

## Utilização do filme radiocrômico para registro da variação do perfil de dose em varredura de TC de tórax

Radiochromic film use to record dose profile variations in chest CT scan  
Arnaldo P. Mourão<sup>1,2</sup>, Priscila C. Santana<sup>2</sup>, Teógenes A. DaSilva<sup>3</sup>, Thessa C. Alonso<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Engenharia Biomédica, CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Nuclear, UFMG, Belo Horizonte, Brasil

<sup>3</sup>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, CNEN, Belo Horizonte, Brasil

### Resumo

Os exames de tomografia computadorizada geram doses mais elevadas em paciente do que aquelas causadas por outras modalidades de radiologia diagnóstica que utilizam a atenuação do feixe de raios X. Os avanços tecnológicos têm aumentado as aplicações diagnósticas das imagens de tomografia computadorizada (TC) e conseqüentemente a demanda por esses exames. Estratégias para a redução da dose são difíceis de implementar por causa da falta de orientação adequada sobre os exames de tomografia computadorizada. No entanto, a TC oferece a possibilidade de uma adaptação dos parâmetros de aquisição das imagens de acordo com o perfil físico do paciente e a aplicação de diagnóstico para a qual se destina a varredura. O conhecimento da distribuição da dose é importante quando se pensa em variar os parâmetros de aquisição visando a redução da dose. Neste trabalho foi utilizado um simulador de tórax de PMMA para observar a deposição de dose em cinco regiões. Tiras de filme radiocrômico foram posicionados no interior do objeto simulador de tórax, na periferia e na região central. Após o posicionamento do objeto no isocentro do tomógrafo foi realizada uma varredura da sua região central utilizando um protocolo para tórax. Após a varredura o objeto simulador, as tiras irradiadas foram digitalizadas. As imagens digitais foram retrabalhadas para obter os perfis de variação de dose para cada posição. Os resultados obtidos demonstraram uma grande variação na dose absorvida pelo objeto simulador, tanto dentro de uma mesma posição ao longo do comprimento da tira de filme, como na comparação entre as cinco regiões nas quais foram posicionadas as tiras. Neste segundo caso as variações de dose foram ainda maiores.

**Palavras-chave:** tomografia computadorizada; raios X; dosimetria; imagem diagnóstica.

### Abstract

*The CT scans generate higher doses in patients than those caused by other types of diagnostic radiology using the attenuation of X-ray beams. Technological advances have increased the clinical applications of computed tomography (CT) and consequently the demand for these exams. Dose reduction strategies are difficult to implement because of a lack of proper guidance on the CT scanning. However, CT offers the possibility of adjusting the image acquisition parameters according to the patient physical profile and the diagnostic application for which it is intended to scan. Knowledge of the dose distribution is important when thinking about varying the acquisition parameters to reduce the dose. In this work was used a PMMA chest phantom to observe the dose deposition in 5 areas. Radiochromic film strips were placed inside the chest phantom, in peripheral and in the central region. The phantom was placed in the scanner isocenter and it was performed the irradiation of its central region using a chest acquisition protocol. After the phantom CT scan the radiochromic film strips were processed for obtaining digital images. Digital images were reworked to obtain the dose variation profiles for each position. The results showed a wide variation in absorbed dose by the phantom, either within a same position along the length of the film strip, as in the comparison among the five regions which the strips are placed. In this second case the dose variations were even greater.*

**Keywords:** computed tomography; X-ray radiation; dosimetry; diagnostic image.

### 1. Introdução

A tecnologia dos aparelhos de tomografia computadorizada (TC) teve um grande desenvolvimento desde o início da década de 1970. Esta evolução que permite a aquisição de dados em varreduras helicoidais com arcos multidetectores (MDCT) revolucionou o papel da imagem no diagnóstico médico. O estado da arte dos aparelhos de TC permite fornecer diagnósticos através de imagens livres de artefatos em varreduras de corpo inteiro em menos de 5 s.

Essas varreduras fornecem imagens *in vivo* que têm informações semelhantes àquelas que poderiam ser obtidas por inspeção visual em dissecação anatômica.

Os exames podem ser realizados rapidamente, com um mínimo de preparo do paciente em praticamente todos os tipos de situações clínicas. Há restrições mínimas impostas por dispositivos médicos implantados ou equipamento de monitorização médica. Os exames de TC são bem aceitos pelos pacientes e médicos, pois são

exames exigem uma cooperação mínima do paciente, apresentam um desconforto pequeno e geralmente são exames precisos. Estas condições promovem a cada ano um aumento significativo no número de exames de TC<sup>1</sup>.

