

DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE DETECÇÃO EM DOSIMETRIA FXG PARA ELÉTRONS.

Mangueira, T.F. *; Campos, L.L.

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN), São Paulo, São Paulo, BR.

Resumo: Neste trabalho foram determinados os limites mínimo e máximo de detecção na região de resposta linear do dosímetro Fricke Xilenol Gel (FXG) produzido no IPEN para elétrons de 4, 9 e 15 MeV utilizando a técnica de espectrofotometria.

Introdução: O crescente aumento do número de aceleradores lineares clínicos com feixes de elétrons tem contribuído com a utilização deste tipo de radiação em substituição às terapias com Raios-X de quilovoltagem e à braquiterapia por moldagens, que continuam sendo utilizadas em muitos serviços de Radioterapia^[1]. Os tratamentos mais indicados para terapia com feixes de elétrons são lesões com baixo poder de disseminação como: linfomas, tumor de mucosa geniana, vestibulo nasal, tumores orbitários, tumores de pálpebra, lábio e vulva, além do tratamento adjuvante do plastrão torácico pós-mastectomia, carcinoma epidermóides, meduloblastomas, retinoblastomas, e tumores pediátricos^{[1] e [2]}.

Com o uso freqüente destes recursos no tratamento oncológico faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas dosimétricas que facilitem a determinação da distribuição de dose de campos de elétrons com bordas atípicas aplicados sobre superfícies irregulares. A Dosimetria Gel permite estas medições da dose absorvida em três dimensões (3D) em objetos simuladores antropomórficos tecido-equivalentes^{[3], [4] e [5]}.

Para correta utilização de um sistema dosimétrico é fundamental o conhecimento dos limites mínimo e máximo de detecção do sistema, entre outras propriedades dosimétricas. Estes limites são fatores determinantes na escolha do dosímetro adequado ao teste pretendido. Entendendo por sistema dosimétrico, não só o material sensível, bem como o sistema de avaliação.

Os dosímetros Fricke funcionam a partir do princípio de oxidação dos íons ferrosos (Fe^{2+}) da solução em íons férricos (Fe^{3+}) induzida por radiação. Com a adição de Alaranjado de Xilenol à solução pode-se inferir de maneira indireta a quantidade produzida de íons ferrosos na solução por medições espectrofotométricas no comprimento de onda de 585 nm e esta pode ser diretamente relacionada com a dose. A fixação dessa solução em uma matriz gelatinosa permite a dosimetria em 3D. Esta matriz gelatinosa infundida com uma solução de sulfato ferroso é chamada de dosímetro Fricke Xilenol Gel (FXG).

O FXG vem sendo amplamente estudado para a dosimetria da radiação gama, com resultados bastante promissores devido à possibilidade de sua aplicação na dosimetria tridimensional. Poucos estudos têm avaliado o desempenho desse material em campos de radiação de elétrons aplicados em radioterapia.

Método: O FXG foi preparado utilizando gelatina 300 Bloom, água tridestilada, à pressão e temperatura ambiente segundo o método descrito por Bero 2001 e Cavinato 2007. O gel foi acondicionado em cubetas espectrofotométricas padrão (1 x 1 x 4,5 cm³ com 1 cm de caminho ótico e parede acrílica de 1 mm de espessura). A composição química do gel é apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Composição Química do dosímetro FXG

Composto	C (mol/L)
Sulfato de Amônio Ferroso	0.001
Cloreto de Sódio	0.001
Alaranjado de Xilenol	0.0001
Ácido Sulfúrico	$5.00 \cdot 10^{-02}$
Água tri-destilada	5,55
Gelatina (300 Bloom)	10 % da massa de água tridestilada

As cubetas foram fixadas em uma gaveta acrílica vazada e esta a um suporte acrílico que mantinha o setup de irradiação mesmo com a troca das cubetas (Fig 1a). Foram utilizadas placas de água sólida sobre o suporte (Fig 2a), para garantir o posicionamento na posição de máxima dose e 6 cm abaixo para assegurar as condições de retroespalhamento.

