

AVALIAÇÃO DA TAXA DE EQUIVALENTE DE DOSE AMBIENTE UTILIZANDO MONITORES DE ÁREA PARA NÊUTRONS EM ACELERADORES LINEARES CLÍNICOS

Ana Paula Salgado¹, Walsan Wagner Pereira¹, Karla C. de Souza Patrão¹, Evaldo S. da Fonseca¹ e Delano V. S. Batista².

¹Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, Brasil, asalgado@ird.gov.br.

²Instituto Nacional do Câncer, Rio de Janeiro, Brasil.

Sumário: O Laboratório de Nêutrons do Instituto de Radioproteção e Dosimetria iniciou estudos do processo de calibração dos monitores de área para nêutrons e dos resultados das medições realizadas em salas de tratamento radioterápico contendo um acelerador linear clínico, para avaliar a confiabilidade do uso desses equipamentos em instalações contendo aceleradores clínicos.

Palavras-chave: metrologia de nêutrons, radioproteção e segurança.

1. INTRODUÇÃO

Os aceleradores lineares clínicos podem produzir dois tipos de feixes terapêuticos (de fótons ou de elétrons). O sistema para produção dos feixes é montado em uma única estrutura no cabeçote do acelerador. No entanto, os aceleradores lineares que operam com energia acima de 10 MeV, na produção do feixe de fótons, produzem fotonêutrons como contaminantes do feixe terapêutico. A produção dos fotonêutrons ocorre na interação com o alvo, a folha espalhadora, filtro aplanador e outros componentes do cabeçote do acelerador que possuem materiais de alto número atômico [1].

A utilização de monitores de área para nêutrons permite realizar medições do equivalente de dose ambiente devido aos nêutrons nas salas de tratamento radioterápico. A partir dessas medições são avaliadas as condições de segurança radiológica da instalação e dos operadores do equipamento. Entretanto muitos usuários desconsideram ou desconhecem informações importantes quanto às características técnicas desses equipamentos. Essas características podem afetar a incerteza da medição dos nêutrons, levando a interpretações errôneas sobre os níveis de radiação nesse ambiente. Outro aspecto importante é o processo de calibração e rastreabilidade desses equipamentos com relação a padrões de referência [2].

Podemos observar a relevância da monitoração e da calibração dos instrumentos no relatório de número 151 publicado pelo National Council on Radiation Protection & Measurements (NCRP). Esse relatório recomenda a utilização de monitores de área para nêutrons em ambientes contendo aceleradores clínicos operando com energia acima de 10 MeV. Esse relatório enfatiza que cada um dos

instrumentos utilizados nos EUA para medições finais deverá ter uma calibração atual e rastreada ao National Institute of Standards and Technology (NIST/EUA) [3]. Aqui no Brasil algumas instituições que possuem aceleradores clínicos têm consultado o Laboratório de Nêutrons (LN) sobre quais monitores de área são adequados para serem usados nesse tipo de instalação.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar os resultados da medição da taxa do equivalente de dose ambiente para nêutrons utilizando três modelos de monitores de área e comparar a medidas com valores teóricos obtidos pelo cálculo da taxa de equivalente de dose ambiente na sala de tratamento radioterápico.

3. MATERIAS E MÉTODOS

Para realizar as medições foi utilizado o monitor de área Thermo Eberline modelo E600, o detector cilíndrico de nêutrons FHT 752 acoplado à unidade eletrônica FH 40 GL e o Eberline ASP-1. Todos esses equipamentos foram calibrados com espectros gerados pelas seguintes fontes padronizadas no LN: $^{241}\text{AmBe}$ (α, n), ^{252}Cf (f, n), $^{252}\text{Cf} + \text{D}_2\text{O}$, $^{238}\text{PuBe}$ (α, n). O procedimento de calibração consiste, na comparação entre o valor verdadeiro convencional da taxa de equivalente de dose ambiente ($H^*(10)$) e o valor médio das leituras do monitor de área no ponto de interesse no campo.

