

Análise da Curva Resposta do Gel Polímero Tipo *nPAG* Empregando a TRS 398

J H Hamann, J G P Peixoto

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD / CNEN
Av. Salvador Allende s/n – Barra da Tijuca – Rio de Janeiro - RJ

E-mail: jhhamann@gmail.com

Resumo: Estudos associados a dosimetria por gel polímero têm sido amplamente desenvolvidos. O despertar para este tipo de trabalho se deve ao fato de que a dosimetria por gel polímero é uma ferramenta que permite, por exemplo, a análise tridimensional da distribuição de dose em um determinado volume. Neste artigo uma curva resposta foi obtida com imagens em ressonância magnética de amostras de gel polímero do tipo *nPAG* após a irradiação em um acelerador linear médico. O processo de irradiação foi baseado na TRS 398.

Palavras-chave: Curva Resposta, TRS 398, Dosimetria, Gel Dosímetro.

Abstract: Research associated with polymer gel dosimetry has been widely performed. This arousal for this type of work is due to the fact that polymer gel dosimetry is a tool that allows, for example, the three-dimensional analysis of the dose distribution in a given volume. In this paper a response curve was obtained with magnetic resonance imaging of *nPAG*-type polymer gel samples after irradiation on a linear medical accelerator. The irradiation process was based on TRS 398.

Keywords: Curve Response, TRS 398, Dosimetry, Dosimeter Gel.

1. INTRODUÇÃO

Muitas das técnicas recentemente desenvolvidas na área da radioterapia, tais como o planejamento de tratamento em três dimensões (3D), terapia por intensidade modulada do feixe (IMRT), radioterapia (conformal e convencional), técnica VMAT e sistema IGRT, além da radiocirurgia estereotáxica levaram a um aumento na complexidade do tratamento oncológico por radiação. Todas estas técnicas são usadas para reduzir a toxicidade gerada no tratamento através da otimização da dose no volume-alvo, minimizando assim a irradiação de estruturas radiosensíveis ou saudáveis adjacentes à região tumoral. Reduzindo a área de irradiação a mais próxima do volume-alvo, aumenta-se a exatidão do sistema de tratamento bem como a dose absorvida pelo volume-tumoral. Desta forma, programas confiáveis são necessários para que assegure sistematicamente uma grande qualidade e confiança sobre

o feixe da radiação, processos de planejamento, tratamento e deposição de dose no volume-alvo (TRS 398, IAEA, 2000, MEEKS *et al.*, 1999, SCHLEGEL, 2006).

Os métodos atuais que são protocolos de dosimetria em radioterapia para avaliação da distribuição de dose utilizam dosimetria por filme, dosímetros termoluminescentes (TLDs), câmaras de ionização ou fotodiodos. Todos estes são métodos bidimensionais para medições de dose. Estes dosímetros não medem a distribuição de dose no espaço tridimensional, restringindo-se apenas a leituras bidimensionais e em apenas determinados pontos de análise. Alguns dosímetros dependem da energia e posicionamento angular do feixe de radiação para correta leitura (BARAS, *et al.*, 2002).

Desta forma, o uso de tais detectores está também associado a problemas adicionais: (i) alguns têm o volume relativamente grande, o que impossibilita a medida em regiões de alto gradiente de dose; (ii) podem ser maior que o volume tumoral tratado. Em certas situações de tratamento esta característica pode limitar a definição da resolução espacial da dose; (iii) os detectores não são equivalentes aos tecidos humanos e (iv) em certos tipos de tratamento existe a possibilidade de perturbar os campos de radiação, ocasionando erros de leitura da taxa de exposição (GAMBARINI *et al.*, 2006).

Estudos anteriores empregaram a dosimetria por gel polímero para análise da distribuição de dose tridimensionalmente (CRUZ, 2003, HAMANN, 2009). Porém, estes trabalhos não consideram o comportamento de resposta do gel dosímetro. Também não empregaram um protocolo para a irradiação do material.