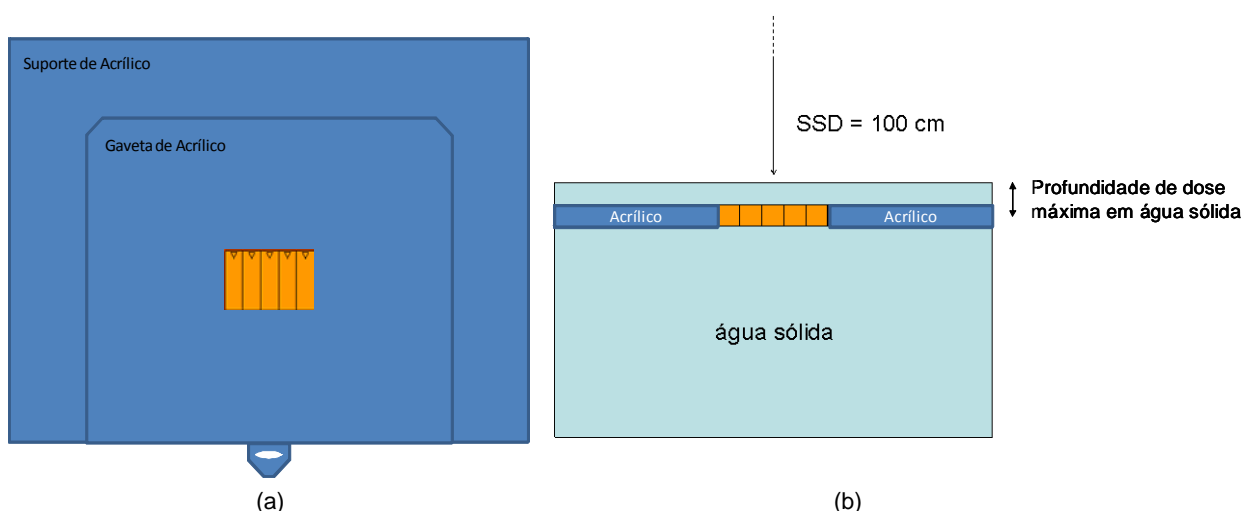


Figura 1 – (a) Esquema do suporte/gaveta acrílicos, com as cubetas espectrofotométricas.
 (b) Esquema do posicionamento do suporte entre as placas de água sólida.

As irradiações foram realizadas em dois aceleradores lineares, ambos Varian Clinac® 2100 C e as medições em um espectrofotômetro Shimadzu UV-2101 PC.

Os feixes de elétrons utilizados foram de 4, 9 e 15 MeV de energia nominal a 320 cGy/min com doses de 0,2 a 0,9 Gy e de 1 a 65 Gy nas condições sugeridas pelo TRS-398 exceto pelo centro das cubetas estar posicionado na profundidade de dose máxima (R_{100}). Estes parâmetros estão detalhados na Tab. 2. Cada ponto experimental consiste da média do sinal de cinco cubetas espectrofotométricas padrão.

Tabela 2: Parâmetros de posicionamento dos dosímetros no acelerador

Energia (MeV)	R_{100} (g/cm ²) †	Espessura de água sólida sobre o suporte acrílico (cm)
4	0,62	0
9	1,20	1,3
15	3,19	3

† Este parâmetro varia menos de 0,1 g/cm² entre os dois aceleradores

O limite inferior de detecção (LID) foi determinado utilizando a equação 1, e o máximo (LMD) quando a linearidade foi excedida em um desvio padrão em relação à reta ajustada.

$$LID = \left(3 \sigma_{\overline{D.O.(0)}} \right) f_{cal} \quad (1)$$

sendo $\sigma_{\overline{D.O.(0)}}$ o desvio padrão para cubetas não irradiadas e f_{cal} o fator de calibração do lote.

