup>.

A influência da geometria do arranjo experimental na determinação da CSR foi avaliada através de medidas com diferentes distâncias foco-placa (DFP) e foco-câmara (DFC), estando fixos os demais parâmetros. Para avaliação da influência da dosimetria na CSR, foram realizadas, adicionalmente, medidas com câmaras de ionização de diferentes formas e volumes de 11 cm<sup>3</sup>, 60 cm<sup>3</sup> e 180 cm<sup>3</sup>, acopladas aos eletrômetros Radcal/MDH modelos 3036 e 9010, de características distintas; medidas com dois outros tipos de detectores — canetas dosimétricas Dosimeter modelo 862L e dosímetros termoluminescentes de fluoreto de lítio (TLD-100) da Harshaw/Bicron Chemical Company — também foram realizadas. As diferentes câmaras e detectores foram posicionados livres no ar, sobre blocos de 8 cm de chumbo e camadas de 30 cm de papel, para a análise da influência dos meios espalhadores.

As componentes de incerteza na determinação da CSR foram estimadas seguindo as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas<sup>(17)</sup>. Para a incer-

teza do tipo A, consideraram-se o desvio-padrão para os três ensaios realizados e o desvio-padrão do valor previsto da CSR no ajuste. Para a incerteza do tipo B, foram consideradas como fontes de incertezas a dependência energética, a resolução, as correções de temperatura e pressão, a calibração e geometria de posicionamento dos dosímetros e a espessura e pureza das placas de alumínio. A combinação quadrática desses componentes de incertezas forneceu a incerteza padrão combinada, que multiplicada pelo fator de abrangência  $k = 2$ , forneceu a incerteza expandida.

Com o objetivo de verificar a adequação do equipamento aos padrões de desempenho estabelecidos pela norma nacional<sup>(4)</sup>, em uma faixa de abrangência maior, em termos de tensão de pico, foram determinadas as CSR para as tensões de 60 kV, 100 kV e 110 kV. Foram utilizados os mesmos parâmetros radiográficos de 20 mA.s e 200 mA, câmara de ionização Radcal/MDH 10X5-6 e condições de geometria de DFC = 100 cm e DFP = 50 cm, empregados para a determinação do valor ótimo da CSR.

**RESULTADOS**

Os valores da CSR para os campos de radiação de  $8 \times 8 \text{ cm}^2$ ,  $11 \times 11 \text{ cm}^2$  e  $14 \times 14 \text{ cm}^2$ , obtidos com a câmara de  $6 \text{ cm}^3$ , em condições de boa geometria, são apresentados na Tabela 1. Os valores das CSR variaram de 2,44 mAl a 2,45 mAl, com incertezas de 0,8% a 1,2% representadas pelo desvio-padrão.

**Tabela 1** Valores médios de CSR para diferentes tamanhos de campo de feixes de raios X, em condições de boa geometria.

Tamanho de campo (cm x cm)	CSR* (mAl)
8 x 8	2,44 ± 0,02
11 x 11	2,44 ± 0,03
14 x 14	2,45 ± 0,03

\* Incerteza referente a um desvio-padrão.

A influência na CSR das condições de geometria foi estudada por meio de diferentes combinações de DFC e DFP, que variaram de 30 cm a 100 cm. Os valores da CSR, encontrados para várias combinações, com o respectivo desvio-padrão, são compara-

**Tabela 2** Valores da CSR para diferentes distâncias foco-câmara e foco-placa e desvio-padrão em relação à “condição ótima”, na técnica de 80 kV, 200 mA, 20 mA.s.

DFC (cm)	DFP (cm)	CSR* (mAl)	DP (%)
100	70	2,49 ± 0,03	2,1
100	60	2,49 ± 0,02	2,1
100	50	2,44 ± 0,02	—
100	40	2,43 ± 0,03	-0,4
100	30	2,43 ± 0,01	-0,4
90	70	2,50 ± 0,02	2,5
90	60	2,48 ± 0,02	1,6
90	50	2,47 ± 0,02	1,2
90	30	2,46 ± 0,03	0,8
80	70	2,54 ± 0,02	4,1
80	60	2,47 ± 0,02	1,2
80	50	2,46 ± 0,01	0,8
80	40	2,44 ± 0,02	0,0
80	30	2,44 ± 0,01	0,0
70	60	2,54 ± 0,03	4,1
70	50	2,47 ± 0,02	1,2
70	40	2,43 ± 0,02	-0,4
70	30	2,41 ± 0,02	-1,2
60	50	2,51 ± 0,02	2,9
60	40	2,44 ± 0,02	0,0
60	30	2,41 ± 0,02	-1,2
50	40	2,48 ± 0,03	1,6
50	30	2,42 ± 0,03	-0,8
40	30	2,49 ± 0,03	2,1

\* Incerteza referente a um desvio-padrão. DFC, distância foco-câmara; DFP, distância foco-placa; DP, desvio-padrão.

dos com o valor encontrado na condição de boa geometria para as medidas (Tabela 2). O desvio máximo encontrado foi de 4,1%.

