

Aparato experimental de detector ^3He , para medida fotonêutrons em acelerador com energia acima 8 MV

Marcelo Vilela da Silva ¹, **Gladson Silva Fontes** ² ¹, **Domingos D'Oliveira Cardoso** ³ ¹

¹ Instituto Militar de Engenharia

E-mail: marcelovilelasilva@gmail.com

Resumo: A tecnologia dos aceleradores de partículas tem profundo impacto na sociedade. Suas aplicações estão bem estabelecidas, principalmente, no tratamento de câncer e outras doenças. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um aparato experimental com detectores ^3He para medida de fotonêutrons superiores a 8 MV. O aparato permitiu a obtenção num procedimento de medidas de nêutrons multienergéticos com detector e alterando as diferentes espessuras de blindagens e para diferentes taxas de doses. Adicionalmente, desenvolveu-se um modelo analítico, baseado na aproximação da difusão, a dois grupos de energia. Os resultados obtidos indicaram um comportamento crescente e linear na resposta do detector.

Palavras-chave: Aceleradores de Partículas; Aparato Experimental; Detectores de Nêutrons.

Abstract: Particle technology has a profound impact on society. Its applications are well established mainly in the treatment of cancer and other diseases. The objective of this work was to develop an experimental apparatus with ^3He detectors for photonetutron measurements greater than 8 MV. The apparatus allowed to obtain a multienergetic neutron measurements with detector and changing the different thicknesses of shields and for different dose rates. Additionally, an analytical model was developed, based on the approximation of the diffusion, for two groups of energy. The results indicated an increasing and linear behavior in the detector response.

Keywords: Particle Accelerator; Experimental Apparatus; Detectors of Neutrons.

1. INTRODUÇÃO

A ciência dos aceleradores tem profundo impacto na sociedade como um todo. Suas aplicações estão bem estabelecidas na ciência em geral e nas tecnologias. Além disso, os avanços tecnológicos têm provocado um constante aumento das aplicações médicas da radiação ionizante, incluindo procedimentos de altas doses, como os tratamentos que utilizam aceleradores lineares (IAEA, 2012).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos:

- ✓ Comparação de materiais (diferentes materiais);
- ✓ Análise da resposta do detector adicionando blindagem de cádmio e parafina;
- ✓ Análise das diferentes respostas detector, em campos de nêutrons de múltiplas energias, em termos da linearidade a dependência direcional;

3. MATERIAIS E MÉTODO

A metodologia tem com o objetivo o desenvolvimento de um sistema de detecção de

nêutrons utilizando-se um arranjo experimental acessível e de baixo custo. Neste trabalho, os componentes utilizados foram:

I. A blindagem utilizada era composta por: 5 placas de parafinas (comprimento 14,5 cm, largura de 13 cm e espessura 3,5 cm), 1 placa de cádmio (1 mm) que servem para blindagem, figuras 3a e 3b;

II. O sistema de detecção, um monitor utilizado é um detector proporcional tipo ^3He , o qual apresenta ótima características de discriminação (nêutrons-gamas). Tal detector possui alta eficiência de contagens para nêutrons térmicos, e baixa eficiência para contagens de nêutrons rápidos, modelo: RADEYE PX, SN: 10362 marca: Thermo Scientific;

III. Esfera de Bonner, modelo: NRD-H2, SN: 02556 marca: Thermo Scientific;

IV. Personal Radiation Detector, modelo: RADEYE PRD-ER, SN: 30307/30303), marca: Thermo Scientific;

V. Acelerador linear Varian, modelo Clinac ix, Potencial acelerador nominal de 16 MV e 6 MV;

O trabalho experimental dividiu-se em quatro fases:

a) Montagem de todo o arranjo experimental, com 5 placas de parafinas, 1 placa de Cádmio e a esfera de Bonner associado ao detector.

