

## AValiação DE VIABILIDADE DO SISTEMA DE LEITURA POR CCD PARA APLICAÇÃO NA DOSIMETRIA FRICKE XILENOL GEL DESENVOLVIDO NO IPEN

Thyago Fressatti Manguiera <sup>1</sup>, Daniel Menezes Dias <sup>2</sup>, Leticia Lucente Campos <sup>3</sup>

<sup>1</sup> IPEN, São Paulo, Brasil, thygomanguiera@usp.br

<sup>2</sup> IPEN, São Paulo, Brasil, dmdias@ipen.br

<sup>3</sup> IPEN, São Paulo, Brasil, lcerodri@ipen.br

**Sumário:** O uso de Câmeras com Dispositivos de Carga Acoplada - CCD já é utilizado por Centros de Pesquisas para avaliação da dose empregando o dosímetro Fricke Xilenol Gel (FXG). Este trabalho tem por objetivo a avaliação da aplicação desta técnica de leitura ótica para o FXG desenvolvido no IPEN.

**Palavras-chave:** Dosimetria Gel, FXG, CCD.

### 1. INFORMAÇÕES BÁSICAS

Com o crescente aumento do número de aceleradores lineares clínicos no tratamento oncológico (Radioterapia) [1] faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas dosimétricas que facilitem a determinação da distribuição de dose de radiação ionizante nos complexos planejamentos. A Dosimetria Gel permite estas medições da dose absorvida em três dimensões (3D) em objetos simuladores antropomórficos tecido-equivalentes [2].

O dosímetro Fricke Xilenol Gel (FXG) é um sistema derivado do dosímetro Fricke Padrão. Ambos são baseados na oxidação dos íons ferrosos ( $Fe^{2+}$ ) em íons férricos ( $Fe^{3+}$ ) quando expostos à radiação. A concentração de íons férricos resultante, após a irradiação, é proporcional à dose absorvida. As técnicas mais comuns de análise destes dosímetros são espectrofotometria e Ressonância Magnética.

As alterações químicas também alteram as propriedades óticas do dosímetro FXG devido à presença de alaranjado de xilenol em sua composição. Este composto modifica significativamente o espectro de absorção do dosímetro irradiado em relação ao não irradiado, principalmente no comprimento de onda de 585 nm (região do amarelo/laranja). Isto permite então que dispositivos óticos simples baseados em CCD (CCD – do inglês *charge-coupled device*), como câmeras fotográficas digitais, possam ser utilizados como sistemas de leitura do FXG. Este sistema de leitura já é conhecido e utilizado por alguns Centros de Pesquisa [3] [4], principalmente, para dosimetria 2D de feixes radioterápicos [5].

### 2. OBJETIVO

Este trabalho visa avaliar uma metodologia mais simples de análise ótica do dosímetro FXG, usando sistema de leitura por CCD, de modo que as determinações de dose possam ser realizadas no local da irradiação.

### 3. MÉTODOS

O FXG foi preparado utilizando gelatina 300 Bloom, água hiperpura, à pressão e temperatura ambientes, seguindo um método padrão [6] [7]. O gel foi acondicionado em cubetas espectrofotométricas padrão ( $1 \times 1 \times 4,5 \text{ cm}^3$ , com 1 cm de caminho ótico e parede acrílica de 1 mm de espessura). As cubetas preenchidas com FXG foram irradiadas em um acelerador Varian 2100C, com elétrons com energia de 9 MeV nas condições sugeridas pelo TRS-398 [8], exceto pelo centro das cubetas estar posicionado na profundidade de dose máxima ( $R_{100}$ ). O objeto simulador utilizado possuía placas de água sólida acima e abaixo de um suporte acrílico para cubetas, garantindo as condições de irradiação mesmo com a troca dos dosímetros. A dose absorvida nas cubetas foram de 1, 5, 10, 20 e 30 Gy.

Os aceleradores utilizados (do A.C. Camargo e H.C. de São Paulo) possuem feixes com as características dosimétricas bem conhecidas e rastreáveis pelo IPEN.

