



## **Estudo comparativo entre curvas de rendimento do tubo de raios-X industrial e médico utilizando o software CALDose\_X**

**Cassya Regina Pereira Guimarães<sup>1</sup>, José Wilson Vieira<sup>2</sup>, Marcus Aurélio Pereira dos Santos<sup>3</sup>, André Luiz Silva dos Santos<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Graduanda em Tecnologia em Radiologia - IFPE. Bolsista do CNPq. e-mail: [cassya\\_re@hotmail.com](mailto:cassya_re@hotmail.com)

<sup>2</sup>Doutor em Tecnologias Energéticas Nucleares – IFPE/UPE/DEN-UFPE. e-mail: [jose.wilson59@uol.com.br](mailto:jose.wilson59@uol.com.br)

<sup>3</sup>Doutor em Tecnologias Energéticas Nucleares – CRCN-NE/CNEN. e-mail: [masantos@cnen.gov.br](mailto:masantos@cnen.gov.br)

<sup>4</sup>Graduando em Tecnologia em Radiologia - IFPE. Conselheiro Científico e-mail: [adlss2201@hotmail.com](mailto:adlss2201@hotmail.com)

**Resumo:** O CALDose\_X é uma ferramenta computacional desenvolvida para organizar e apresentar simulações de exames de raios-X em adultos. O software pode apresentar resultados de distribuições de doses absolutas desde que se conheça a grandeza de normalização INAK (INcident Air Kerma). O INAK é obtido através das curvas de rendimentos. Neste artigo foi realizada medidas de duas destas curvas: Uma para raios-X industrial e outra para raios-X médico. Uma curva de rendimento é formada por pontos onde as abscissas são potenciais e as ordenadas são taxas de KERMA no ar, medidas a 1 metro do alvo do tubo, utilizando uma câmara de ionização. As curvas foram obtidas no laboratório de raios-X do Centro Regional de Ciências Nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CRCN-NE/CNEN), Recife, Pernambuco, utilizando um equipamento de raios-X HF320 da Pantak e um sistema de medida constituído por uma câmara de ionização RC6 da Radcal e um eletrômetro Keithley 6517 para os raios-X industrial. Já para o médico utilizou-se um equipamento de raios-X POLYMAT plus 30/50 e um sistema de medida constituído por uma câmara de ionização RC/10x5-6 da Radcal e um eletrômetro RC / 9015 da Radcal. Ambos os equipamentos foram calibrados em termos de INAK para as qualidades de radiodiagnóstico (IEC61267). Os pontos (V, K) foram obtidos para potenciais variando de 50 a 120 kV. Esta coleção de pontos foi inserida no CALDose\_X para obtenção das funções  $K = f(V)$ . O software utiliza a técnica estatística da regressão linear para obter os parâmetros A e B da função potencial  $K = B.V^A$ . Como o CALDose\_X só fornece resultados de distribuição de doses absolutas baseado em uma curva de rendimento e software disponibiliza uma curva teórica, pode-se afirmar que os resultados obtidos neste trabalho validam a curva interna do CALDose\_X como sendo útil para raios-X industrial.

**Palavras-chave:** CALDose\_X, curvas de rendimento, taxa de kerma no ar, modelos computacionais de exposição

### **1. INTRODUÇÃO**

Para fazer avaliações da dose distribuída ao longo de um volume irradiado, o Grupo de Pesquisa e Dosimetria Computacional e Sistemas Embarcados (GPDC&SE/CNPq) têm desenvolvido vários modelos computacionais de exposição (MCEs) [VIEIRA, 2004; SANTOS, 2006; LEAL NETO, 2007; LOPES FILHO, 2007]. Os MCEs são utilitários que simulam situações em que ocorra irradiação em um dado meio. São compostos, fundamentalmente, por um modelo antropomórfico para simular a geometria irradiada (usualmente referenciado como fantoma, neologismo da palavra inglesa phantom), algoritmos para simular a fonte radioativa usada e um código Monte Carlo para simular o transporte e a interação da radiação com a matéria, bem como avaliar a energia depositada.