b) Medidas de energia de nêutrons, com detector (^3He) fixo, em função da composição do material de blindagem, colocando a sequência do arranjo experimental dos diversos materiais, conforme a sequência de medidas indicada na Tabela 1 ; uma planilha “*ad-hoc*” em Excel para realizar a coleta e o registro dos dados obtidos após a aplicação, das diferentes camadas de blindagem durante a realização dos procedimentos, com o acelerador linear;

c) Os dados obtidos durante os procedimentos foram analisados e elaborados gráficos e tabelas para estudar o comportamento das diferentes taxas de doses e com espessuras variáveis;

d) A partir da teoria de difusão, formulou-se um modelo que descreve o comportamento dos nêutrons rápidos e térmicos para 2 grupos, todavia uma teoria que pudesse confirmar a validade do aparato experimental utilizado, vide figura. 1 abaixo:

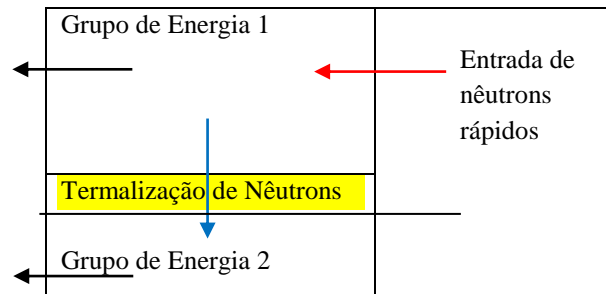


Figura 1: Ilustração do comportamento dos nêutrons rápidos e térmicos

No esquema mostra-se que a entrada de nêutrons se dá apenas no grupo de energia 1 (rápido). Por moderação, nêutrons do grupo 1 são termalizados. No grupo, 2, somente nêutrons térmicos são contabilizados. As setas (\leftarrow) à esquerda da figura representam as fugas de nêutrons rápidas e térmicos.

Este esquema se traduz matematicamente, nas equações abaixo:

$$-D_1 \frac{d^2 \Phi}{dx^2} + \Sigma_{R1} \Phi = 0 \quad (1)$$

$$-D_2 \frac{d^2 \chi}{dx^2} + \Sigma_{R2} \chi = \Sigma_{21} \Phi \quad (2)$$

$\Phi \rightarrow$ Fluxo de nêutrons rápidos;

$\chi \rightarrow$ Fluxo de nêutrons térmicos;

$D_1 \rightarrow$ Coeficiente de difusão do grupo de energia 1;

$D_2 \rightarrow$ Coeficiente de difusão do grupo de energia 2;

$\Sigma_{R1} \rightarrow$ Seção de choque macroscópica de remoção do grupo de energia 1;

$\Sigma_{R2} \rightarrow$ Seção de choque macroscópica de remoção do grupo de energia 2;

$\Sigma_{21} \rightarrow$ Seção de choque macroscópica de espalhamento do grupo 1 para o 2.

As condições de contorno que fixam Φ e χ são, respectivamente, $\Phi(0) = 0$, $-D_1 \nabla \Phi|_S = J_1^-|_S$, $\chi(0) = 0$, $\chi(s) = 0$. $J_1^-|_S$ é a corrente parcial que representa a fonte de nêutrons rápidos na superfície S do experimento.

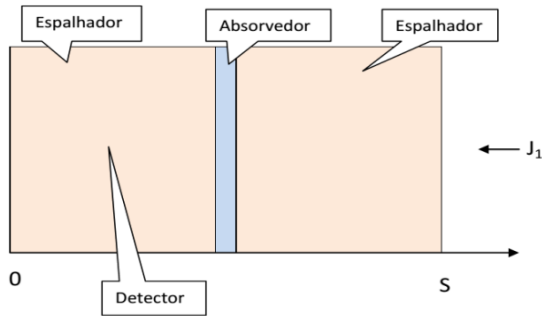
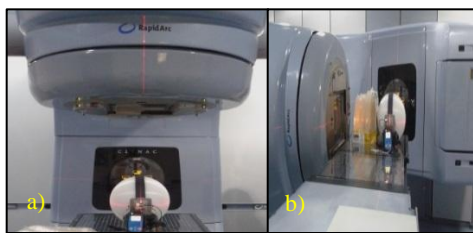


Figura 2: Modelo usado para representar o aparato experimental.