As medições foram realizadas no acelerador linear Varian 2300C/D do Instituto Nacional do Câncer (INCa) nos seguintes pontos indicados na figura 1: na entrada do labirinto (ponto 1) e na entrada da sala de tratamento (pontos 2 e 3). Em todas as medições o acelerador estava operando com energia de 15 MeV em um campo $10 \times 10 \text{ cm}^2$. A intensidade do feixe do acelerador foi de 100 MU min^{-1} e 400 MU min^{-1} , que corresponde a uma taxa de dose absorvida na água de 100 cGy min^{-1} e 400 cGy min^{-1} no isocentro, respectivamente. Em todas as medições o acelerador estava com o gantry fixado em 0° .

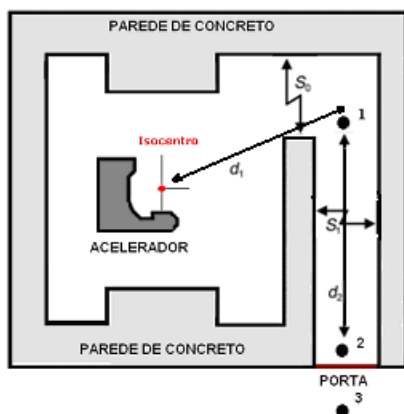


Figura 1. Pontos de medição na sala de tratamento radioterápico do INCa.

Foi utilizado o método Kersey modificado para realizar um cálculo teórico da taxa de equivalente de dose ambiente ($H_{n,D}$) na sala de tratamento radioterápico. Este método leva em conta as salas de tratamento radioterápico com dimensões fora dos padrões e é uma análise refinada dos dados medidos. O equivalente de dose devido aos nêutrons ao longo do comprimento do labirinto é obtido através da equação 1.

$$H_{n,D} = 4,4 \times 10^{-15} \sum \phi_A \times \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \times \left[1,64 \times 10^{-15} \frac{I_0}{I_0} + 10^{-15} \frac{I_0}{I_0} \right] \quad (1)$$

Onde:

$$\phi_A = \left(\beta \times Q_n / 4\pi d_1^2 \right) + \left(5,4\beta \times Q_n / 2\pi S_r \right) + \left(1,3 \times Q_n / 2\pi S_r \right) \quad (2)$$

$$TVD = 2,06 \times \sqrt{S_1} \quad (3)$$

Os parâmetros das Equações 1, 2 e 3, representam: S_0/S_1 é a razão entre a área da seção reta do labirinto na entrada interna da sala de tratamento radioterápico (S_0) e a área média da seção reta ao longo do labirinto da sala (S_1), d_1 é a distância (m) do isocentro até o ponto da linha central do labirinto de onde se pode ver o mesmo e d_2 é a distância (m) da parte central do labirinto à porta, $H_{n,D}$ equivalente de dose devido aos nêutrons na porta (Sv) por unidade de dose absorvida de raios-x (Gy) no isocentro, ϕ_A Fluência de nêutrons, por unidade de dose absorvida de fótons no isocentro, TVD distância deci-redutora da fluência, β Fator de transmissão do cabeçote do acelerador linear, Q_n Intensidade dos nêutrons produzidos, em n Gy⁻¹, S_r - área da superfície interna da sala (m²).

Na Equação 2 os três termos representam as componentes dos nêutrons diretos, espalhados e térmicos respectivamente. Este método foi utilizado neste trabalho para a avaliação teórica do equivalente dose dentro e fora da sala de tratamento radioterápico do INCa. Os dados para o cálculo do $H_{n,d}$ estão representados na Tabela 1 onde as distâncias d_1 e d_2 foram medidas, os dados da intensidade dos nêutrons produzidos (Q_n) e do fator de transmissão do

cabeçote do acelerador linear (β) referente ao colimador de urânio exaurido foram obtidos na NCRP 151.

Tabela 1. Dados para o cálculo do $H_{n,d}$.

S_0/S_1	1,045
TVD	5,5 m
d_1	6,3 m
d_2	5,2 m
Q_n	$0,95 \times 10^{12}/\text{Gy}$
S_r	185,15 m ²
ϕ_A para $\beta=0,85$	$6,32 \times 10^9 \text{ m}^{-2} \text{ Gy}^{-1}$
Taxa de dose no isocentro	100 MU.min ⁻¹ = 60 Gy.h ⁻¹ 400 MU.min ⁻¹ = 240 Gy.h ⁻¹

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As calibrações realizadas nos monitores de área com várias fontes de nêutrons foram necessárias para verificar a eficiência dos mesmos diante de vários espectros de nêutrons. A avaliação através da calibração é importante para a confiabilidade nas medidas feitas em ambientes como salas de tratamento radioterápico contendo aceleradores de 15 MV, este ambiente possui um espectro de nêutrons peculiar devido às interações dos nêutrons com a blindagem do próprio acelerador e as degradações sofridas nas paredes da sala.