Assim, para uma verificação inicialmente mais precisa do comportamento da resposta do gel dosímetro, a sua irradiação foi baseada no procedimento apresentado na TRS 398. Este protocolo é utilizado para avaliação da qualidade do feixe de radiação (em tratamentos oncológicos) empregado câmaras de ionização (TRS 398, IAEA, 2000).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Irradiação da câmara de ionização

Esta etapa inicial do trabalho consistiu em irradiar a câmara de ionização tipo *Farmer* (A12 *Exradin – Standard Imaging*) com rastreabilidade junto ao Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI/IRD-CNEN/RJ).

Para a irradiação seguiu-se o protocolo apresentado na TRS 398 (TRS 398, IAEA, 2000). Desta forma, o detector ficou submerso em água a uma profundidade de 100 mm em relação a superfície (figura 1).

Todo o arranjo experimental foi irradiado em acelerador linear médico (LINAC) VARAIN 2100. A energia de feixe para raios X foi de 6 MV.

2.2. Preparação e irradiação das amostras de gel dosímetro

Gel dosímetro *nPAG* (gel de poliacrilamida normóxico) com nova formulação química (HAMANN, 2020) foi preparado. Ao todo foram preenchidos 14 frascos, cada um com volume de 30 ml.

Após a preparação do material dosimétrico, a próxima etapa consistiu na irradiação (LINAC VARIAN 2100 – figura 2). Na metodologia empregada, dois frascos não foram irradiados (amostras padrão). As demais amostras foram irradiadas seguindo o protocolo apresentado na TRS 398 (TRS 398, IAEA, 2000) com doses de: 5, 10, 15, 20, 25 e 30 Gy. Mantendo o padrão de irradiação, a energia de feixe foi de 6 MV.

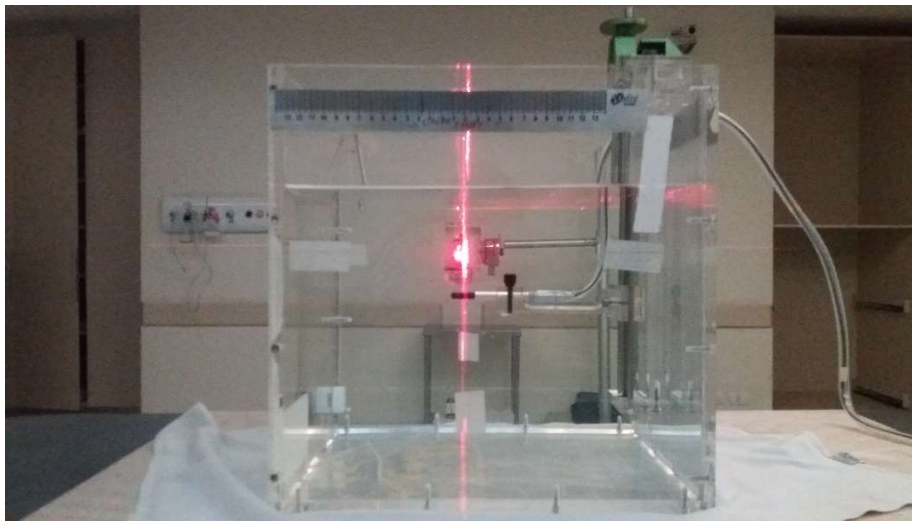


Figura 1: arranjo experimental para irradiação da câmara de ionização. Área sensível (região em preto na imagem) da câmara de ionização ficou no ponto de isocentro do equipamento a 100 mm de profundidade da superfície. O campo de irradiação empregado foi de 100x100 mm.