Resultados: Os dados obtidos das irradiações estão apresentados nas Fig. 2.

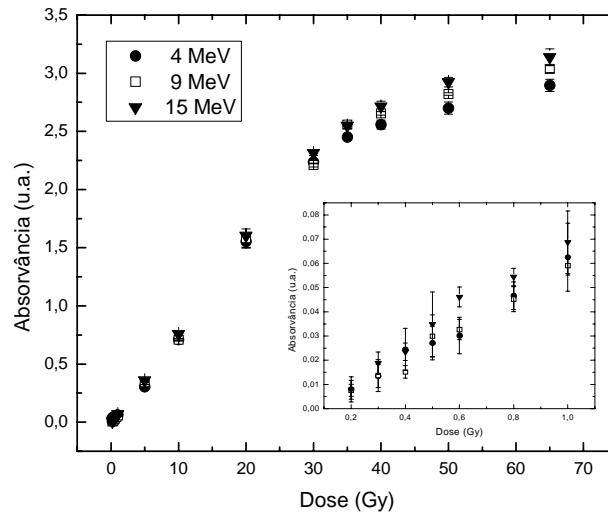
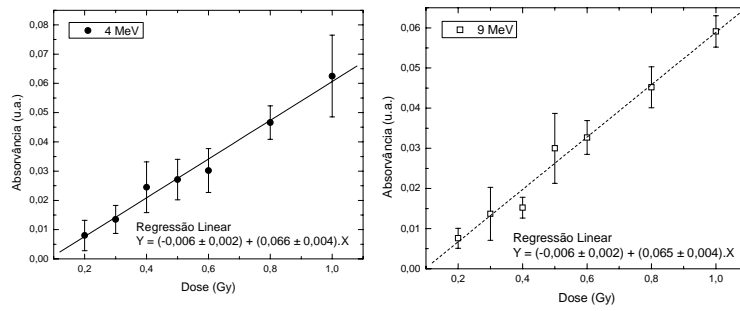


Figura 2 – Valores de absorvância do FXG para feixes de elétrons de 4, 9 e 15 MeV nominais, para doses de 0,2 a 65 Gy, em detalhe os pontos com dose menores que 1 Gy.

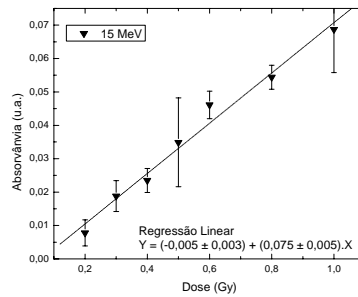
Na Fig. 1 pode-se notar uma pequena dependência energética para doses acima de 35 Gy. Esta tendência está dentro da reprodutibilidade do gel, que é de 10%^[6], e o coeficiente de correlação entre os grupos (analisados 2 a 2) é maior que 0,999, ou seja, o dosímetro é independente da energia no intervalo analisado.

As regressões lineares para as curvas dos pontos com menos de 1 Gy estão apresentadas nas Fig. 3a , 3b e 3c. As regressões lineares para os pontos maiores que 1 Gy estão apresentadas nas Fig. 4a , 4b e 4c.



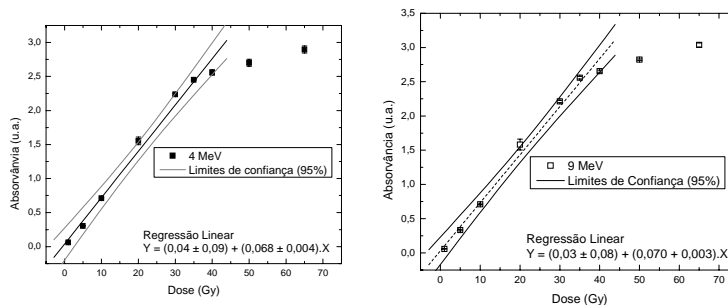
(a)

(b)