As imagens dos dosímetros irradiados foram captadas logo após a leitura no espectrofotômetro. Para isto todas as cubetas foram posicionadas juntas sobre um negatoscópio e a imagem adquirida com uma câmera Sony Cyber-Shot 8 MP a 30 cm do negatoscópio, no modo “Easy” e sem o uso de flash, com o intuito de captar a luz que atravessa o FXG. O arquivo em formato JPG foi processado com uma rotina em MATLAB, sendo a matriz referente à cor azul eliminada e, então realizado uma média entre as matrizes referentes às cores vermelho e verde. A região de medida foi quadrado de lado 50 pixels no centro da cubeta a ser analisada. O valor da medição é a média das intensidades dos pixels da região de medida e a incerteza o desvio padrão da média das leituras.

Para o sinal obtido pelo espectrofotômetro foi utilizada a equação 1 para o cálculo da leitura do FXG para uma determinada dose:

$$L_E = A - A_0 \quad (1)$$

sendo  $L_E$  a leitura do FXG,  $A$  a média do sinal para cubetas irradiadas com uma determinada dose e  $A_0$  a média do sinal das cubetas não irradiadas.

Para o sinal obtido pela câmera fotográfica foi utilizada a seguinte equação para o cálculo da leitura do FXG para uma determinada dose:

$$L_{CCD} = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (2)$$

sendo  $L_{CCD}$  a leitura do FXG,  $I$  a média do sinal para cubetas irradiadas com uma determinada dose e  $I_0$  a média do sinal das cubetas não irradiadas.

## 4. RESULTADOS

A imagem dos dosímetros, obtida pela câmera fotográfica e utilizada para alimentar a rotina computacional, pode ser vista na figura 2.



Fig. 2. Imagem dos dosímetros FXG analisada pela rotina em MATLAB.

Com os dados obtidos da rotina computacional foram elaborados os gráficos contidos na figura 3 e figura 4 sendo que nesta última também foram utilizados dados espectrofotométricos. A figura 3 é a curva de dose resposta do dosímetro FXG para a leitura CCD e a figura 4 a comparação entre as intensidades das leituras com espectrofotômetro e com CCD, para as doses de 1, 5, 10, 20, 30 e 40 Gy.

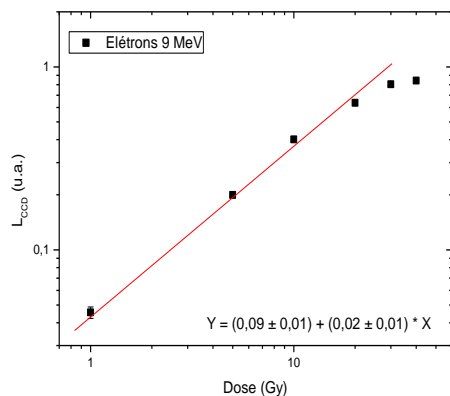


Fig. 3. Curva de dose resposta de dosímetros FXG irradiados com elétrons de 9 MeV e doses de 1 a 40 Gy para leitura com CCD.

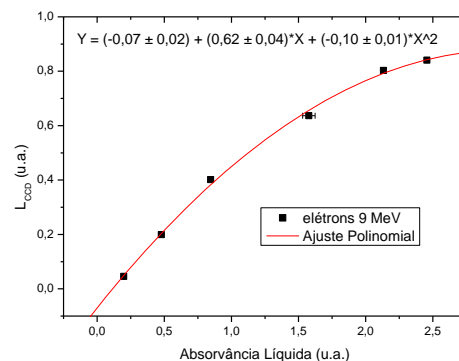


Fig. 4. Comparação entre as intensidades das leituras do dosímetro FXG para os dois sistemas de leitura. As doses analisadas foram 1, 5, 10, 20, 30 e 40 Gy apresentadas no gráfico em ordem crescente de sinal.

## 5. DISCUSSÕES

### 5.1. Dosimetria Gel

A dosimetria Gel na radioterapia é o método de avaliação com maior potencial para análises tridimensionais da distribuição da dose [9].

O custo, a necessidade de pouca infraestrutura e a facilidade do preparo e manuseio torna o FXG uma escolha prática para pesquisa. O método óptico apresentado neste trabalho também pode ser utilizado para outros dosímetros químicos que alterem o espectro de absorção na região do visível após a irradiação.