Kramer e colaboradores, em 2008, desenvolveram o software CALDose\_X. A versão atual deste software (disponível em <http://www.caldose.org>) está habilitada para calcular o INAK com base na curva de rendimento de um tubo de raios-X. Com esta grandeza de normalização conhecida é possível avaliar doses absorvidas em órgãos e tecidos para fantasmas adultos masculinos e femininos em posturas específicas, usando coeficientes de conversão D/INAK para os exames realizados com mais frequência em diagnóstico por raios-X.

Neste artigo, foi feito o levantamento das curvas de rendimento de tubos de raios-X. Para tanto foram utilizadas duas metodologias baseadas no equipamento: Uma para raios-X industrial e outra para médico. Os pontos (V, K) medidos foram inseridos no CALDose\_X e foram calculados os INAKs para raios-X industrial e médico. Estas grandezas podem ser utilizadas para a obtenção da distribuição de doses absorvidas para todos os exames de raios-X disponíveis no software. Comparando as curvas obtidas neste trabalho com a curva teórica disponível no CALDose\_X, pode-se afirmar que está é uma curva de rendimento para raios-X industrial.

As medidas foram realizadas no laboratório de raios-X do CRCN-NE/CNEN, Recife, Pernambuco, Brasil, usando um arranjo experimental apropriado para máquina de raios-X industrial e um equipamento de raios-X médico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Softwares como o CALDose\_X, são muito úteis em planejamentos de radiodiagnóstico porque, além de fornecer uma estimativa da distribuição da dose absorvida na região irradiada, avalia o risco de incidência e o de mortalidade como consequência da irradiação. Assim, quanto mais realísticos forem os dados fornecidos para cálculo das grandezas de normalizações necessárias na estimativa da distribuição da dose absorvida, mais confiáveis serão os valores impressos no relatório obtido pelo usuário.

Para realizar este estudo se fez uso de computadores com as versões mais atuais do CALDose\_X, EGSnrc, do Microsoft Visual Studio e do Microsoft Office instaladas em um ambiente Windows, além de antivírus e de acesso à internet. As tabelas 2D foram feitas através do Excel. O Laboratório de Dosimetria Numérica do IFPE-Recife possui estes softwares disponíveis para pesquisadores e estudantes do GPDCD&SE.

As curvas de rendimento apresentadas neste artigo foram obtidas no laboratório de raios-X do CRCN-NE/CNEN, para a curva de raios-X industrial utilizou-se um equipamento de raios-X HF320 da Pantak mostrado na figura 1 e um sistema de medida constituído por uma câmara de ionização RC6 da Radcal e um eletrômetro Keithley 6517. E para a curva de raios-X médico utilizou-se um equipamento de raios-X POLYMAT plus 30/50 mostrado na figura 2 e um sistema de medida constituído por uma câmara de ionização RC/10x5-6 da Radcal e um eletrômetro RC / 9015 da Radcal. Sendo para ambos a calibração da câmara de ionização, estando dentro dos termos de INAK para as qualidades de radiodiagnóstico (IEC61267) e a distância foco-câmara utilizada foi de 1 m. Os pontos (V, K) foram obtidos para potenciais variando de 50 a 120 kV. Esta coleção de pontos foi inserida no CALDose\_X para obtenção da função  $K = f(V)$ . O software utiliza a técnica estatística da regressão linear para a função potencial  $K = B.V^A$ , transformada para  $\log(K) = \log(B) + A.\log(V)$ , para obter os parâmetros A e B da curva. Quando o usuário informa na janela de entrada do CALDose\_X o potencial e a carga de trabalho do exame solicitado, o software calcula o INAK usando a curva disponível.