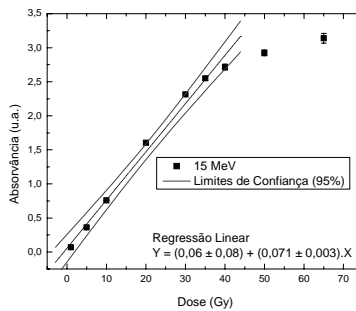
(c)

Figura 3 – (a) Curva de dose resposta do FXG para energia 4 MeV e doses menores que 1 Gy.
 (b) Curva de dose resposta do FXG para energia 9 MeV e doses menores que 1 Gy.
 (c) Curva de dose resposta do FXG para energia 15 MeV e doses menores que 1 Gy.



(a)

(b)



(c)

Figura 4 – (a) Curva de dose resposta do FXG para energia 4 MeV e doses maiores que 1 Gy.
 (b) Curva de dose resposta do FXG para energia 9 MeV e doses maiores que 1 Gy.
 (c) Curva de dose resposta do FXG para energia 15 MeV e doses maiores que 1 Gy.

Os dados calculados a partir das informações obtidas nas Fig. 3a , 3b e 3c e Fig. 4a , 4b e 4c estão apresentados na Tab. 3.

Tabela 3: Limites Inferior e Superior de Dose para Dosímetro FXG

Energia (MeV)	LID (Gy)	Limite Superior de Detecção (Gy) †
4	0,17	40
9	0,08	40
15	0,14	40

† Este parâmetro varia menos de 0,1 Gy

Discussão e Conclusões: Maximizando as incertezas devido à reprodutibilidade de $\pm 10\%$ do FXG, tem-se que o intervalo útil de utilização do sistema dosimétrico desenvolvido no IPEN está entre 0,3 e 40 Gy, o que indica a viabilidade da aplicação desse material na determinação de distribuições de dose 3D de campos de elétrons em aceleradores clínicos, assim como no planejamento de radioterapia convencional.

Agradecimentos: ao Hospital Clínicas/SP e ao Hospital A. C. Camargo pelo uso dos aceleradores lineares, cooperação na execução dos trabalhos e esclarecimentos teóricos e à FAPESP, ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro.

Referências:

- [1] Material de apoio do Curso: Elétron na Radioterapia, INCA (2008).
- [2] Karzmark CJ, Nunan CS, Tanabe E. Medical Electron Accelerators. McGraw-Hill New York. (1993).
- [3] Gore JC, Kang YS, Schulz RJ. Measurement of radiation dose distributions by nuclear magnetic resonance (NMR) imaging. Phys Med Biol. 29(10):1189–1197 (1984).
- [4] MacDougall ND, Pitchford WG, Smith MA. A systematic review of the precision and accuracy of dose measurements in photon radiotherapy using polymer and Fricke MRI gel dosimetry. Phys. Med. Biol. 47 R107–R121(2002).
- [5] Maryanski MJ, Gore JC, Kennan R, Schulz RJ. NMR relaxation enhancement in gels polymerized and crosslinked by ionizing radiation: a new approach to 3D dosimetry by MRI. Magn Reson Imaging. 11(2):253–258 (1993).
- [6] Bero MA, Gilboy WB, Glover PM, “Radiochromic Gel Dosemeter for Threedimensional Dosimetry,” Radiat. Phys. Chem., 61, pp.433-435 (2001).

[7] Cavinato CC, Campos LL. Study of the stability, reproducibility and dose rate dependence of the fricke gel dosimeter developed at IPEN. 2007 International Nuclear Atlantic Conference-INAC 2007, Santos, SP, Brazil, September 30 to October 5, (2007).

[8] Uusi-Simola J, Heikkinen S, Kotiluoto P, Serén T, Seppälä T, Auterinen I and Savolainen S. MAGIC polymer gel for dosimetric verification in boron neutron capture therapy. Journal of Applied Clinical Medical Physics. 8 (2):114-23, (2007).

[9] IAEA/TRS nº 398, Vienna, (2000).