A influência do procedimento de dosimetria na medida da CSR foi investigada com câmaras de ionização de diferentes volumes conectadas a eletrômetros e posicionadas no ar e sobre meios espalhadores distintos (ar, chumbo, papel, mesa). Os valores médios obtidos para a CSR, com os respectivos desvios-padrão, são apresentados na Tabela 3. Nas medidas com o eletrômetro 9010, a CSR apresentou um desvio de até 7,8%, na presença do papel como meio espalhador, em relação ao valor na condição de boa geometria. Para o modelo 3036, o desvio máximo foi de 98,8%, nas mesmas condições.

Na Tabela 4 são comparados os valores médios da CSR, com os respectivos desvios-padrão, quando se utilizam caneta dosimétrica e dosímetro termoluminescente

(TLD-100) na presença dos meios espalhadores. As tabelas apresentam, ainda, os desvios em relação à condição ótima, considerada aquela realizada com a câmara 10X5-6 posicionada livre no ar na geometria padrão. O desvio máximo no valor da CSR foi de 29,5%, na medida com a caneta dosimétrica, com papel como meio espalhador.

A Figura 2 ilustra a relação CSR versus tensão de pico, para os valores mínimos estabelecidos pelo Ministério da Saúde<sup>(4)</sup>, em comparação aos valores obtidos no presente trabalho. Nesta comparação são consideradas as componentes de incerteza mais relevantes no procedimento de medida da CSR, bem como os valores estimados e propagados para o valor da CSR, e são mostrados na Tabela 5. Assim, a incerteza expandida no valor da CSR, considerando  $k = 2$ , para um intervalo com nível de confiança de 95%, é igual a 3,7%.

**DISCUSSÃO**

**A CSR em condições de boa geometria**

As medidas da CSR nas condições de boa geometria (Tabela 1) não mostraram variação dos valores com o tamanho do campo de radiação, não evidenciando a suposta tendência de diminuição da CSR para o campo nulo, mencionada por Trout et al.<sup>(6)</sup>. Assim, não há necessidade de se realizar medidas com vários tamanhos de campo para a determinação da CSR, podendo-se adotar um tamanho de campo intermediário, que cubra com pequena folga todo o volume sensível da câmara de ionização. Com relação ao número de medidas, pode-se, por praticidade, realizar apenas uma medida, considerando, para cada ponto, o valor médio de três disparos do equipamento.

**Influência da geometria na CSR**

Os resultados da análise da influência da geometria na CSR (Tabela 2) evidenciam que, para uma mesma DFC, os valores das CSR encontradas tendem a diminuir à medida que a DFP diminui em relação à distância placa-câmara (DPC), apresentando o desvio máximo de 4,1% quando essa relação é máxima (DPC = 10 cm). Neste caso, fica clara a influência do espalhamento na superestimação da CSR.

**Tabela 3** Valores da CSR obtidos com câmaras de diferentes volumes e formas, acopladas a diferentes eletrômetros, posicionadas no ar e sobre diferentes meios espalhadores.

Câmara	Eletrômetro	Meio espalhador	CSR* (mmAl)	DP (%)
10X5-6	9010	Ar	2,44 ± 0,02	—
		Chumbo	2,43 ± 0,02	-0,4
		Papel	2,54 ± 0,03	4,1
		Mesa	2,46 ± 0,02	0,8
10X5-60	9010	Ar	2,50 ± 0,03	2,5
		Chumbo	2,47 ± 0,03	1,2
		Papel	2,63 ± 0,03	7,8
		Mesa	2,54 ± 0,02	4,1
10X5-180	9010	Ar	2,58 ± 0,04	5,7
		Chumbo	2,59 ± 0,03	6,2
		Papel	2,72 ± 0,04	11,5
10X5-6	3036	Ar	2,43 ± 0,02	—
		Chumbo	2,40 ± 0,03	1,3
		Papel	2,55 ± 0,03	4,9
		Mesa	2,46 ± 0,03	1,2
30X6-11	3036	Ar	2,52 ± 0,02	3,7
		Chumbo	2,51 ± 0,02	3,3
		Papel	2,58 ± 0,03	6,2
		Mesa	2,54 ± 0,02	4,5
10X5-60	3036	Ar	2,69 ± 0,02	10,7
		Chumbo	2,65 ± 0,03	9,1
		Papel	2,87 ± 0,03	18,1
		Mesa	2,73 ± 0,02	12,4
10X5-180	3036	Ar	4,15 ± 0,04	70,8
		Chumbo	4,18 ± 0,05	72,0
		Papel	4,83 ± 0,05	98,8

\* Incerteza referente a um desvio-padrão. DP, desvio-padrão.

