

Avaliação da taxa de dose absorvida em um equipamento de raios X didático

Phelipe Amaral Ferreira Costa¹, Ana Paula Perini¹, Lucio Pereira Neves^{1,2}

¹ Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia (INFIS/UFU), Caixa Postal 593, CEP 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil; ² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear (IPEN-CNEN/SP), Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, CEP 05508-000, São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: lucio.neves@ufu.br

Resumo: Este trabalho foi realizado com intuito de se criar um novo experimento didático no aparelho de raios X da PHYWE, onde foi utilizada uma corrente de saturação obtida por meio de uma câmara de ionização de ar livre. Os valores das correntes de saturação foram obtidos de duas maneiras, a primeira mantendo a DDP no ânodo constante e variando a corrente anódica e a segunda parte foi mantendo a corrente anódica constante e variando a DDP do ânodo. Com isso foi possível verificar a dependência da taxa de dose absorvida em relação à variação da DDP e da corrente.

Palavras-chave: Taxa de dose absorvida, radiação ionizante, câmara de ar livre, tubo de raios X.

Abstract: This work was performed in order to create a new didactic experiment in the X-ray apparatus of PHYWE, where the saturation current was obtained through a free air ionization chamber. The values of saturation currents were obtained in two ways. Initially, the anodic DDP was kept constant and the anodic current was varied. In the second way, the anodic current was kept constant while the anodic DDP was varied. Therefore, we were able to evaluate the dependence of the absolved dose rate in relation to the DDP and the tube current.

Keywords: Absorbed dose rate, ionizing radiation, free-air chamber, X-ray tube.

1. INTRODUÇÃO

Os raios X foram descobertos em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen, quando este realizava um estudo sobre condução elétrica através de um tubo de Crookes. A produção dos raios X se dá pela aceleração dos elétrons que são emitidos pelo cátodo para colidirem com ânodo. Este choque dos elétrons com o ânodo irá produzir calor e raios X [OKUNO e YOSHIMURA, 2010].

Com o avanço do uso dos raios X, foi observado que seu uso desenfreado com pouca, ou nenhuma proteção contra a radiação ionizante, percebeu-se que era necessária a criação de uma metodologia de proteção radiológica. Com isso foram desenvolvidos meios de se medir a radiação ionizante, como a câmara de ionização de ar livre.

Este trabalho foi realizado com intuito de empregar uma câmara de ionização de ar livre, e realizar medições de dose absorvida por meio da

ionização do ar pela radiação eletromagnética, em um sistema didático.

Foi utilizado um aparelho de raios X didático da PHYWE modelo X-RAY XR 4.0, que opera com uma tensão máxima de 35 kV e corrente elétrica do tubo de 1,0 mA (figura 1). Para a realização do experimento, no qual foram selecionados 3 valores para a DDP e 3 correntes no tubo de raios X, as tensões das placas dos capacitores foram variadas, para medir uma corrente de saturação de íons produzida pela a interação dos raios X com ar.

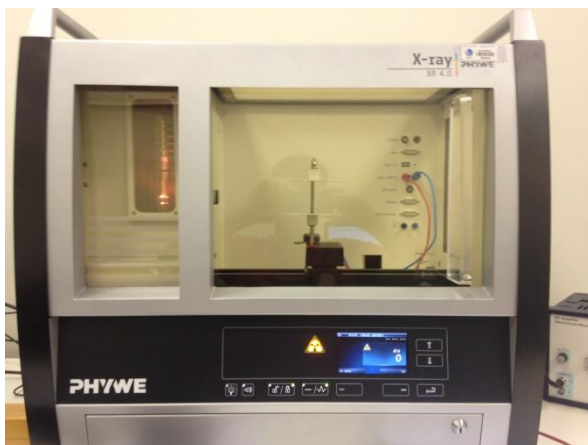


Figura 1: Aparelho de raios X XR 4.0 da PHYWE.

Com a variação da DDP das placas do capacitor, pode-se chegar a uma corrente de saturação, onde a mesma foi utilizada para o cálculo da dose de íons, dose equivalente e dose absorvida.

A dose absorvida (D) é considerada a grandeza mais importante em proteção radiológica. Ela relaciona a energia média depositada pela radiação em certo volume de massa, sendo definida como:

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad (1)$$

onde a ΔE é a energia depositada pela radiação e é dada em Joule (J) e Δm é o volume de massa irradiada que é dado em (kg). A sua grande importância na proteção radiológica é dada por

ela valer em qualquer meio, qualquer tipo de radiação e qualquer geometria irradiada.