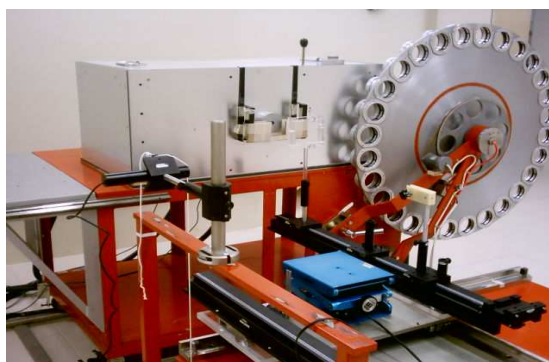


Figura 1 - Equipamento de raios-X HF320, Pantak, utilizado



Figura 2 - Equipamento de raios-X POLYMAT plus 30/50, Siemens, utilizado

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estas medidas foram divididas nas seguintes etapas: registro dos fatores de técnica (tensão, distância foco-detector e carga) obtenção das curvas de rendimento, cálculo do INAK e análise dos resultados.

As medidas foram realizadas no laboratório de raios-X do CRCN-NE/CNEN, para o tubo de raios-X industrial e médico, respectivamente.

A obtenção da curva de rendimento de raios-X industrial seguiu as devidas etapas: O Equipamento de raios-X HF320 da Pantak conectado ao monitor de comando, a câmara de ionização RC6 da Radcal foi colocada a uma distância de 100 cm do ponto focal do equipamento de raios-X, sendo ela conectada a um eletrômetro Keithley 6517, foram tomadas dez leituras em (nC) para cada potenciais 50, 60, 70, 80, 90, 100 e 120 kV e uma carga fixa de 600 mAs. Em seguida foi retirada uma diferença entre as leituras gerando nove leituras para cada potencial aplicado, levando em consideração as informações como a polaridade da câmara de ionização (V), fator de calibração da câmara ( $^{60}\text{Co}$ ) em (mGy/nC), fator de correção para qualidade da radiação, fator de correção para a densidade do ar e temperatura do tubo de raios-X ( $^{\circ}\text{C}$ ). A leitura corrigida foi determinado em (mGy) e logo em seguida o rendimento foi determinado em ( $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ ) pela razão entre a média das Leituras de kerma no ar obtidas para cada valor de tensão e carga (mAs) utilizada, a Tabela 1 mostra os valores da curva  $K \times V$ . A curva de rendimento em função do potencial aplicado foi ajustada pela função exponencial, cujos valores variam para cada equipamento. O gráfico de log na Figura 3 mostra, além da curva, a função obtida  $K = f(V)$ .

Tabela 1 - Valores da curva de rendimento de raios-X industrial

Potência (kV)	$K(\mu\text{Gy}/\text{mAs})$ CRCN-NE/CNEN Raios-X industrial
50	32,41
60	48,45
70	65,61
80	82,49
90	105
100	125,61
120	170,87