**Tabela 4** Valores da CSR obtidos com canetas dosimétricas e detectores TLD-100 posicionados no ar e sobre diferentes meios espalhadores, comparados com a condição ótima.

Dosímetro	Meio espalhador	CSR (mmAl)	DP (%)
Câmara de ionização	Ar	2,44 ± 0,02	—
Caneta dosimétrica	Ar	2,76 ± 0,25	13,1
	Chumbo	2,71 ± 0,26	11,1
	Papel	3,16 ± 0,29	29,5
	Mesa	3,07 ± 0,25	25,8
TLD-100	Ar	2,38 ± 0,15	-2,5
	Chumbo	2,52 ± 0,13	3,3
	Papel	2,66 ± 0,16	9,0

DP, desvio-padrão.

**Tabela 5** Fontes de incerteza mais relevantes na determinação da CSR.

Fonte de incerteza	Incerteza (%)
Repetibilidade das medidas (desvio-padrão)	0,80
Ajuste dos pontos da curva de atenuação	0,30
Tamanho do campo de radiação	0,20
Posição da câmara de ionização e atenuadores	0,10
Calibração do dosímetro	0,30
Resolução do instrumento	0,01
Dependência energética da câmara de ionização	1,10
Correção de temperatura e pressão	0,30
Espessura dos atenuadores	1,10
Pureza dos atenuadores	0,30

A Tabela 2 permite também deduzir que a determinação da CSR pode ser feita com boa exatidão para DFC de 50–100 cm e relação DFP/DPC entre 50% e 30%. Esta dedução para distâncias menores que 70 cm contradiz as recomendações de Trout et al.<sup>(6)</sup> e da maioria dos protocolos estudados<sup>(9,11,14)</sup>. Uma explicação que poderia ser dada para esse fato é que o clássico trabalho de Trout et al.<sup>(6)</sup>, a qual se baseia também os referidos protocolos, foi feito para raios X da ordem de 250 kV (fins de terapia), cerca de três vezes superior ao estudado nos presentes ensaios (80 kV). Ou seja, para esta faixa de energia, a influência do espalhamento tende a ser menor, não afetando significativamente os resultados. Outra explicação seria as diferentes características dos geradores e câmaras utilizadas no trabalho de Trout et al.<sup>(6)</sup> e no presente trabalho, consequência do avanço tecnológico ocorrido nas últimas quatro décadas.

#### Influência da dosimetria na CSR

Os resultados da análise da influência do procedimento de dosimetria nos valores da CSR mostram que, para ambos os eletrômetros, à medida que se aumenta o volume das câmaras, o valor da CSR aumenta, devido à maior sensibilidade ao espalhamento das câmaras de maior volume (Tabela 3). A diferença significativa na CSR, nas medidas efetuadas com as câmaras de maior e mesmo volume, porém conectadas aos diferentes eletrômetros, é explicada pela influência da eletrônica mais sofisticada do eletrômetro 9010 em relação ao modelo 3036. Pode-se concluir que o conjunto eletrômetro-volume das câmaras de ionização influi significativamente na determinação da CSR, sugerindo-se utilizar sempre câmaras de pequeno volume (para diminuir a influência do espalhamento), acopladas a eletrômetros com eletrônica apropriada, para diminuir os erros decorrentes principalmente do ruído.

A influência da presença de materiais espalhadores foi analisada com os resultados apresentados na Tabela 3. Observa-se que o chumbo colocado abaixo das câmaras diminuiu o valor da CSR para as câmaras 10X5-6, 10X5-60 e 30X6-11, evidenciando uma diminuição da radiação espalhada detectada pelo dosímetro. Isso pode ser explicado pelo elevado número atômico

do chumbo, que para a faixa de energia estudada, favorece a supremacia do efeito fotoelétrico sobre o espalhamento Compton, diminuindo assim a quantidade de radiação espalhada sobre o detector.

Os resultados também mostram um aumento dos valores da CSR, com as câmaras posicionadas sobre camadas de papel, o que evidencia também a influência do espalhamento na superestimação da CSR. Além disso, pode-se constatar que esse aumento torna-se mais significativo à medida que se utilizam câmaras de ionização de maior volume, devido à maior sensibilidade destas.

