IMPLEMENTAÇÃO DE ANÁLISE GRÁFICA E NUMÉRICA DE RESULTADOS DOSIMÉTRICOS NO SOFTWARE CALDose_X

Vieira, J.W.^{1,2}

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, IFPE Campus Recife, ² Escola Politécnica de Pernambuco / Universidade de Pernambuco, EPP-UPE

RESUMO

Para estimar a distribuição da dose absorvida pelos órgãos e tecidos radiossensíveis de pessoas submetidas às radiações ionizantes, é necessário realizar simulações Monte Carlo (MC) utilizando um Modelo Computacional de Exposição, que deve ser composto, pelo menos, por um fantoma acoplado a um código MC e um algoritmo simulando a fonte radioativa. Em 2008, pesquisadores do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (DEN-UFPE) desenvolveram o software CALDose X usando o tipo de projeto Windows Forms Application no ambiente de desenvolvimento do Microsoft Visual Studio. Desde então este software tem sido atualizado e a sua quinta versão está disponível na página http://www.caldose.org/. O software contém, armazenado como recurso, um arquivo de dados compactados de resultados das simulações para a maioria dos exames de radiodiagnóstico em adultos. O usuário do software pode escolher um exame particular e salvar um arquivo de texto com a distribuição de dose absorvida na região do exame. Neste artigo é apresentada uma nova ferramenta adicionada ao CALDose_X para que o usuário possa realizar análises gráficas e numéricas de resultados dosimétricos para um exame selecionado. As análises podem ser feitas com gráfico de pizza (ou de rosca) da distribuição de dose absorvida, gráficos 2D e tabelas com valores da dose absorvida em função das variáveis distância fonte-detector, potencial no tubo de raios X e posição do campo no plano detector. Também gráficos e tabelas dos riscos de incidência de câncer ou de morte por câncer em função da idade do paciente podem ser obtidos com a nova ferramenta. Os resultados podem ser salvos utilizando recursos comuns aos softwares Windows. Com estas habilidades adicionais o estudante ou o pesquisador de dosimetria numérica passa a dispor de um software mais robusto para realização do seu trabalho.

1. INTRODUÇÃO

Para estimar a distribuição da dose absorvida pelos órgãos e tecidos radiossensíveis de pessoas submetidas às radiações ionizantes, é necessário realizar simulações Monte Carlo (MC) utilizando um Modelo Computacional de Exposição (MCE). Desde 2003, o Grupo de Pesquisa em Dosimetria Numérica e o Grupo de Dosimetria Computacional e Sistemas Embarcados (ambos referenciados neste artigo por GDN), sediados em Recife, Pernambuco, Brasil, têm realizado publicações usando MCEs.

A Figura 1 ilustra os principais itens de um MCE: um fantoma, um simulador da fonte radioativa e um código MC para simular o transporte da radiação através do fantoma, sua interação com os meios que o constituem, e estimar a energia depositada em regiões de interesse. Com a distribuição de energia depositada contabilizada é possível obter a distribuição da dose absorvida e também grandezas de normalização.

O GDN tem desenvolvido ou participado do desenvolvimento de vários *softwares* para obter a distribuição de dose absorvida em diversos problemas de dosimetria interna e externa. O

¹ E-mail do Autor. jose.wilson@recife.ifpe.edu.br

CALDose_X (*CALculation of Dose for X-ray diagnosis*) foi um deles. Inicialmente foi desenvolvido em C++, como projeto *Windows Forms Application* no Microsoft Visual Studio [1]. Desde então tem sido atualizado e a sua 5^a versão foi desenvolvida em C# [2].



Figura 1. Ilustração de um MCE: (a) um fantoma; (b) um esquema de fonte radioativa e (c) um esquema de trajetórias de partículas que viajam e interagem no meio.

O CALDose_X está habilitado a calcular as grandezas de normalização KERMA (*Kinetic Energy Released per unit MAss*) incidente no ar (INAK, *INcident Air Kerma*), baseado na curva de rendimento de um tubo de raios X, e KERMA no ar na superfície de entrada (ESAK, *Entrance Surface Air Kerma*) de um fantoma, usando ESAK = INAK x BSF, onde BSF é o fator de retroespalhamento. Também calcula o produto KERMA x área (AKAP, *Air Kerma Area Product*). Alternativamente, o usuário pode informar o valor de qualquer uma destas grandezas ao invés de usar valores calculados pelo CALDose_X.