Dado que a duração do tempo à exposição à radiação é um fator importante na avaliação dos danos causados nos tecidos, foi definida a taxa de dose absorvida (\dot{D}), que é dada como:

$$\dot{D} = \frac{\Delta D}{\Delta t} \quad (2)$$

em que ΔD é dado em Gy e Δt é a variação do tempo que é dado em segundos (s), no SI, $\dot{D}=1\text{Gy/s}$ [OKUNO e YOSHIMURA, 2010].

Uma vez que não é fácil medir a energia depositada pela radiação ionizante num determinado volume de massa, mede-se a quantidade de íons gerados no ar pela a radiação ionizante. Por esse efeito, a dose de íons (I) é dada pelo quociente da carga elétrica gerada ΔQ dado em ampère vezes segundo (As) por uma massa de ar Δm , dada em kg, de certo volume de ar (equação 3).

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad (3)$$

Analogamente a taxa de dose, foi criada uma taxa de dose de íons (j) que é dada por (A/kg) e seu formula diferencial é dada por:

$$j = \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dQ}{dm} \right) = \frac{di}{dm} \quad (4)$$

Para o cálculo da taxa de dose absorvida a partir da taxa de dose de íons, temos que o quociente da energia de ionização dos íons pela massa de ar e pelo tempo é dado pelo número de íons gerado vezes a energia de ionização de uma molécula, $\Phi = 33$ elétron volts (eV), que é aproximadamente $\Phi = 52,8 \cdot 10^{-19}$ Joule (J):

$$\frac{\Delta E}{\Delta m \Delta t} = n \cdot \Phi \quad (5)$$

onde n é calculado pela razão entre a taxa de dose de íons (j) pela carga elementar do elétron (e) que é dada em (As):

$$n = \frac{j}{e} \quad (6)$$

Desta forma, \dot{D} pode ser escrita como:

$$\dot{D} = \frac{j\Phi}{e} \quad (7)$$

Este trabalho foi realizado com finalidade de avaliar novos experimentos didáticos, utilizando um aparelho de raios da PHYWE. Será avaliada dependência da dose absorvida em relação à diferença de potencial (DDP) (U_A) e a corrente (I_A) no tubo de raios X.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foi empregada uma unidade de raios-X XR 4.0, que utiliza um tubo de raios-X de cobre e um diafragma de raios-X de 2,0 mm.

O dosímetro de radiações ionizantes consistiu de um par de placas de capacitores de raios-X, um suporte para as placas dos capacitores, uma fonte de alimentação regulada de 0-600 V, um amplificador de medição DC, dois multímetros digitais e um resistor no valor de 50 M Ω . Para avaliação dos tamanhos de campo, foi empregada uma tela fluorescente de raios-X

Alguns desses materiais podem ser visualizados na figura 2.

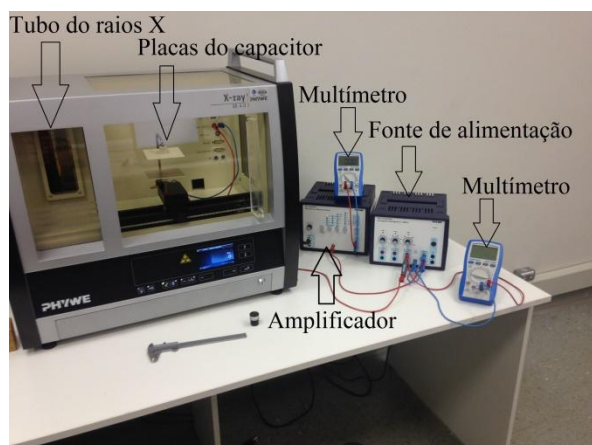


Figura 2: Principais equipamentos usados na realização do experimento.

A configuração das conexões no amplificador se encontra na figura 3. No mesmo será selecionada a medição de corrente em 10 nA. Como sua saída para multímetro é em volts e sua resistência interna de 1 G Ω , foi possível calcular a corrente de saturação pela seguinte equação:

$$I_C = \frac{U}{1G\Omega} \quad (8)$$

sendo I_C a corrente de saturação e U a DDP medida no multímetro.

