



ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE ALTURA E DOSE ABSORVIDA EM UM IRRADIADOR GAMMABEAM-127 POR MEIO DE DOSÍMETRO ACRÍLICO

**Leonardo G. S. Macedo^{1,2}, Daniel S. Calheiro¹, Margarete C. Guimarães²
Amir Z. Mesquita² e Thêssa C. Alonso²**

¹Faculdade de Medicina – Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Prof. Alfredo Balena, 190, Santa Efigênia, Belo Horizonte-MG, CEP 30130-10

²Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

Av. Antônio Carlos, 6627, Campus da UFMG, Pampulha, Belo Horizonte-MG, CEP 31270-901

leonardomacedo@ufmg.br

danielcalheiro@gmail.com

mcg@cdtn.br

amir@cdtn.br

alonso@cdtn.br

Palavras-Chave: Dosimetria; PMMA; Irradiador Gama;

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo estabelecer a correlação entre a altura e a dose absorvida, utilizando dosímetros acrílicos comerciais por meio de um mapeamento abrangente da distribuição da dose absorvida em um irradiador panorâmico do tipo II. Esse estudo é fundamental para definir um limite seguro para o empilhamento de caixas contendo materiais sujeitos à irradiação gama, visando manter a qualidade do serviço e otimizar o espaço da câmara de irradiação. Para conduzir esta pesquisa, utilizou-se o irradiador gama do Laboratório de Irradiação Gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LIG/CDTN), modelo *GammaBeam-127*, fabricado pela empresa canadense MDS *Nordion*. Foram empregados dosímetros de polimetilmetacrilato (PMMA) modelo *Amber 3042*, que compreende uma faixa de dose de 1 a 30 kGy, fabricados pela empresa inglesa *Harwell Dosimeters*, adquirida posteriormente pela empresa norte-americana *Steris*, além de 10 caixas de papelão com dimensões de 49x27x15 cm. A metodologia adotada envolveu o cálculo de um ponto de dose absorvida no irradiador que entregue uma dose de 2,5 kGy e atenda um período de 24 horas de irradiação, ponto definido com base na dosimetria *Fricke* previamente realizada durante a troca da fonte de cobalto-60, utilizada como referência para a calibração dos dosímetros de acrílico. As caixas foram numeradas de 01 a 10, de baixo para cima, e os dosímetros foram posicionados em grupos de três na face anterior e três na face posterior das caixas, dentro da câmara de irradiação. As caixas foram empilhadas a uma distância de 2 metros da chaminé, atingindo uma altura de empilhamento de 1,60 m. Após a irradiação, os dosímetros foram deixados em repouso por 24 horas e, em seguida, foram lidos por um espectrofotômetro a um comprimento de onda de 603 nm, resultando em valores de absorbância. Estes valores foram então inseridos na equação de calibração dos dosímetros *Amber 3042*, fornecendo as respectivas doses absorvidas. A análise dos resultados revelou que todas as caixas receberam uma dose em cerca de 2,5 kGy, concluindo a necessidade um ajuste na distância do empilhamento de caixas da fonte de cobalto-60 para que atinja a dose esperada. A variação média total da dose absorvida pelas caixas foi de 18,3%, com exceção da caixa 06, que não apresentou variação devido à sua localização na direção do feixe direto proveniente da fonte de cobalto-60. Em suma, com base na análise dos dados, conclui-se que o campo de radiação se comporta de forma homogênea em alturas de até 1,60 m a uma distância de 2 m da fonte.



1. INTRODUÇÃO

Para uma fonte puntiforme que emite radiação isotropicamente em todas as direções, a intensidade da radiação observada em um ponto distante é inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte. Isso ocorre devido à geometria esférica da distribuição da radiação, na qual a radiação se espalha uniformemente ao longo de uma superfície esférica. Portanto, a taxa de dose e o fluxo de radiação diminuem de maneira previsível com o aumento da distância em relação à fonte [1].

No entanto, a situação muda quando lidamos com fontes não pontuais. Diferentemente das fontes pontuais, que simplificam a distribuição da radiação, um número maior de fontes ou formas complexas para seu arranjo introduzem um nível adicional de complexidade na análise e no cálculo dos campos de radiação. Nessas circunstâncias, a radiação não se distribui de maneira esférica, e sua intensidade varia conforme a forma, a geometria e a orientação da fonte em relação ao detector. Isso requer um entendimento mais detalhado e cálculos específicos para estimar com precisão a dose em diferentes pontos ao redor da fonte.

Para assegurar a precisão durante o processo de irradiação, é fundamental realizar um mapeamento abrangente da dose. Esse mapeamento envolve medir a dose nas áreas de maior e menor intensidade, levando em conta variações em altura e distância [2]. Além disso, um processo otimizado de movimentação de materiais visa aumentar o desempenho das instalações e reduzir custos, com foco na eficiência e segurança, transporte pontual e soluções econômicas. Especificamente, a otimização permite maximizar a utilização do espaço de armazenamento, garantindo que este seja utilizado de acordo com sua capacidade, o que contribui para a redução de custos globais e para a minimização de riscos e danos aos materiais [3].