Os valores das medições experimentais feita pelos monitores de área para nêutrons e do cálculo teórico da taxa de equivalente de dose ambiente obtidos a partir do método Kersey modificado para taxa de dose absorvida na água no isocentro de 100cGy.min⁻¹ e 400cGy.min⁻¹ estão representados nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Resultado dos valores obtidos pelo método Kersey modificado e as medições experimentais para uma taxa de dose absorvida na água no isocentro de 100 cGy.min⁻¹.

Ponto de medição	Monitor de área			Método Kersey modificado
	FHT 752	E600	ASP-1	
1(mSv.h ⁻¹)	1,27 ± 0,07	0,98 ± 0,07	1,2 ± 0,10	0,95
2(μSv.h ⁻¹)	263 ± 21,07	129,30 ± 26,14	180 ± 0,1	110,4
3(μSv.h ⁻¹)	1,44 ± 0,16	3,41 ± 1,97	2,4 ± 0,1	71,4

Tabela 3 – Resultado dos valores obtidos pelo método Kersey modificado e as medições experimentais para uma taxa de dose absorvida na água no isocentro de 400 cGy.min⁻¹.

Ponto de medição	Monitor de área			Método Kersey modificado
	FHT 752	E600	ASP-1	
1(mSv.h ⁻¹)	5,17 ± 0,11	3,80 ± 0,12	4,2 ± 0,10	3,79
2(μSv.h ⁻¹)	981,1 ± 23,2	472,46 ± 35,52	580 ± 0,1	441,6
3(μSv.h ⁻¹)	6,63 ± 0,71	6,57 ± 1,82	6,2 ± 0,1	285,6

Os resultados das medições experimentais no ponto 3 (Tabelas 2 e 3) apresentaram valores menores em relação aos valores teóricos obtidos pelo Método Kersey modificado, em função de não ter sido considerado nos cálculos a espessura da porta construída com material deci-redutor para reduzir os níveis de radiação. As flutuações apresentadas pelos monitores de área nos outros pontos de medição ocorrem devido à variação da resposta de cada monitor em função da energia dos nêutrons gerados pelo acelerador.

4. CONCLUSÃO

Os resultados das medições realizadas com os três monitores de área para nêutrons nos pontos citados no trabalho podem ser comparados com o valor teórico do Método Kersey modificado que faz uma estimativa do equivalente de dose devido a nêutrons nas mesmas regiões onde foram feitas as medições. Observa-se que no ponto 3, os valores das medidas estão bem próximos entre si e menores em relação ao valor obtido pelo método Kersey modificado. Isto é em parte explicado devido à adição de camadas deci-redutora na porta.

No entanto, as medições obtidas com os três monitores nos pontos 1 e 2 dentro da sala de tratamento radioterápico chegaram a apresentar variações maiores que 50%, no caso do FHT 752 + 40GL. Em geral, podemos observar que os valores obtidos com o método Kersey modificado estão subestimando o valor do equivalente de dose para nêutrons.

Esses comportamentos diferenciados devem ser melhor estudados em novas medições que serão realizadas.

AGRADECIMENTOS

O laboratório gostaria de agradecer ao INCa pelo espaço cedido e suporte nas medições.

REFERÊNCIAS

- [1] FACURE, A.F.N.S., 2006, “Doses Ocupacionais Devido a Nêutrons em Salas de Aceleradores Lineares de Uso Médico”. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, R.J, Brasil.
- [2] SALGADO, P. “Avaliação do equivalente de dose ambiente devido a nêutrons em um acelerador clínico: calibrações, medições e incertezas.” Monografia de conclusão do Curso de Física Médica. IF/UFRJ. 2009.
- [3] NCRP, 2005, “Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities”, NCRP Report N° 151.