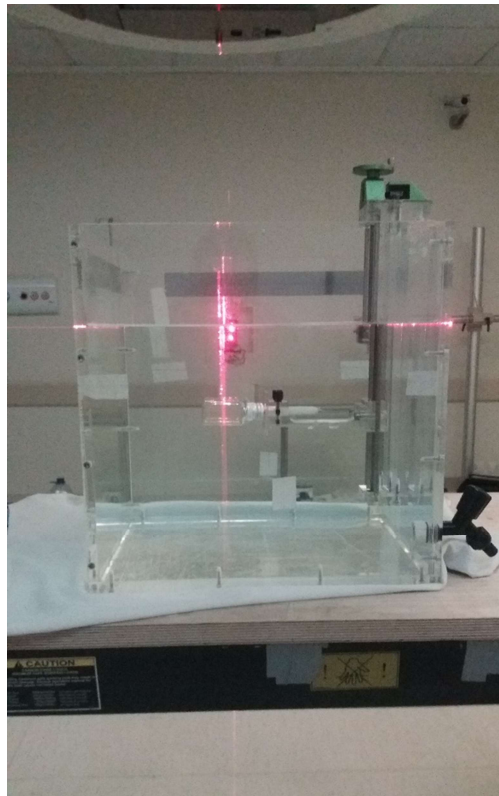


Figura 2: amostras de gel dosímetro irradiados pelo método de substituição, ou seja, câmara de ionização foi substituída pelos frascos com material dosimétrico. Profundidade, energia de feixe e tamanho de campo de irradiação foram mantidos (conforme irradiação para a câmara de ionização). Na imagem observasse o centro do frasco no ponto de isocentro.

2.3. Geração das imagens em ressonância magnética (RM)

Após a irradiação das amostras de gel dosímetro com diferentes valores de dose, os frascos foram submetidos a ressonância magnética (RM) para o processo de geração de imagens (figura 3). GE SIGNA (*General Electric*) com campo magnético de 1,5 Tesla de uso clínico foi empregado para a formação das imagens. Os principais parâmetros de equipamento são apresentados na tabela 1.



Figura 3: equipamento de RM. Amostras irradiadas do gel dosímetro foram inseridas em uma bobina de crânio para a geração das imagens.

Tabela 1 – parâmetros em RM para a aquisição das imagens com ponderação em T2.

Sequência de escaneamento:	Spin eco
Espessura de corte:	5 mm
TR:	3.500 ms
TE:	240 ms
Bobina utilizada:	crânio
Tamanho da matriz:	512x512
Nex (número excitações):	3

2.4. Geração da curva resposta

As imagens geradas em RM foram pós processadas no programa matemático *JiveX*. Desta forma, foram realizados análise da *ROI* (*region of interest*) nas áreas correspondentes a região dos frascos irradiados. Parâmetros estatísticos como (i) valor médio, (ii) desvio padrão, (iii) valores de máximo e mínimo e (iv) mediana foram determinados.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A figura 4 corresponde aos frascos de 30 ml preenchidos com gel dosímetro irradiados com diferentes doses.



Figura 4: amostras de 30 ml de gel dosímetro irradiadas com diferentes valores de dose. Da esquerda para a direita na imagem: 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 Gy.

A figura 5 demonstra um corte axial dos frascos. Este corte foi obtido em RM com ponderação em T2. A imagem foi gerada com os parâmetros apresentados na tabela 1.

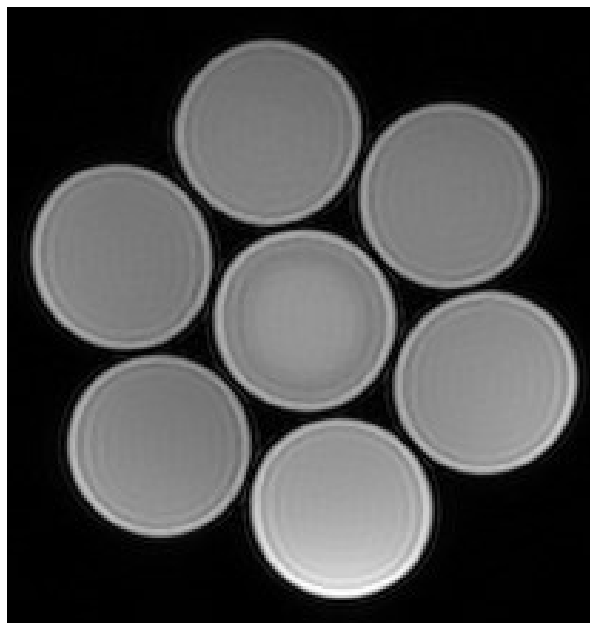


Figura 5: cortes transversais das amostras preenchidas com gel polímero após a irradiação em feixe de raios X produzidos por um LINAC. Os cortes foram obtidos com os parâmetros apresentados na tabela 1.