Um cabo blindado BNC sai do amplificador e é ligado no aparelho de raios X, conforme mostrado nas figuras 3 e 4. O cabo vermelho sai da conexão de aterramento em direção fonte de alimentação (figura 3).

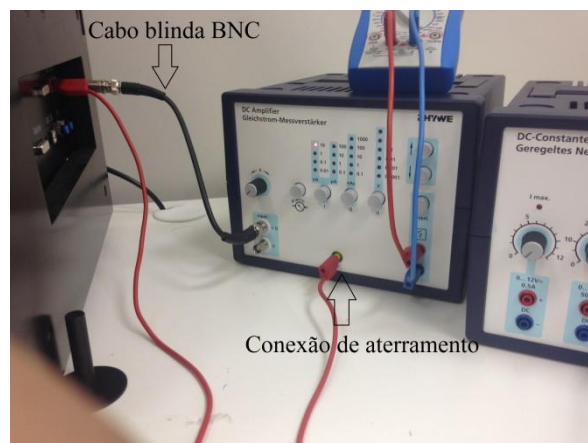


Figura 3: Conexões e saídas usadas no amplificador.



Figura 4: Conexões no aparelho de raios X vindas do amplificador e da fonte de alimentação.

A fonte de alimentação possui duas configurações de ligação. A primeira (figura 5a) a fonte irá fornecer uma DDP de 0 a 300 V para as placas do capacitor. Em seguida, altera-se a configuração (figura 5b) para atingir uma diferença de potencial máxima nos capacitores de 600 V, sendo possível obter uma variação de 300 a 600 V. O fio vermelho que vem do amplificador, na primeira configuração será ligado na conexão de aterramento (figura 5a) da fonte de alimentação, e na segunda configuração na saída negativa (figura 5b). Um cabo vermelho que é ligado a resistência de 50 MΩ que posteriormente (figura 5) é ligada a tomada positiva da fonte de alimentação, se liga ao aparelho de raios X (figura 4).

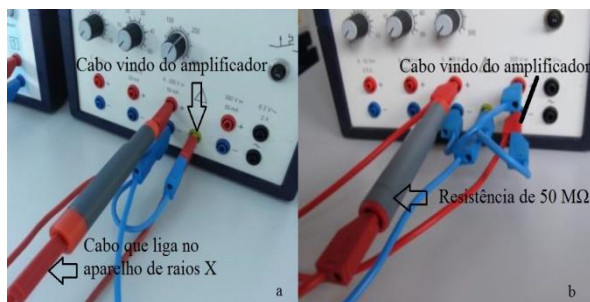


Figura 5: (a) Conexões para tensões de 0 – 300 V e (b) Conexões para tensões de 300 – 600 V.

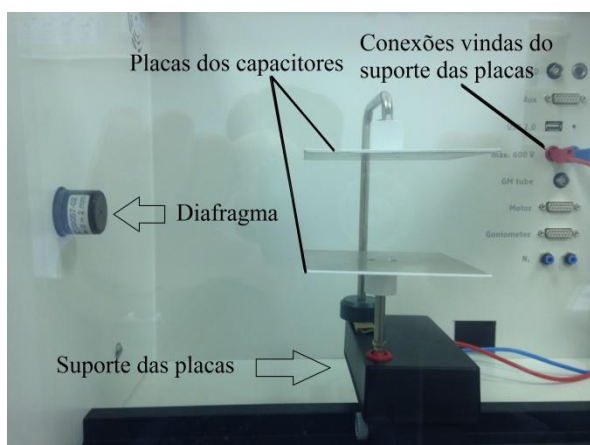


Figura 6: Esquema entre as placas dos capacitores, seu suporte e as conexões do suporte com o aparelho de raios X e o diafragma.

As placas dos capacitores são ligadas ao suporte (figura 6). Do suporte saem duas conexões que vão receber a DDP gerada pela fonte de alimentação (figura 6), que por sua vez, irá coletar os íons gerados pela radiação X no volume de ar entre as placas. As placas dos capacitores tem formato quadrado de 9x9 cm² e estão distanciadas entre si de 5,2 cm. Suas extremidades estão distantes do tubo de raios X de X₁ e X₂ (figura 7).