Normas para dosimetria em radiologia foram lançadas durante a Conferência de Málaga, em 2001, que visam à proteção contra as radiações de pacientes submetidos a exames de diagnóstico ou terapia, tanto da radioterapia quanto do radiodiagnóstico e da medicina nuclear. A utilização das radiações ionizantes na medicina têm crescido devido aos benefícios associados a ela e ao seu desenvolvimento tecnológico, tais como a aplicação de novos radiofármacos, as imagens radiográficas digitais e as novas gerações de tomógrafos<sup>2</sup>.

Atualmente, os aparelhos de tomografia computadorizada (TC) utilizados em serviços de radiodiagnóstico permitem varreduras axiais, helicoidais e helicoidais multicortes. A variedade de fabricantes, os diferentes tipos de tubos de raios X, os diferentes valores de corrente, tempos de rotação do tubo etc., faz com que cada serviço, independentemente do tipo de aparelho utilizado, adote seus próprios protocolos de aquisição de imagens, e esta é a principal razão existente entre os protocolos de aquisição de imagem<sup>3</sup>.

Muitos países introduziram na sua legislação a obrigação de comunicar as doses recebidas pelos pacientes submetidos a exames de radiodiagnóstico. A legislação brasileira estabelece níveis de referência de diagnósticos (NRD) somente em termos de dose média multicorte (MSAD) de 50 mGy para a cabeça, 35 mGy para a coluna lombar e 25 mGy para o abdômen e tórax, considerando um paciente adulto típico<sup>4</sup>.

Como parte de um programa de otimização, os NRD devem ser usadas para o controle de qualidades das varreduras de TC para rever e ajustar procedimentos e técnicas quando as doses excederem aos limites especificados no Brasil (1998). Valores de NRD foram adotados a partir de recomendações internacionais da AIEA (1996), e eles podem não representar as condições reais dos exames no Brasil<sup>5</sup>.

No estado de Minas Gerais, testes de controle de qualidade de aparelhos de TC têm sido obrigatórios desde 01 de julho de 2009, mas uma melhor compreensão da metodologia para realizar tais testes ainda é necessária<sup>6</sup>. Neste trabalho, as medições experimentais foram realizadas em um objeto simulador de tronco em PMMA e a dosimetria foi realizada utilizando filmes radiocrômicos para obter os perfis de doses geradas por um aparelho de TC. A varredura foi realizada utilizando um protocolo de aquisição para o tórax para paciente adulto.

## 2. Materiais e Métodos

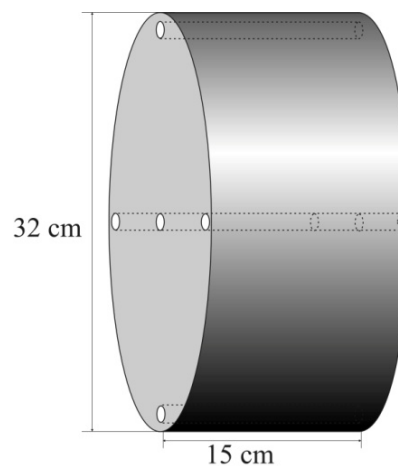
O experimento para a observação do perfil de variação de dose foi realizado em um tomógrafo de GE, modelo Discovery de 64 canais. Os

parâmetros do protocolo de varredura são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros do Protocolo de Varredura

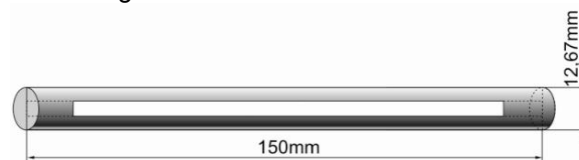
Tensão (kV)	Carga (mAs)	distância (cm)	Espessura do feixe (cm)	Pitch
120	100	10	4	0,984

Foi realizada a varredura de um objeto simulador de tórax e as tiras de filme radiocrômico estavam posicionadas no seu interior. O objeto simulador é um cilindro de PMMA com 320 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento. Este cilindro possui cinco furos paralelos de 12,67 mm de diâmetro, ao longo do eixo longitudinal, sendo um no centro e quatro na periferia defasados de 90° e com o centro distanciado de 10 mm da borda<sup>9</sup>. A Figura 1 apresenta as dimensões do objeto simulador.



**Figura 1.** Objeto simulador de tórax em PMMA.

Os furos do objeto simulador foram preenchidos com tarugos de PMMA, desenvolvidos para o carregamento das tiras de filme radiocrômico, de modo a permitir o registro do perfil da dose absorvida no interior do objeto simulador, conforme ilustra a Figura 2.