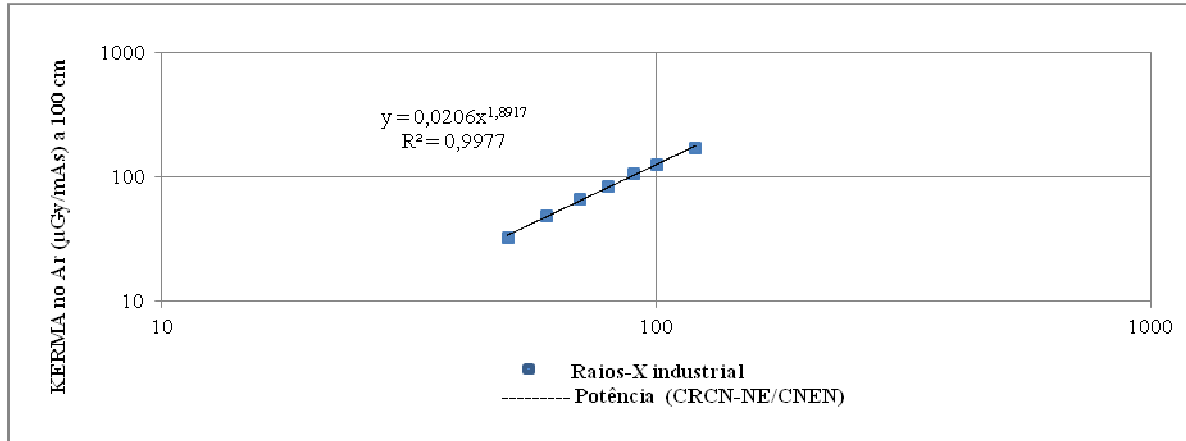


Figura 3 - Curva de rendimento de raios-X industrial, obtida no laboratório do CRCN-NE/CNEN

A Figura 4 mostra a janela do CALDose\_X onde foram inseridos os dados da curva de rendimento de raios-X industrial. A partir de então, pode-se obter estimativas de dose absorvida para os diversos exames disponíveis no software, usando o INAK calculado com a curva e os outros dados de entrada fornecidos pelo usuário. O cálculo do INAK é realizado no próprio software tendo como base o K dividido por 1000, assim obtém-se o INAK 2,16 mGy.

**Definição do Exame de Raio X**

INSTITUIÇÃO: \_\_\_\_\_ SALA: \_\_\_\_\_

PACIENTE ADULTO  
 Nome: \_\_\_\_\_ ID: \_\_\_\_\_ Idade (anos): 22

EXAMES  
 15 - Tórax

PROJEÇÕES  
 Anterior-Posterior (AP)  
 Posterior-Anterior (PA)  
 Lateral Direita (RLAT)  
 Lateral Esquerda (LLAT)  
 Obliqua Posterior Direita (RPO)  
 Obliqua Posterior Esquerda (LPO)  
 Obliqua Anterior Direita (RAD)  
 Obliqua Anterior Esquerda (LAO)

TUBO DE RAIOS X (Filtro: 2.5 mm Al)  
 90 ≤ FDD ≤ 120 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 120 (kV)  
 100 20 70

POSICÕES DO CAMPO  
 Posição Padrão do Campo  
 Posição Padrão + 2 cm para Cima  
 Posição Padrão + 2 cm para Baixo

DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO  
 Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: 7  
 Identificação do Tubo de Raio-X: -X HF320 da Pantak e um sisher

Tensão (kV)	K (µGy/mAs a 1 m)
50	32,41
60	48,45
70	65,61
80	82,49
90	105
100	125,61
120	170,87

INAK E ESAK:  $K = 0,0206 * V^{1,892}$   
 INAK (mGy) 2,16 ESAK (mGy) 2,9 BSF 1,35

Curva de Rendimento:  $K = 0,0206 * V^{1,892}$

Mostrar Imagem...  
 Limpar Tudo  
 Calcular Dose...

Figura 4: Inserção no CALDose\_X da curva de rendimento medida de raios-X industrial

Para a obtenção da curva de rendimento de raios-X médico seguiu as devidas etapas: O Equipamento de raios-X POLYMAT plus 30/50 conectado ao monitor de comando, a câmara de ionização RC/10x5-6 da Radcal foi posicionada sobre uma base e a uma distância de 100 cm do ponto focal do equipamento de raios-X, sendo ela conectada a um eletrômetro RC / 9015 da Radcal, foram tomadas cinco leituras em (µGy) para os mesmos potenciais usados no equipamento industrial. A

carga foi fixada em 6,4 mAs, levando em consideração as informações já incluídas no eletrômetro como a polaridade da câmara de ionização (V) e temperatura do tubo de raios-X (°C). Neste caso, o rendimento foi determinado em ( $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ ) pela razão entre a média das leituras de kerma no ar obtidas para cada valor de tensão e a carga. A Tabela 2 mostra os valores da curva  $K \times V$ . A curva de rendimento em função do potencial aplicado foi ajustada pela função potencial, cujos valores variam para cada equipamento. O gráfico de log na Figura 4 mostra, além da curva, a função obtida  $K = f(V)$ .