A figura 6 demonstra o levantamento estatístico resultante para cada região de *ROI* na imagem em RM através do programa matemático *JiveX*.

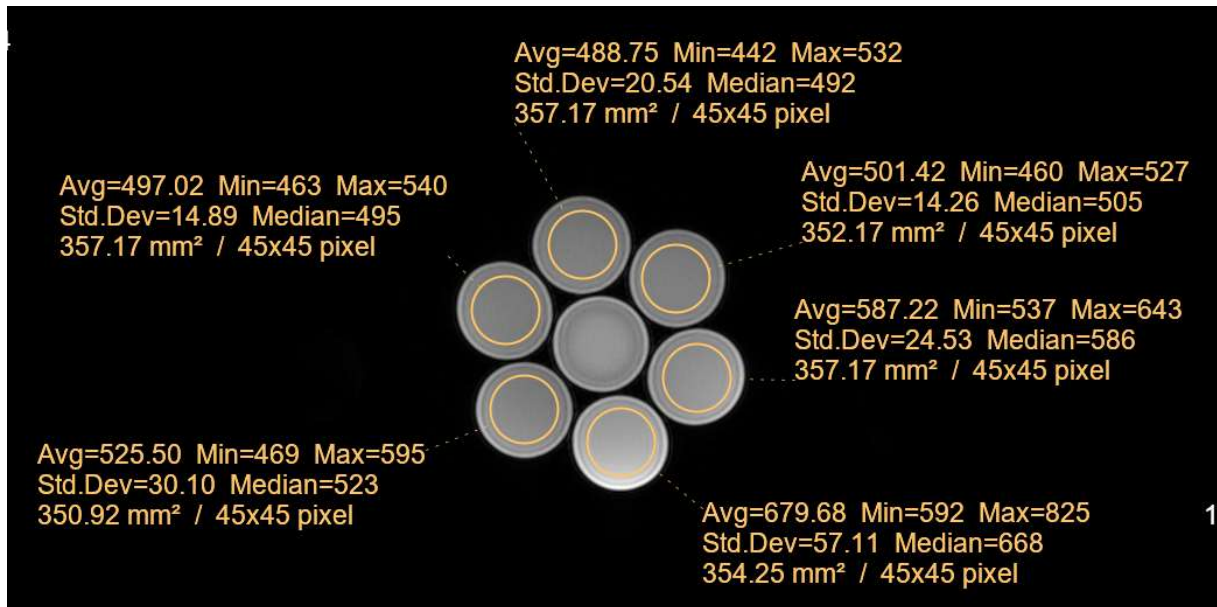


Figura 6: análise das regiões de *ROI* (círculos em amarelo na imagem) para determinação do valor médio de tom de cinza em cada amostra. Observamos que o valor médio (*Avg*) da densidade óptica no *ROI* analisado diminui com o aumento do valor de dose.

A região de *ROI* para a análise estatística não correspondeu a toda área do corpo de prova na imagem em RM. Este fato se deu porque próximo a região de bordas de cada frasco há uma presença maior de ruídos. Esta flutuação de sinal ocorre devido as diferenças de comportamento no campo magnético entre os materiais constituintes do frasco e solução dosimétrica (BLOEMBERGEN *et al.*, 1948, DEENE *et al.*, 1998). Assim, para minimizar os efeitos deste processo indesejado, a análise ficou restrita a uma área mais central.

A tabela 2 corresponde a (i) associação entre valor médio da densidade óptica na região analisada de *ROI*, (ii) valor de dose absorvida em cada amostra de gel dosímetro e (iii) o desvio padrão associado a cada *ROI* avaliado.

Tabela 2 – valor de densidade óptica em função da dose absorvida em cada corpo de prova preenchido com gel dosímetro.