Os valores da CSR encontrados para as câmaras posicionadas sobre a mesa de exames mostraram um pequeno aumento, sensivelmente menor que o encontrado para as mesmas câmaras posicionadas sobre camadas de papel. Isto mostra a influência da densidade do meio espalhador na quantidade de radiação espalhada detectada pelo dosímetro.

Diante do exposto, conclui-se basicamente que: a) a utilização de blocos de chumbo abaixo das câmaras de ionização é uma excelente alternativa para diminuir a influência do espalhamento na determinação da CSR; b) a utilização de uma câmara de pequeno volume ( $\leq 6 \text{ cm}^3$ ) posicionada sobre a mesa de exames ou sobre os mesmos blocos de chumbo pode fornecer resultados confiáveis para a determinação da CSR.

A Tabela 4 mostra, também, que os valores encontrados para a CSR, utilizando-se canetas dosimétricas posicionadas no ar, foram maiores que aqueles encontrados para a câmara de ionização nas mesmas condições (valor ótimo). Isto é decorrente da diferença de inclinação das curvas de atenuação do feixe (Figura 1) causada pela maior dependência energética da caneta dosimétrica em relação à câmara de ionização. Nota-se, também, que os resultados com a caneta dosimétrica e os TLD-100 apresentaram incertezas (desvio-padrão) bem maiores do que as encontradas na “condição ótima”, causadas tanto pela maior dependência energética destes detectores, como também pela baixa resolução da caneta dosimétrica.

Pode-se concluir que não se deve usar canetas dosimétricas para a determinação

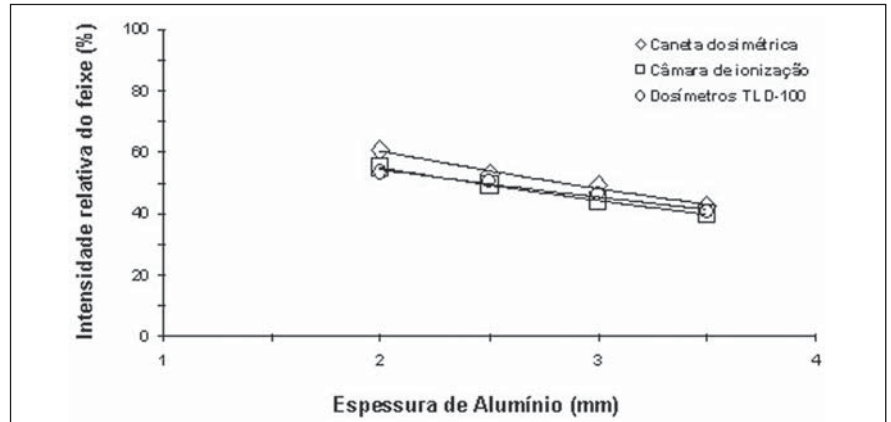


Figura 1. Curvas de atenuação do feixe de raios X obtidas em um ensaio, para diferentes tipos de dosímetros.

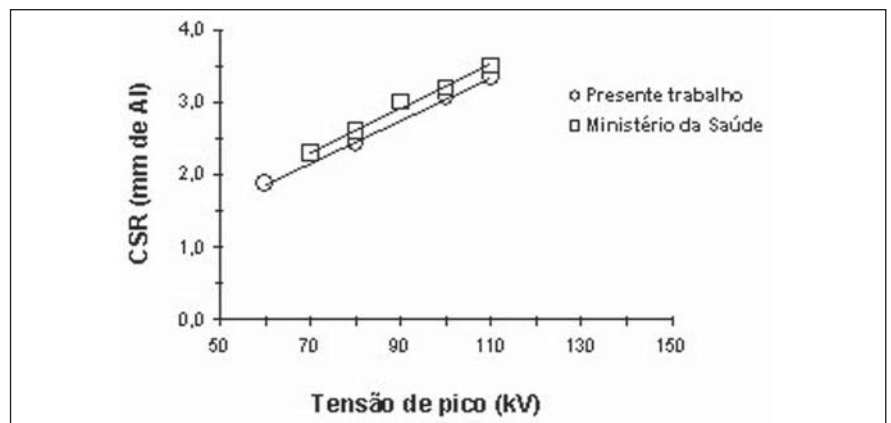


Figura 2. Relação entre a CSR e a tensão de pico para os padrões legais do Ministério da Saúde, comparada com os resultados do presente trabalho.

da CSR, devido às elevadas incertezas nos valores medidos, decorrentes, principalmente, da elevada dependência energética. No caso dos TLD-100, não se recomenda também a sua utilização para a determinação da CSR, devido: a) à magnitude das incertezas decorrentes da alta sensibilidade desses dosímetros a tratamentos térmicos, manuseio e contaminação química; b) à maior dependência energética; c) às dificuldades práticas e econômicas.