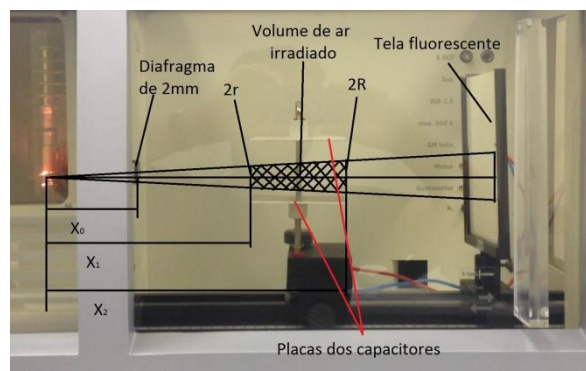


Figura 7: Esquema para o cálculo das distancias X₀, X₁ e X₂ e para o volume de ar irradiado.

De acordo com a figura 7, foi possível calcular o volume de ar irradiado. Foi utilizada uma tela fluorescente que, ao ser atingida pelo feixe de raios X, emitia uma fluorescência circular. Os parâmetros utilizados no aparelho de raios X foram uma DDP de 35,0 kV e uma corrente de 1,0 mA.

Usando a semelhança de triângulos, foi possível calcular os valores de X₀, X₁ e X₂. Estes foram utilizados para calcular os valores r e R, mostrados na figura 7 (equações 12 e 13).

$$r = \frac{X_1 \cdot d}{X_0} \quad (9)$$

$$R = \frac{X_2 \cdot d}{X_0} \quad (10)$$

O volume de ar que se encontra entre as placas dos capacitores é um tronco de pirâmide, que pode ser calculado pela equação (11) a partir dos valores de r, R, X₁ e X₂.

$$V = \frac{\pi(X_2 - X_1)}{3} (R^2 + rR + r^2) \quad (11)$$

Utilizando o diafragma de 2,0 mm, pôde-se obter os valores: $X_0 = 9,15$ cm, $X_1 = 19,70$ cm e $X_2 = 28,70$ cm. Por meio desses valores chegamos a um volume de ar irradiado (V) igual a $8,03$ cm³.

Com o valor do volume de ar irradiado calculado, foi possível coletar as medidas conforme o proposto. Para isso o trabalho foi dividido em duas partes. A primeira parte consistiu em manter a DDP no tubo de raios X no valor de 35,0 kV, usando diferentes valores para a corrente do tubo: 1,0 mA, 0,7 mA e 0,4 mA.

Para cada valor de corrente no tubo, foi encontrada uma corrente de saturação no qual foi utilizada para calcular a taxa de dose. Para executar a variação da corrente do tubo, foi acessado o painel de controle do aparelho de raios X (figura 8).



Figura 8: Painel de controle do X-RAY XR 4.0.

A segunda parte a corrente no tubo de raios X foi mantida constante no valor de 1,0 mA e os valores utilizados para a DDP no tubo foram de: 35,0 kV, 24,5 kV e 14 kV. Os cálculos para calcular a taxa de dose foram realizados analogamente à primeira parte.

O parâmetro de comparação foi definido quando empregado o valor de DDP de 35,0 kV e corrente de 1,0 mA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Primeira parte:

Mantendo a DDP do tubo de raios X constante no valor de 35,0 kV, foi variada a corrente no tubo de raios X (I_A) nos valores de 1,0 mA, 0,7 mA e 0,4 mA. Foram obtidas correntes de saturação de 1,08 nA, 0,79 nA e 0,45 nA, respectivamente.

Com os valores da corrente de saturação (I_C), foi possível calcular a taxa de dose de íons, utilizando a equação (4), e substituindo a massa do ar pelo produto ρdV . Sendo V o volume de ar irradiado. Desta forma, temos:

$$\dot{D} = \frac{i \cdot \Phi}{\rho \cdot V \cdot e} \quad (12)$$

Com o uso da equação (12), chegamos aos seguintes resultados para as correntes no tubo de raios X.

$$I_A = 1,0 \text{ mA} \rightarrow I_C = 1,08 \text{ nA} \rightarrow \dot{D} = 3,70 \text{ mGy/s}$$

$$I_A = 0,7 \text{ mA} \rightarrow I_C = 0,79 \text{ nA} \rightarrow \dot{D} = 2,70 \text{ mGy/s}$$

$$I_A = 0,4 \text{ mA} \rightarrow I_C = 0,45 \text{ nA} \rightarrow \dot{D} = 1,54 \text{ mGy/s}$$