Tabela 2 - Valores da curva de rendimento de raios-X médico

Potência (kV)	$K(\mu\text{Gy}/\text{mAs})$ CRCN-NE/CNEN Raios-X médico
50	22,19
60	32,95
70	39,85
80	63,63
90	77,71
100	96,47
120	127,90

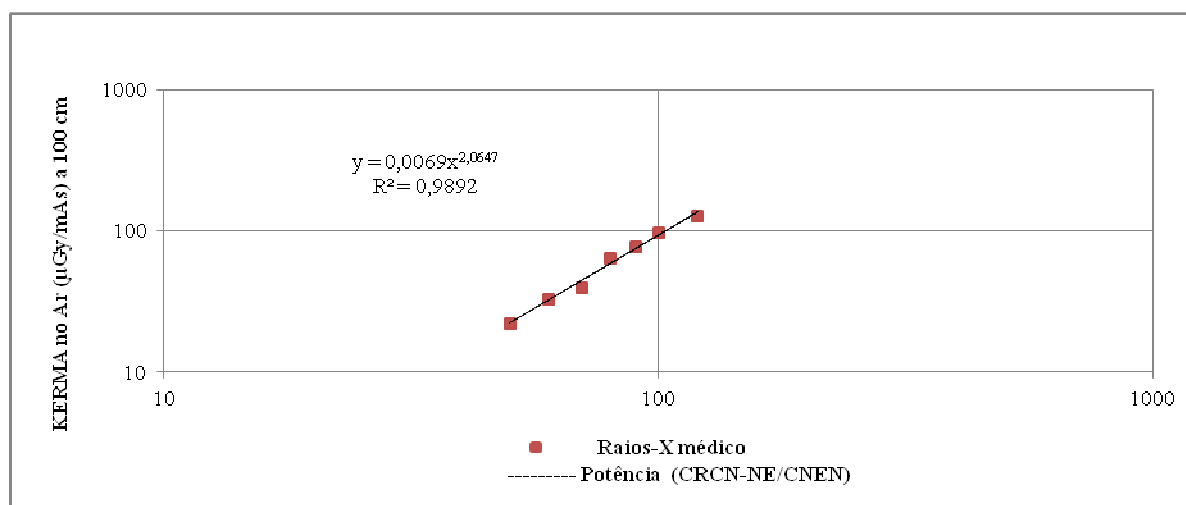


Figura 5 - Curva de rendimento de raios-X médico, obtida no laboratório do CRCN-NE/CNEN

A Figura 6 mostra a janela do CALDose\_X onde foram inseridos os dados da nova curva de rendimento de raios-X médico. A partir de então, pode-se obter estimativas de dose absorvida para os diversos exames disponíveis no software, usando o INAK calculado com a curva e os outros dados de entrada fornecidos pelo usuário. O cálculo do INAK é realizado no próprio software tendo como base o  $K$  dividido por 1000, assim obtém-se o INAK 2,29 mGy.