Densidade Óptica (valor médio)	Dose Absorvida (Gy)	Desvio padrão
680	5	57
587	10	24
525	15	30
501	20	14
497	25	14
488	30	20

A figura 7 demonstra a curva resposta gerada pelos dados apresentados na tabela 2. Assim, o gráfico foi levantado em função da densidade óptica (sinal) pela dose absorvida em cada amostra. Alguns trabalhos empregam para o método de regressão da curva resposta uma equação exponencial (SCHREINER, 2015, ZEHTABIAN *et al*, 2012). Em vermelho (curva ajuste) observamos o resultado deste processo.

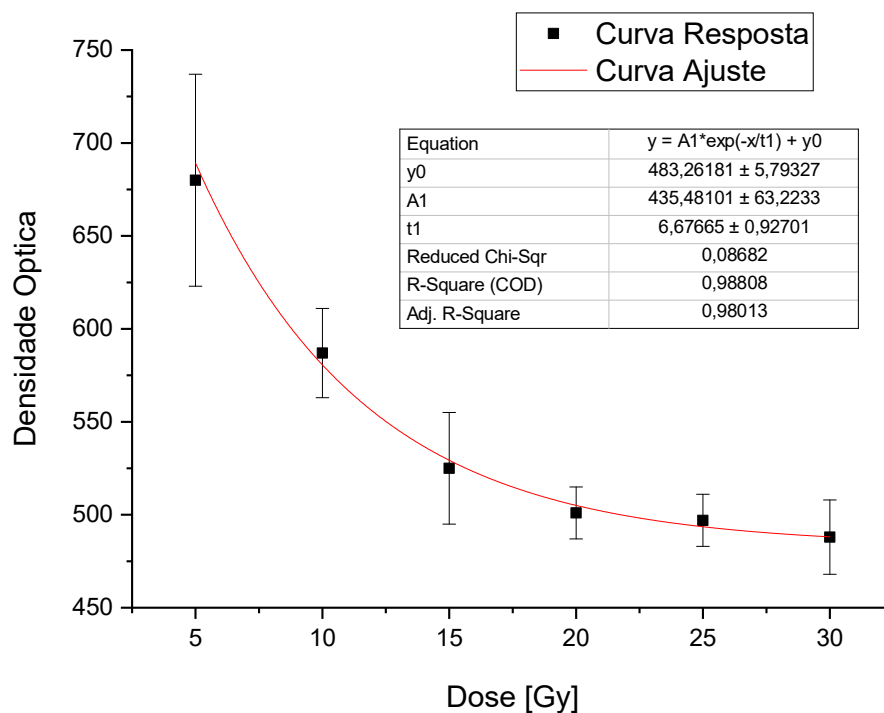


Figura 7: curva resposta (pontos escuros) e o processo de regressão exponencial (curva em vermelho).

Observando a curva de ajuste na figura 7 percebemos que o valor R^2 (i) fica muito próximo a unidade ($R^2 \sim 0,98$) e (ii) a curva de normalização fica dentro dos valores de incertezas associados a cada ponto da curva resposta. Assim, R^2 apresenta um valor satisfatório.

Desta forma, a dosimetria por gel dosímetro (ou gel polímero) é uma ferramenta promissora que quando associada a um objeto simulador (fantoma) pode assegurar qualidade e confiança durante o processo de planejamento, tratamento e dose absorvida no volume-alvo. O gel polímero apresenta (i) equivalência ao tecido humano, (ii) registro tridimensional das curvas de isodose, e (iii) uma maior estabilidade temporal e dimensional no registro de dose (quando comparado a dosimetria por gel Fricke) (MARYANSKI *et al*, 1993).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio financeiro das agências CNPQ e CAPES.

Agradecemos também ao Físico Otávio Riani de Oliveira da Clínica Oncoville (PR) onde as amostras foram irradiadas no LINAC clínico; a coordenação da UDIM do Hospital de Clínicas (CHC-PR), bem como ao Físico Renato (BrasilRad) Doro, a tecnóloga em radiologia Azir Pires e o técnico Alessandro Frigêl no auxílio para a obtenção das imagens em RM.