4.2. Segunda parte:

Mantendo a corrente constante no tubo de raios X, em 1,0 mA, a DDP no tubo de raios X (U_A) foi empregada nos valores de 35,0 kV, 24,5 kV e 14,0 kV. Desta forma, obteve-se correntes de saturação de 1,08 nA, 0,55 nA e 0,11 nA, respectivamente.

$$U_A = 35,0 \text{ kV} \rightarrow I_C = 1,08 \text{ nA} \rightarrow \dot{D} = 3,70 \text{ mGy/s}$$

$$U_A = 24,5 \text{ kV} \rightarrow I_C = 0,55 \text{ nA} \rightarrow \dot{D} = 1,88 \text{ mGy/s}$$

$$U_A = 14,0 \text{ kV} \rightarrow I_C = 0,11 \text{ nA} \rightarrow \dot{D} = 0,377 \text{ mGy/s}$$

Ao variar a corrente em 30% houve uma diminuição na taxa de dose absorvida de 1,0 mGy, ou seja, ficou cerca de 1,37 vezes menor. Quando este foi alterada em 60%, a taxa de dose absorvida passou a ser 2,4 vezes menor da que foi usada como parâmetro de comparação.

Variando-se a DDP em 30%, a taxa de dose absorvida caiu praticamente pela metade, e ao variar em 60%, passou a ser cerca de 10 vezes menor que a taxa de dose absorvida usada como parâmetro de comparação.

Como a taxa de dose absorvida depende diretamente da energia, equações (1) e (2), e de acordo com a literatura, a energia do feixe de raios X depende diretamente da aceleração do elétron que irá se chocar no alvo, no nosso caso de cobre (Cu), quem faz esta aceleração é a diferença de potencial que o tubo de raios X é ajustado, ou seja, a maior dependência da taxa de dose absorvida é a variação na DDP do tubo, como visto nos resultados obtidos no trabalho de DANCE e colaboradores [2014].

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho verificamos que ao variar a DDP no tubo de raios X, a taxa de dose absorvida terá uma variação muito maior que ao variar a corrente do tubo de raios X. Isso se deve ao fato da DDP no tubo de raios X está diretamente relacionada com a energia do feixe de raios X, onde essa energia está relacionada com a capacidade de penetração do feixe nos materiais, que significa, que quanto maior a energia, maior sua penetração. Já a corrente está relacionada na quantidade de feixes de raios X que serão produzidos, quanto maior a corrente, maior a quantidade de feixe de radiação X.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem as agências de Fomento Brasileiras: CAPES (Project Pró-

Estratégia 1999/2012), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), MCT: Projeto INCT Metrologia das Radiações em Medicina and Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

DANCE, D.R.; CHRISTOFIDES, S.; MAIDMENT, A.D.A.; MCLEAN, I.D.; NG, K.H. A Handbook for Teachers and Students. Viena. Technical, 2014. p. 89 – 115.

FÍSICA MODERNA. **A descoberta dos raios X**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m_s01.html>. Acesso em 10/05/2016.

ISO - International Organization for Standardization. **Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement**, 1995, Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E.M. **Raios X. Física das Radiações**. São Paulo. Oficina de Textos, 2010. p. 33 – 52.

PHYWE EXCELLENCE IN SCIENCE. **DC measuring amplifier**. Disponível em: <<http://repository.phywe.de/files/bedanl.pdf/1362093e/1362093e.pdf>>. Acesso em 14/06/2016.

PHYWE PHYSICS. **Dosimetria de raios X**. Disponível em: <<http://www.phywe-es.com/1005/pid/29338/Dosimetr%C3%ADa-de-rayos-X.htm>>. Acesso em 11/04/2016.

PHYWE PHYSICS. **X-ray dosimetry**. Disponível em: <http://www.phywe-es.com/index.php/fuseaction/download/lrn_file/versuchsanleitungen/P2541801/e/P2541801E.pdf>. Acesso em 11/04/2016.

PORGORSAK, E.B. **Production of X Rays. Radiation Physics for Medical Physicists**. 2ª edição. Berlin. Springer, 2010. p. 177 – 206.

RADIOLOGIA CONVENCIONAL. **Tubo de raios X.** Disponível em. <<http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php/radiologia-convencional/tecnologia-e-funcionamento-dos-equipamentosrx/tubo-de-raios-x/espectro-do-feixe-de-raios-x>>. Acesso em 11/06/2016.