Neste contexto, o presente estudo busca estabelecer a correlação entre a altura e a dose absorvida, utilizando dosímetros acrílicos comerciais, em um irradiador panorâmico do tipo II. Esse estudo é fundamental para definir um limite seguro para o empilhamento de caixas contendo materiais submetidos à irradiação gama, visando manter a qualidade do serviço e otimizar o espaço da câmara de irradiação.

2. METODOLOGIA

2.1. Irradiador *GammaBeam-127*

O Laboratório de Irradiação Gama do LIG/CDTN possui um Irradiador Panorâmico Múltipropósito de Categoria II modelo IR-214 e tipo GB-127, fabricado pela MDS *Nordion*. A radiação gama é proveniente de uma fonte de cobalto-60 estocada a seco com uma atividade inicial de aproximadamente 60.000 Ci [4]. O estudo foi realizado dentro da câmara de irradiação do laboratório, no qual as caixas foram posicionadas para a dosimetria.

2.2. Dosímetros *Amber Perspex 3042*

Os dosímetros *Amber Perspex 3042* são fabricados com polimetilmetacrilato (PMMA) e contêm um corante patenteado que escurece proporcionalmente à absorção óptica quando irradiado. A quantificação do escurecimento em relação à dose absorvida pode ser realizada por espectrofotometria UV-VIS. A faixa operacional do dosímetro *Amber Perspex 3042* varia de 1 a 30 kGy, com os comprimentos de onda ideais para leitura sendo 603 ou 651 nm. Cada dosímetro *Perspex* possui dimensões de 30 mm x 11 mm, com espessura de $3,00 \pm 0,55$ mm e são individualmente selados em sachês laminados para garantir sua integridade [5]. Foram utilizados 60 dosímetros *Amber Perspex 3042* de um mesmo lote para que fosse feita a análise da correlação entre altura e dose absorvida.



2.3. Espectrofotometria UV-VIS

A espectrofotometria é uma técnica analítica que se fundamenta na absorção óptica por substâncias, envolvendo a medição tanto da transmitância quanto da absorbância de luz [6]. O princípio básico desta técnica é descrito pela lei de *Lambert-Beer*, que estabelece uma relação inversamente proporcional entre a absorbância (A) e a transmitância (T), conforme a equação 1:

$$A = -\log_{10}(T) \quad (1)$$

Esta lei relaciona a absorbância à concentração da substância e à quantidade de luz que atravessa a amostra. Foi utilizado um espectrofotômetro K37-UV-VIS fabricado pela *Kasvi* para leitura dos dosímetros, por meio do *software UV professional*, obtivemos os valores de absorbância.

2.4. Calibração dos dosímetros *Amber Perspex 3042*

A calibração dos dosímetros *Amber Perspex* foram feitos seguindo a norma ISO da ASTM. Foram escolhidos quatro pontos de dose absorvida (1, 2, 3, e 5 kGy) conforme a norma, somente no intervalo de dose no qual os dosímetros de PMMA *Amber* são utilizados para dosimetria de rotina do *LIG/CDTN* (1 a 5 kGy) [7]. A equação 2 representa a equação de calibração do lote de dosímetros *Amber* utilizados neste trabalho, equação na qual rege a reta que pode ser visualizada na fig. 1.

$$y = 21,679x + 0,1217 \quad (2)$$

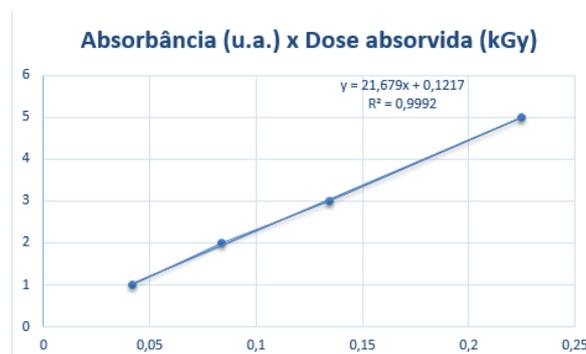


Fig. 1. Modelo linear de calibração dos dosímetros *Amber*.

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo linear da calibração é 0,9992.

2.5. Distribuição dos dosímetros *Amber Perspex 3042*

Os dosímetros *Amber Perspex 3042* foram distribuídos em 10 caixas com dimensão de 49x27x15 cm de forma que atendessem 3 dosímetros na face anterior de cada caixa, e 3 dosímetros na face posterior, esquema ilustrado na fig. 2. Essa distribuição permite que seja calculado a dose absorvida em cada ponto da caixa (lado esquerdo, meio e lado direito) tanto na face anterior quanto posterior.