REFERÊNCIAS

- BARAS, P., SEIMENIS, I., PAPAGIANNIS, P., PAPPAS, E., KIPOUROS, P. “Polymer gel dosimetry using a three-dimensional MRI acquisition technique.” **Med. Phys.**, vol. 29, pp. 2506–2516, 2002.
- BLOEMBERGEN, N.; PURCELL, E. M.; POUND, R. V. Relaxation effects in nuclear magnetic resonance absorption. **Phys. Rev.**, v. 73, p. 679-712, 1948.
- CRUZ, A. **Desenvolvimento de um dosímetro para análise tridimensional de radiação ionizante utilizando gel polímero.** 2003. Dissertação Mestrado – Centro Federal de Educação Tecnológica do Estado do Paraná, Curitiba.
- DEENE, Y.; WAGTER, C.; VAN DUYSE, B.; DERYCKE, S.; DE NEVE, W.; ACHTEN, E. Three-dimensional dosimetry using polymer gel and magnetic resonance imaging applied to the verification of conformal radiation therapy in head-and-neck cancer. **Radiotherapy and Oncology**, v. 48, p. 283-291, 1998.
- DEENE, Y.; WALLE, R. de Van; ACHTEN, E.; WAGTER, C. Mathematical analysis and experimental investigation of noise in quantitative magnetic resonance imaging applied in polymer gel dosimetry. **Signal Processing**, v. 70, p. 85-101, 1998.
- GAMBARINI, G., BRUSA, D., CARRARA, M., CASTELLANO, G., MARIANI, M., TOMATIS, M., VALENTE, M., VANOSSI, E. “Dose imaging in radiotherapy photon fields with Fricke and normoxic polymer Gels,” **J. Phys. Conf. Ser.**, vol. 41, pp. 466–474, 2006.
- HAMANN, J. H. **Gel dosímetro tipo BANG-1: aplicação em planejamentos de tratamento por**

- radioterapia e avaliação qualitativa através de imagens obtidas em ressonância magnética.**
2009. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- HAMANN, J. H. **Gel polímero para dosimetria e controle de qualidade em equipamentos e fontes emissoras de radiações ionizantes.** Depositante: João Henrique Hamann. BR102020013494-9. Depósito: Junho de 2020.
- MARYANSKI, M. J., GORE, J. C. SCHULZ, R. J. “Relaxation enhancement in gels polymerized and cross-linked by ionizing irradiation: a new approach to 3D dosimetry by MRI.” **Magn. Reson. Imaging**, vol. 11, pp. 253–258, 1993.
- MEEKS, S. L., BOVA, F. J., MARYANSKY, M. J., KENDRICK, L. A., KANADE, M. K., BUATTI, J. M., FRIEDMAN, W. A. “Image registration of BANG gel dose maps for quantitative dosimetry verification,” **Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.**, vol. 43, no. 5, pp. 1135–1141, 1999.
- SCHLEGEL, W., BORTFELD, T., GROSU, A. L. **News technologies in Radiation Oncology**, 1° ed. Ger. 2006.
- SCHREINER, L. J. “True 3D chemical dosimetry (gel, plastics): Development and clinical role,” **J. Phys.: Conf. Ser.** 573, 2015.
- TRS 398: **Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy.**
Disponível em:
<http://www-naweb.iaea.org/nahu/DMRP/documents/CoP_V12_2006-06-05.pdf>. Acesso em Maio de 2020
- ZEHTABIAN, M., FAGHIHI, R., ZAHMATKESH, M. H., MEIGOONI, A. S., MOSLEH-SHIRAZI, M. A., MEHDIZADEH, S., SINA, S., BAGHERI, S. “Investigation of the dose rate dependency of the PAGAT gel dosimeter at low dose rates,” **Radiation Measurements**, vol. 47, pp. 139–144, 2012.
- WATANABE, Y., WARMINGTON, L., GOPISHANKAR, N. “Three-dimensional radiation dosimetry using polymer gel and solid radiochromic polymer: From basics to clinical applications,” **World J. Radiology**, vol. 9, no. 3, pp. 112–125, 2017.