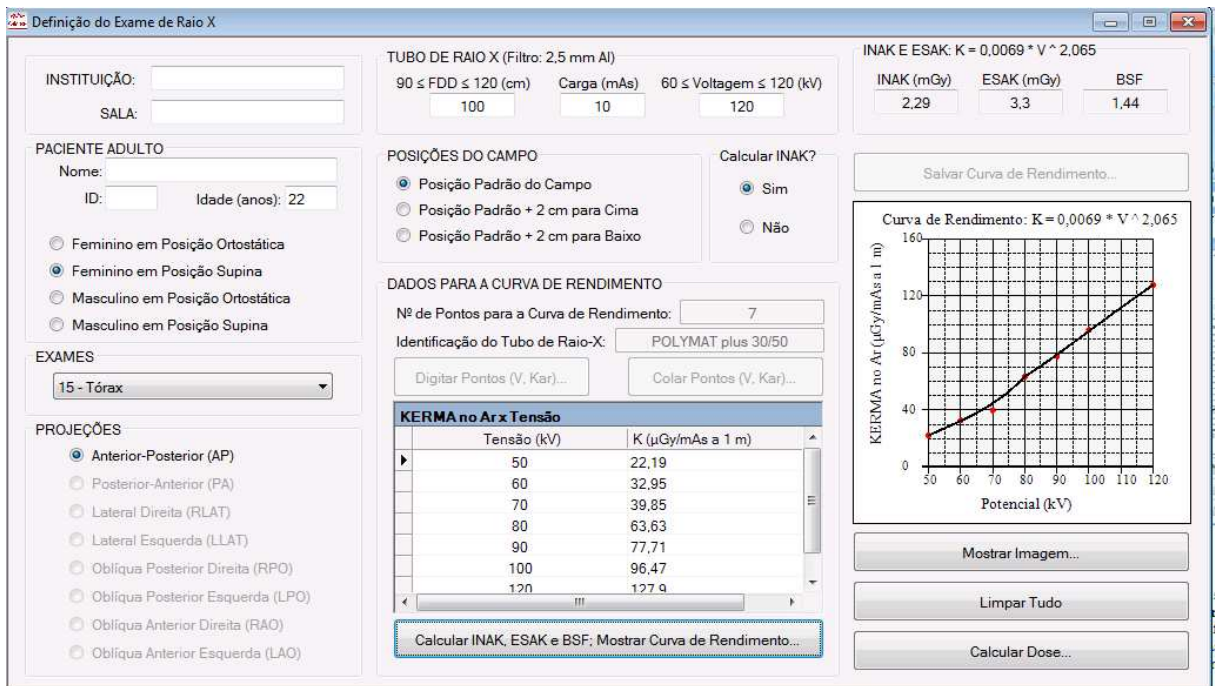


Figura 6: Inserção no CALDose\_X da curva de rendimento medida

Os valores do coeficiente de correlação quadráticos para as duas curvas na figura 7 mostram que a função potencial é apropriada para este tipo de modelagem. Como os valores inseridos como padrão no CALDose\_X são teóricos, cada usuário do software precisa obter sua própria curva como feito aqui. Com uma curva de rendimento personalizada, o usuário do CALDose\_X poderá obter resultados dosimétricos para o exame de interesse e escolher com mais acuidade os parâmetros a serem usados no seu dia-a-dia.