### Conformidade dos valores da CSR

A comparação dos valores da CSR obtidos neste trabalho com os valores mínimos estabelecidos pelo Ministério da Saúde<sup>(4)</sup> (Figura 2) mostraram que, para todas as faixas de tensões analisadas, estes estão cerca de 7% maiores do que aqueles. Isto mostra que a unidade de raios X utilizada não está em conformidade com os padrões de desempenho estabelecidos pela autori-

dade reguladora, mesmo considerando a incerteza de cerca de 4% encontrada para o valor da CSR. Evidencia-se que a dependência energética dos dosímetros, a espessura dos atenuadores e a repetibilidade das medidas foram as fontes de incertezas que mais contribuíram para a incerteza na medida da CSR.

### CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou a viabilidade de um procedimento prático para a determinação da CSR em radiologia diagnóstica, em que se destaca a utilização de uma câmara de ionização de pequeno volume e baixa dependência energética, e de uma condição ótima de geometria para reduzir a influência da radiação espalhada.

Os resultados das medidas da CSR atestaram a confiabilidade metrológica do procedimento prático, evidenciando também

as grandes discrepâncias decorrentes da adoção de metodologias impróprias e afirmando a necessidade da fixação dos principais parâmetros de influência e do estabelecimento de um procedimento padrão.

Considera-se que a análise crítica do teste da CSR, parte do programa de controle de qualidade em radiodiagnóstico, foi realizada de forma detalhada, permitindo a confiança nos resultados obtidos e a segurança de declarar uma unidade de raios X conforme ou não-conforme com os requisitos legais.

Algo similar deveria ser feito em relação a todos os outros testes do programa de qualidade<sup>(4)</sup>, de maneira a padronizar os procedimentos, contribuindo assim para a adoção de padrões de desempenho adequados e de acordo com a realidade do país.

#### REFERÊNCIAS

1. International Commission on Radiological Protection. Protection of the patient in diagnostic radiology. ICRP Publication 34. New York, NY: Pergamon Press, 1982.
2. Trout ED, Kelley JP, Furno EJ. A study of the inherent filtration of diagnostic X-ray tubes. *Radiology* 1956;66:102-106.
3. Nagel HD. Limitations in the determination of total filtration of x-ray tube assemblies. *Phys Med Biol* 1988;33:271-289.
4. Ministério da Saúde. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Portaria nº 453. Diário Oficial da União, 2 de junho de 1998.
5. Farr RF. The specification of roentgen ray output and quality. *Acta Radiol* 1955;43:152-160.
6. Trout ED, Kelley JP, Lucas AC. Determination of half-value layer. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1960;84:729-740.
7. Wagner LK, Archer BR., Cerra F. On the measurement of half-value layer in film-screen mammography. *Med Phys* 1990;17:989-997.
8. Sunde PB. Specification and selection of dosimetry instrumentation for diagnostic radiology. *Radiat Prot Dosim* 1992;43:183-186.
9. American Association of Physicists in Medicine. Performance acceptance testing for X-ray generators and automatic exposure control devices. AAPM Report 14. New York, NY: American Institute of Physics, 1985.
10. American Association of Physicists in Medicine. Protocols for the radiation safety surveys of diagnostic radiological equipment. AAPM Report 25. New York, NY: American Institute of Physics, 1988.
11. Instituto de Eletrotécnica e Energia. Procedimentos para testes de estado: equipamentos de raios X. IEE. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1999.
12. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Chapas de alumínio e suas ligas – especificação. NBR 7556. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000.
13. Piubelli SL. Influência da pureza de absorvedores comerciais na determinação da energia efetiva e da camada semi-redutora para feixes de 24 a 50 kV, e propagação do erro para a taxa de exposição. (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal Fluminense, 1989.
14. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Controle de qualidade em radiodiagnóstico. Protocolos IRD. Rio de Janeiro, RJ: Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 2000.
15. International Commission on Radiation Units and Measurements. Recommendations of the International Commission on Radiation Units and Measurements. Physical Aspects of Irradiation. Report 10b, 1962.
16. Lacerda MAS. Análise crítica da medida da camada semi-redutora em radiologia diagnóstica. (Dissertação de Mestrado). Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.
17. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Guia para expressão da incerteza de medição. 2ª ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, Inmetro, 1998.