Para validar o aparato experimento, com o auxílio da teoria de difusão de nêutrons a 2 grupos de energia, criou-se duas condições para validação do aparato experimental desenvolvido, um sem a blindagem, de acordo com a figura 8 e o outro considerado o sistema de atenuação completa, conforme figura 9.

Iniciou-se o trabalho experimental com energia de 6 MV, adotado como sistema de irradiação, para medir corrente de fuga e o início da produção de fotonêutrons, segundo a literatura a produção de fotonêutrons ocorre para energias de fótons maiores que 8 MV, como o equipamento não disponibiliza a energia de aceleração de fótons de 8 MV, realizou-se medidas com feixe de fótons de energia mais próxima desse valor disponibilizada pela máquina.



Figuras 3: a) Sistema de referência e b) Sistema de referência gantry 270° (SILVA, MV).

Mantendo-se o objetivo acima, e de forma verificar a influência da dependência direcional alterou-se agora os campos na componente $y = 0,4$ cm e alterado o outro campo na componente $x = 0,2$ cm e distância de 1 m em relação ao acelerador, a tabela 1 e os resultados das

atenuações com diferentes campos apresentado vide figuras 4, 5, 6 e a figura 7 apresenta diferentes repostas do detector para diferentes taxas de doses e diferentes espessuras de atenuações de nêutrons.

Tabela 1: Tabela para energia 16 MV do acelerador linear para campos $y = 0,4$ cm e $x = 0,2$ cm.

Energia 16 MV	Gantry 270°	NRD-H2	Gantry 270°	NRD-H2	Gantry 270°	NRD-H2	Gantry 270°
Dose (cGy/min)	5P+1Cd+B	Monitor (CPS)	3P+1Cd+B	Monitor (CPS)	1P+1Cd+B	Monitor (CPS)	B
100	1957 1969 1966 1956	Média 1962	2028 2017 2001 1971	Média 2004,25	2154 2118 2137 2120	Média 2132,25	-----
200	4045 3999 3952 3928	3981	4087 3978 4086 3984	4033,75	4324 4301 4311 4279	4303,75	-----
300	5953 5939 5976 5974	5960,50	6100 6064 6186 6048	6099,50	6457 6448 6419 6462	6446,50	-----
400	8061 8018 8073 8032	8046	8122 8134 8098 8132	8121,50	8517 8702 8742 8687	8662	-----
500	10200 10100	10150	10200	10200	11000 10900	10950	-----
600	12300	12300	12400 12500	12450	13400 13300	13350	-----

5. RESULTADOS

As conclusões foram realizadas baseando-se nos resultados obtidos numa única série de medidas. Os dados apresentados são parte da pesquisa de dissertação de mestrado. Pode-se afirmar, de acordo com as figuras 4 a 7, verifica-se que, existe uma dose devido a nêutrons no de órgãos sadios situados ao redor do órgão a ser irradiados ao paciente. Fato este evidenciado na dissertação de (THALHOFER, 2011) e entendeu-se ainda, que esta constatação aponta um acerto na proposta da metodologia em desenvolvimento.

Nas figuras 8 e 9 conferiu-se que o desenvolvimento teórico apresentado no subitem 6.d foi observado, para energia de 16 MV de fótons, entendemos, então, que o procedimento metodológico em estudo é viável e deve ser continuado, e que o sistema de detecção utilizado pode sofrer diversas modificações para sua atualização e aplicação.

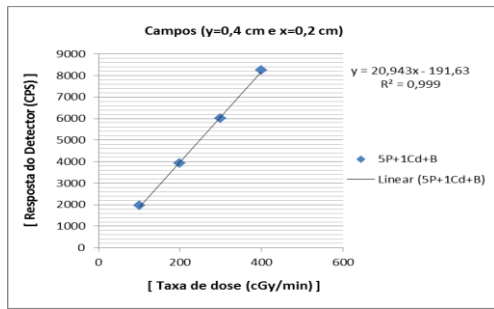


Figura 4: Resposta de blindagem com feixe de energia 16 MV e campo $y = 0,4$ cm e $x = 0,2$ cm, composto : 5 parafinas, 1 Cádmio e a esfera de Bonner.