Fig. 2. Posicionamento dos dosímetros Amber nas caixas.

2.6. Posicionamento das caixas dentro da câmara de irradiação

Dentro da câmara de irradiação, as caixas foram empilhadas a uma distância de 2 m da fonte de cobalto-60, conforme a fig. 3. Para identificação, foram numeradas de 1 a 10 de baixo para cima.

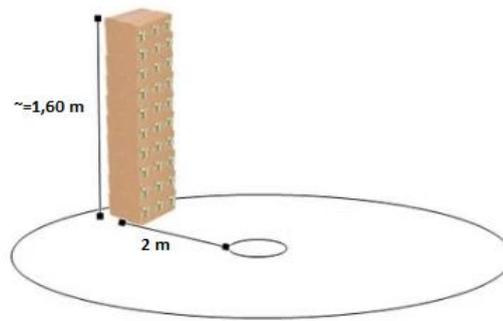


Fig. 3. Posição do empilhamento de caixas dentro da câmara de irradiação.

Foram irradiados por um período de 24h para uma dose absorvida esperada de 2,5 kGy. Após a irradiação, seguindo a norma, os dosímetros permaneceram mais 24h em descanso dentro dos sachês para estabilização antes da leitura.

3. RESULTADOS

Após a leitura dos dosímetros por meio de espectrofotometria UV-VIS, foram obtidos os valores de absorvância, estes que foram inseridos na equação de calibração como variável independente, obtendo os valores de dose absorvida para cada dosímetro.

Os valores de dose absorvida foram analisados conforme a sua posição dentro da câmara de irradiação. Foram levantados o valor médio e a variação da dose absorvida na face anterior e posterior para cada caixa. Com estes valores, foi calculada a variação a dose absorvida nas caixas conforme o aumento da altura, com variação média total de cerca de 18.3%.

O campo de radiação apresentou uma variação de dose uniforme entre os dosímetros utilizados em uma mesma caixa, exceto a caixa 6, posicionada em uma altura de aproximadamente 60 cm, que não houve variação, isso nos mostra que os dosímetros a essa altura recebe o feixe direto proveniente da fonte de cobalto-60.

As caixas obtiveram um valor médio de dose absorvida de 3 kGy. A análise dos dados revelou que o campo de radiação mantém sua homogeneidade até uma altura de 1,60 m a uma distância de até 2 m da fonte de cobalto-60. Isso indica que, dentro dessas condições, a dose absorvida não apresenta variações significativas, permitindo que o arranjo das caixas seja posicionado com segurança até essa altura.

Contudo, observou-se que para atingir a dose alvo de 2,5 kGy, é necessário ajustar a distância entre o arranjo de caixas e a fonte de radiação. Apesar da homogeneidade do campo de radiação



até 1,60 m, a otimização da dose absorvida pode ser conseguida através da alteração da posição das caixas em relação à fonte de cobalto-60.

4. CONCLUSÃO

Os resultados da análise indicam que o campo de radiação mantém homogeneidade até uma altura de 1,60 m a uma distância de até 2 m da fonte de cobalto-60. Portanto, conclui-se que o arranjo das caixas pode ser posicionado com segurança a uma altura de até 1,60 m sem variação significativa na dose absorvida. Para alcançar a dose alvo de 2,5 kGy, recomenda-se ajustar a distância entre as caixas e a fonte de radiação, o que permite otimizar a dose absorvida sem comprometer a homogeneidade do campo de radiação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Tauhata, I. Salati, R. Prinzi, A. Prinzi, "Radioproteção e dosimetria: Fundamentos," 10ª revisão, Rio de Janeiro: IRD-CNEN, 2014.
- [2] American Society for Testing and Materials, "Standard Guide for Absorbed-Dose Mapping in Radiation Processing Facilities, ISO/ASTM 52303:2015(E)," EUA, 2015.
- [3] L. Ladeira, A. Mesquita, M. Pereira, "Calibrações do dosímetro Red Perspex PMMA em termos de dose absorvida na água para dosimetria de rotina no laboratório de irradiação gama do CDTN," International Journal of Nuclear Energy Science and Technology, vol. 9, p. 238, jan. 2015.
- [4] Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, "Relatório de Análise de Segurança do Laboratório de Irradiação Gama," Belo Horizonte, 2023.
- [5] Amber Perspex 3042 Dosimeters, disponível em: <<https://www.steris-ast.com/solutions/amber-perspex-3042-dosimeters/>>, acessado em: 3 jul. 2024.
- [6] D. A. Skoog, D. M. West, F. J. Holler, S. R. Crouch, "Fundamentals of Analytical Chemistry," 9th ed., Brooks/Cole, Cengage Learning, 2014.
- [7] American Society for Testing and Materials, "Standard Practice for Calibration of Routine Dosimetry Systems for Radiation Processing, ISO/ASTM 51261:2013(E)," EUA, 2013.