### 5.2. Sistema de Leitura

O uso de uma câmera fotográfica digital amadora para obtenção da intensidade luminosa que atravessa o dosímetro FXG é uma opção simples, barata e fácil de ser implementada em um hospital, pois necessita apenas de um negatoscópio, presente em qualquer serviço de radioterapia. A grande vantagem deste sistema é permitir a leitura do FXG instantes após a irradiação, enquanto que para o uso de um espectrofotômetro há a necessidade do traslado das amostras até o laboratório.

A imagem das cubetas obtida é de excelente qualidade, permitindo, com boa precisão, a avaliação da dose. O desvio padrão da média das leituras é melhor que 3 %.

A partir da curva de dose-resposta percebe-se que o dispositivo CCD não é tão eficiente quanto o espectrofotômetro para leituras menores que 5 Gy.

### 5.3. Curvas de dose resposta

Pela figura 3 pode-se notar uma tendência de saturação do sinal a partir da dose de 30 Gy e um comportamento linear da leitura CCD com a dose.

Comparando a intensidade de sinal do espectrofotômetro com a leitura obtida pelo método CCD (figura 4) pode-se afirmar que a saturação do sistema de leitura por CCD acontece para doses menores do que com o espectrofotômetro e que as intensidades das leituras também são maiores no sistema espectrofotométrico, como já era esperado (Minasawa, 2008).

## 6. CONCLUSÃO

O sistema de leitura por CCD, além de ser mais simples e barato, apresentou uma curva de resposta em função da dose para o dosímetro avaliado por CCD tão boa quanto a obtida usando o sistema padrão com espectrofotômetro para doses acima de 5 Gy, podendo ser aplicado para a leitura do FXG desenvolvido no IPEN no intervalo de dose entre 1 e 30 Gy.

## 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 à CAPES pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- [1] Material de apoio do Curso: Elétron na Radioterapia, INCA, 2008.
- [2] N. D. MacDougall, W. G. Pitchford, M. A. Smith, “A systematic review of the precision and accuracy of dose measurements in photon radiotherapy using polymer and Fricke MRI gel dosimetry”, *Phys. Med. Biol.*, Vol. 47, R107–R121, 2002.
- [3] B. J. Tarte, P. A. Jardine, T. van Doorn, K. N. Nitschke and M. G. Poulsen, “Development of a CCD array imaging system for measurement of dose distributions in doped agarose gels”, *Medical Physics*, Vol. 24, no 9, 1997.
- [4] G. Gambarini, C. Birattari, M. Mariani, R. Marchesini, L. Pirola, P. Prestini, M. Sella, and S. Tomatis, “Study of light transmittance from layers of Fricke-xylene-orange-gel dosimeters”, *Nucl. Instr. Meth. B*, Vol. 213, 321–324, 2004.
- [5] R. A. Minasawa, L. E. R. Santos, M. A. Parada, KRP Daghasanli, P. Ciancaglini and A. de Almeida, “Digital Image Analysis to Standardize a Photometric Method in Colorimetric Quantification”, *Instrumentation Science & Technology*, Vol. 36, no 1, 97-104, 2008.
- [6] M. A. Bero, W. B. Gilboy and P. M. Glover, “Radiochromic Gel Dosemeter for Threedimensional Dosimetry,” *Radiat. Phys. Chem.*, 61, pp.433-435, 2001.
- [7] C. C. Cavinato and L. L. Campos, “Study of the stability, reproducibility and dose rate dependence of the fricke gel dosimeter developed at IPEN”, *International Nuclear Atlantic Conference-INAC*, 2007.
- [8] IAEA/TRS n° 398, Vienna, (2000).
- [9] M. Oldham, J. H. Siewerdsen, S. Kumar, J. Wong and D. A. Jaffray, “Optical-CT gel-dosimetry I: Basic investigations”, *Medical Physics*, Vol. 30, no 4, 2003.
- [10] R. A., Minasawa, L. E. R. Santos, M. A. Parada, K. R. P. Daghasanli, P. Ciancaglini, A. de Almeida, Digital “Image Analysis to Standardize a Photometric Method in Colorimetric Quantification”, *Instrumentation Science & Technology*, Vol. 36, p. 97-104, 2008.