**Figura 2.** Tarugo de PMMA para acomodação de filme.

Após o carregamento das tiras de filme no objeto simulador este foi posicionado no isocentro do tomógrafo e foi realizada uma varredura de 10 cm na região central do mesmo. Desta forma, objeto simulador foi irradiado e o filme radiocrômico registrou as doses.

O filme radiocrômico do tipo *GAFCHROMIC XRQA2* fabricado pela empresa *International Specialty Products* foi seccionado em tiras de 8x125 mm. A calibração dos filmes foi realizada na radiação de referência para TC (RQT9) definida

pela norma 61267 da IEC (*International Electrotechnical Commission*). Os filmes foram irradiados com doses entre 5,0 mGy e 30,0 mGy e uma curva de calibração foi obtida afim de converter o escurecimento do filme em valores de dose absorvida<sup>7,8</sup>.

Após 24 horas da irradiação das tiras e o consequente escurecimento das mesmas, foram obtidas imagens digitalizadas com o auxílio de um scanner. As imagens coloridas das tiras foram obtidas numa resolução de 300 ppi utilizando o modo de reflexão do scanner.

O software imageJ foi utilizado no processamento das imagens dos filmes radiocrômico. Com o auxílio deste software foi feita a separação das cores em RGB (*Red, Green and Blue*). Apenas a intensidade da componente vermelha (R) foi utilizada e relacionada para obter-se a dose absorvida. A Figura 3 apresenta imagens das tiras do filme radiocrômico.



Figura 3. Imagens da tira de filme radiocrômico. Tira irradiada (a) e imagem processada (b).

Uma tira de filme, pertencente ao conjunto de tiras utilizadas, não foi exposta durante a varredura do objeto simulador. A imagem digitalizada dessa tira também foi processada e o valor de escurecimento da sua imagem foi subtraído dos valores obtidos nas tiras irradiadas. Para a obtenção das curvas em escala de cinzas foram selecionadas três regiões subsequentes nas proximidades de eixo central e cada valor obtido corresponde à média dessas três medidas. O desvio padrão das medidas em escala de cinzas variou entre 0,09 e 1,56%. Após a obtenção das curvas em escala de cinzas, esses valores foram convertidos em curvas de dose absorvida utilizando a curva de calibração dos filmes de acordo com a RQT9.

### 3. Resultados

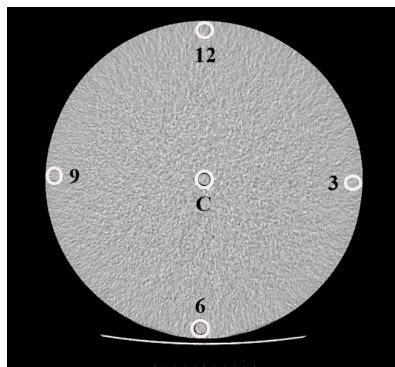


Figura 4. Posição das tiras de filme radiocrômico no objeto simulador.

Todas as medidas obtidas foram convertidas para dose no PMMA utilizando uma razão entre os coeficientes de atenuação de 1,0682<sup>10</sup>. O filme radiocrômico apresentou homogeneidade de 6,9% e repetibilidade 4,3% em relação ao scanner utilizado para a sua digitalização.

As posições das tiras no objeto simulador foram identificadas de acordo com as horas do relógio analógico em 3, 6, 9 e 12 para as posições periféricas e C para a posição central, conforme ilustra a imagem de corte axial do objeto apresentada na Figura 4.

A Figura 5 apresenta o perfil de variação das doses obtidas em cada uma das cinco posições onde houve o posicionamento de tiras de filmes.

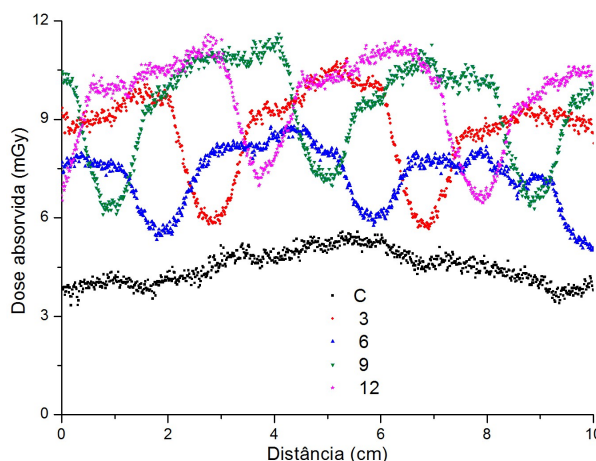


Figura 5. Variação de dose ao longo do eixo longitudinal.