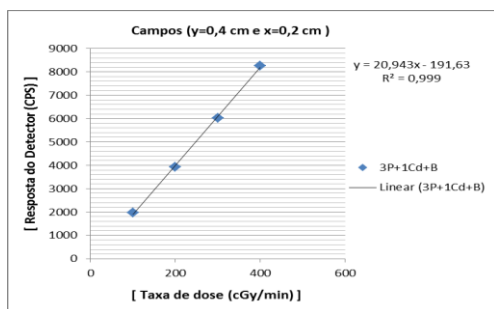


Figura 5: Resposta de blindagem com feixe de energia 16 MV e campo $y = 0,4$ cm e $x = 0,2$ cm , composto : 3 parafinas, 1 Cádmio e a esfera de Bonner.

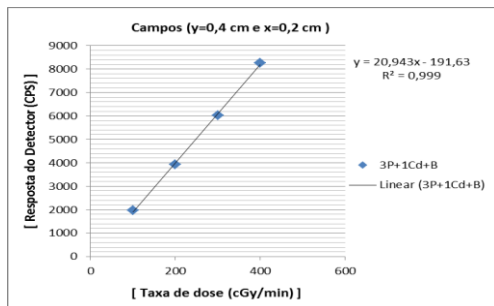


Figura 6: Resposta de blindagem com feixe de energia 16 MV e campo $y = 0,4$ cm e $x = 0,2$ cm , composto : 3 parafinas, 1 Cádmio e a esfera de Bonner.

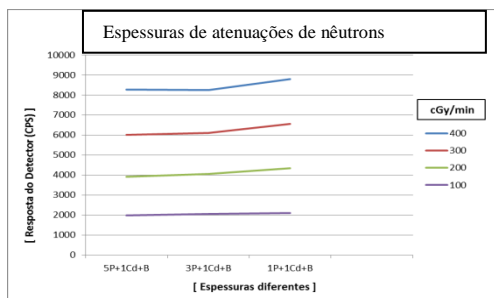


Figura 7: Diferentes respostas do detector para diferentes taxas de doses, diferentes espessuras de atenuações de nêutrons e campos ($y = 0,4$ cm e $x = 0,2$ cm).

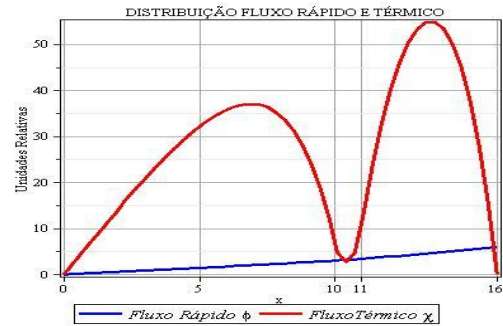


Figura 8: Gráficos da distribuição fluxo rápido e térmico sem as espessuras de parafinas.

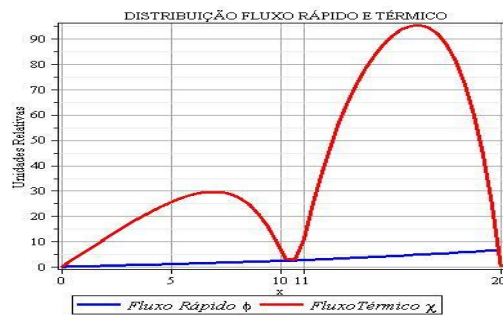


Figura 9: Gráficos da distribuição fluxo rápido e térmico com as espessuras completas de parafinas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IAEA. **International Atomic Energy Agency.** http://www.iaea.org/worldatom/Meetings/2001/infcn85_sp_1stannounce.s.html 2012 [Acesso em 20/01/16]. International Commission on Radiation Units and Measurements.

THALHOFER, Jardel Lemos. **Cálculo de Doses em Órgãos Sadios no Tratamento Radioterápico para Próstata, Utilizando Modelagem Computacional e Fantoma em Voxel.** 2011. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Nuclear, 2011.