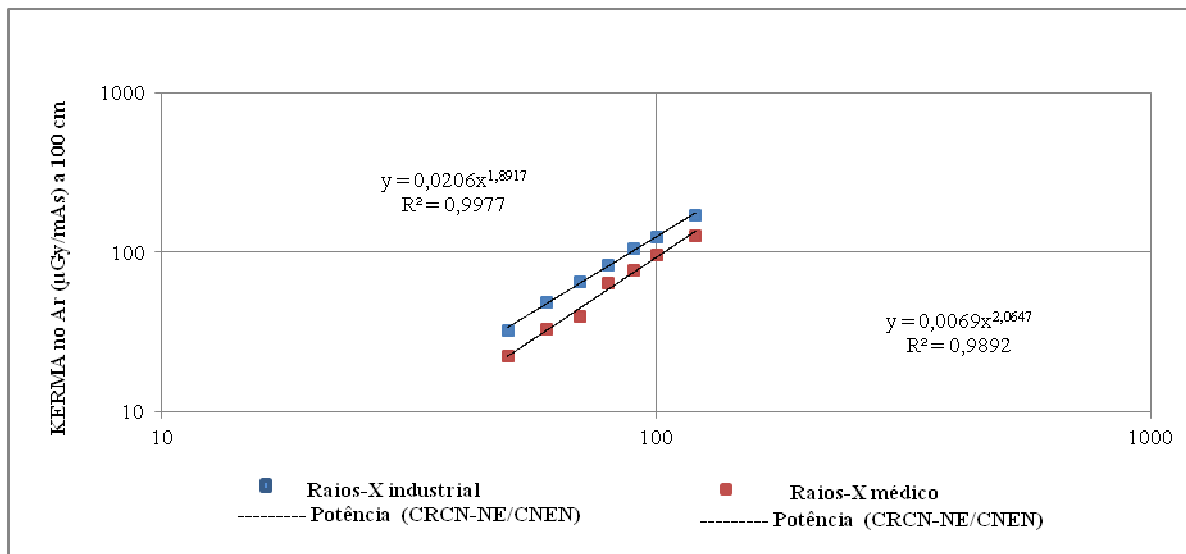


Figura 7 - Curva de rendimento de raios-X industrial e médico e seus coeficiente de correlação quadrático

#### 4. CONCLUSÕES

Neste artigo foram levantadas duas curvas de INAK como duas funções do potencial de tubos de raios-X industriais e médicos. Os pontos desta curva foram inseridos no software CALDose\_X para



realização de avaliações dosimétricas em exames de radiodiagnósticos específicos. Os resultados são estatisticamente ajustados para potencial industrial ( $0,0206x^{1,8917}$ ) e médico ( $0,0069x^{2,0647}$ ), como é mostrado nos valores dos  $r^2$ : (industrial) 0,9977 e (médico) 0,9892 (valor esperado de  $r^2$  é 1) na Figura 7. Com os valores de INAK industrial (2,16 mGy) e médico (2,29 mGy), mostram que as curvas foram apropriadamente medidas e inserida no software levando em consideração os distintos tubos de raios-X medidos, que neste relevante estudo foi comparado utilizando alguns dados em comum, como a tensão aplicada. Tais curvas devem ser levantadas por radiologistas que pretendam usar o CALDose\_X ou software similar para personalizar sua máquina de trabalho. Se algum usuário pretender usar a curva teórica disponível no software é recomendável que utilize para parâmetros industriais, como os obtidos neste trabalho.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao IFPE, CNPq, CRCN-NE/CNEN e ao DEN-UFPE pelo apoio financeiro aos grupos de pesquisas e realização do projeto.

### **REFERÊNCIAS**

KRAMER, R., KHOURY, H. J., VIEIRA, J. W., **CALDose\_X – A software tool for the assessment of organ and tissue absorbed doses, effective dose and cancer risks in diagnostic radiology**, Phys. Med. Biol., 53, 6437–6459, 2008.

INTERNATIONAL ELETROTECHICAL COMMISSION IEC 61267: **Medical diagnostic x-ray equipment - Radiation conditions for use in the determination of characteristics**. Genova, 2005.

LEAL NETO, V., **Desenvolvimento de uma interface gráfica de usuário para modelos computacionais de exposição externa**, Dissertação de Mestrado, UFPE-DEN, Recife-PE, 2007.

LOPES FILHO, F. J., **Avaliações dosimétricas em pacientes submetidos à radioiodoterapia com base em fantasmas de voxels e em imagens de medicina nuclear**, Tese de Doutorado, DEN-UFPE, Recife-PE, Brasil, 2007.

SANTOS, A. M., **Desenvolvimento de um modelo computacional para cálculos de dose absorvida em órgãos e tecidos do corpo humano nas situações de exposições acidentais**, Tese de Doutorado, DEN-UFPE, Recife-PE, Brasil, 2006.

VIEIRA, J. W., **Construção de um modelo computacional de exposição para cálculos dosimétricos utilizando o código Monte Carlo EGS4 e fantasmas de voxels**, Tese de Doutorado, UFPE-DEN, Recife-PE, 2004.



19 a 21 de outubro - Ciência, tecnologia e inovação: ações sustentáveis para o desenvolvimento regional