A Tabela 2 apresenta os valores máximos, médios e mínimos de dose absorvida registrados em cada posição. Pode-se observar a região central apresenta o registro das menores doses dentre as cinco regiões observadas e que as doses registradas na posição 12 atinge os maiores valores.

Tabela 2. Valores de dose absorvida em mGy.

Dose	Posição				
	C	3	6	9	12
máxima	5,57	10,86	8,80	11,58	11,61
média	4,49	8,69	7,27	9,31	9,65
mínima	3,33	5,65	5,01	6,11	6,47

### 4. Discussão

As curvas obtidas permitem observar que apesar do uso de um pitch muito próximo de um as doses na periferia apresentam vales enquanto o perfil de dose na região central apresenta-se como uma curva, com a maior dose ocorrendo na região da fatia central que é a região que recebe maior contribuição da radiação espalhada das fatias anteriores e posteriores.

As doses na região periférica são maiores que na região central mesmo para as condições de registro de dose mínima, nos vales das curvas. A

curva da posição 6 é que apresenta o perfil de dose com menores valores registrados, dentre as curvas de dose absorvida na periferia do objeto. Isso se deve ao fato de que o feixe que atinge perpendicularmente essa região, quando se propaga de baixo para cima, é filtrado pela mesa, quando o tubo está mais próximo e a densidade de fótons do feixe é a maior para esta região.

Pelo mesmo fato, a atenuação do feixe promovida pela mesa quando ele se propaga de baixo para cima, causa menos interferência na dose registrada na posição 12, por ser o ponto mais distante em relação à mesa, quando o feixe está sofrendo a maior atenuação antes de atingir o objeto simulador.

Houve uma variação de dose considerável em cada uma das regiões medidas sendo que a maior registrada 11,61 mGy ocorreu na região 12. A maior dose registrada nas regiões periféricas foram entre 75,64 e 92,21% superiores à menor dose registrada para cada região.

A menor variação de dose ocorreu na região central onde a maior dose registrada foi de 5,57 mGy, sendo 67,27% superior ao valor mínimo registrado nessa região.

Considerando o volume irradiado, as doses registradas variaram entre 3,33 e 11,61 mGy, o que indica que a dose máxima foi 248,65% maior que a dose mínima. Sendo que as doses registradas na periferia foram sempre maiores que aquelas registradas na região central.

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos com os filmes radiocrômicos permitiram observar a variação da deposição de dose ao longo do eixo longitudinal do objeto simulador, bem como entre as regiões observadas.

Considerando os valores médios de dose absorvida obtidos, o protocolo utilizado está abaixo dos NRD determinados para o Brasil, que é de 25 mGy. No entanto, o protocolo utilizado na varredura foi feito para 100mAs quando protocolos de varreduras para tórax e abdômen utilizam valores de carga bem maiores.

## Agradecimentos

Este trabalho teve apoio da FAPEMIG.

## Referências

1. Thakur Y, McLaughlin PD, Mayo JR. Strategies for Radiation Dose Optimization. *Curr Radiol Rep* 2013; 1:1-10.
2. IAEA - International Atomic Energy Agency, Dosimetry in diagnostic radiology: an international code of practice. TRS Serie 457, Vienna. 2007.
3. Mourão AP. Tomografia Computadorizada: Tecnologias e aplicações. São Caetano do Sul: Difusão; 2007.
4. Brasil. Ministério da Saúde. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Portaria nº 453. Brasília: Diário oficial da União; 1998.
5. IAEA - International Atomic Energy Agency, International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for safety of radiation sources. Safety Series, 115, Vienna. 1996.
6. Mourão AP, Gonçalves Jr RG, Alonso TC. Dose profile variation with pitch in head CT scans using gafchromic

7. films. *Recent Advances in Biomedical & Chemical Engineering and Materials Science* 2014; 1:51-4.
7. ISP - International specialty products, 2010. Gafchromic XR catalogue. 8p.
8. AAPM - American Association of Physicists in Medicine, 1998. Radiochromic film dosimetry: AAPM Report 63. *Med. Phys.* 25:2093-115.
9. Rampado O, Garelli E, Ropolo R. Computed tomography dose measurements with radiochromic films and a flatbed scanner. *Med Phys* 2010; 37:189-96.
10. NIST - National Institute of Standards and Technology, at <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm>. - Access 15 Oct.

## Contato:

Arnaldo Prata Mourão  
Avenida Amazonas 5253 sala113  
Nova Suissa, Belo Horizonte MG  
CEP 30.421-169  
[aprata@des.cefetmg.br](mailto:aprata@des.cefetmg.br)