Com as grandezas de normalização INAK, ESAK ou AKAP é possível avaliar coeficientes de conversão *Dose Absorvida/INAK* para a maioria dos exames de radiodiagnóstico realizados em adultos. Estes tipos de coeficientes são os dados comumente obtidos em simulações MC envolvendo fontes radioativas externas ao corpo humano. Para fins da proteção radiológica, os valores anuais da dose efetiva (*E*) não devem ultrapassar limites estabelecidos por entidades regulamentadoras como a CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) no Brasil e a ICRP (*International Commission on Radiological Protection*). Assim, obtendo, por exemplo, os valores de *E*/INAK e medindo INAK em um tempo *t*, nas mesmas condições simuladas, pode-se avaliar a taxa de dose efetiva no fantoma causada pela fonte externa. Esta taxa pode ser extrapolada para um ano e comparada com limites estabelecidos.

Com *E* estimada em acordo com a ICRP 103 [3], o CALDose_X determina os riscos de incidência de câncer e de mortalidade por câncer para o exame selecionado pelo usuário.

Com o CALDose_X 5.0, o usuário teria que salvar diversos arquivos de texto para investigar em outros *softwares* os resultados de um exame de seu interesse. Agora, com as novas ferramentas acessadas a partir dos cinco botões habilitados na janela mostrada na Figura 2, ele pode analisar, gráfica e numericamente, o comportamento de variáveis importantes em radiodiagnóstico e, posteriormente, salvar a imagem do gráfico ou a tabela de resultados. Estas ferramentas melhoram em muito a performance de pesquisadores e estudantes que utilizam o *software* nas suas rotinas.

	aio X		
Cálculos de Dose			(mGy) ESAK (mGy) BSF
ESCOLHA UMA OPÇÃ) DE CÁLCULO		.53 2,2 1,44
OSE ABSORVIDA (INAK, ESAK, AKAP)		CC (INAK, ESAK, AKAP)	
ESCOLHA UMA GRAN	DEZA DE NORMALIZAÇÃO		Salvar Curva de Rendimento
INAK - KERMA Incidente no Ar (mGy)) 1.53	va de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774
	ESAK - KERMA na Superfície de En	trada (mGy)	²⁰
	AKAP - Produto KERMA no Ar x Área	a (Gy * cm²)	50
	Calcular Doses Absorvida	as em Órgãos e Tecidos	20
ANÁLISE DOS RESUL	TADOS		30
Distribu	ição da Dose Absorvida/INAK	Distribuição da Dose Absorvida	40
CC	: Distância Fonte-Detector	Dose: Distância Fonte-Detector	
CC: I	Potencial no Tubo de Raios-X	Dose: Potencial no Tubo de Raios-X	Potencial (KV)
	io do Campo no Plano do Detector	Dose: Posição do Campo no Plano do Detector	Mostrar Imagem
CC: Posiçã			

Figura 2. Janela de acesso às novas ferramentas do CALDose_X.

2. EXECUTANDO O CALDose_X

Ao clicar no botão *Calcular Dose* da janela principal do *software*, o usuário tem acesso à janela secundária mostrada na Figura 3, onde, inicialmente, deve digitar informações sobre a instituição hospitalar e selecionar um dos fantomas adultos disponíveis. Esta seleção habilita outros controles relacionados a informações que permitem ao *software* escolher em arquivo de texto embutido como recurso os dados do exame. Ao escolher opções como as mostradas na Figura 3a, na caixa de grupo *Calcular INAK?*, o usuário dever marcar SIM quando for usar o *software* pela 1ª vez e tiver dados sobre uma curva de rendimento da máquina de raios X. A curva disponível no CALDose_X fornece o valor do INAK mostrado na Figura 3b.

Para chegar a este valor, o software realiza as seguintes operações:

Usa a função potencial obtida por regressão linear [4], $K = 0.419 V^{1.774}$, e V = 80 kV, para calcular KERMA por unidade de carga a 1 *m*: $K = 99,608 \mu Gy/mAs$ a 1 *m*.

Com a carga digitada no exemplo, Q = 10 mAs, calcula $KQ = 99,608 \mu Gy$ a 1 m.

O INAK é avaliado à distância foco-pele (d) do fantoma que, no exemplo é ~80 cm (105 – largura média do corpo):

 $INAK/KQ = (100/80)^2 \implies INAK = 1,5625 \ge 996,08 = 1556 \ \mu Gy = 1,556 \ m Gy.$

	TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al)	INAK E ESAK
INSTITUIÇÃO: Hospital Geral	$100 \le FDD \le 115 (cm)$ Carga (mAs) $60 \le Voltagem \le 100 (kV)$	INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF
SALA: S-55A	105 10 80	
Nome: Maria da Silva	POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK?	Salvar Curva de Rendimento
ID: E35 Idade (apos): 35	Posição Padrão do Campo O Sim	Calvar Guiva de Rendimento
idade (anoa). 35	Posição Padrão + 2 cm para Cima	
💿 Feminino em Posição Ortostática	Posição Padrão + 2 cm para Baixo	
Feminino em Posição Supina		
Masculino em Posição Ortostática	DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO	
Masculino em Posição Supina	№ de Pontos para a Curva de Rendimento:	
EXAMES	Identificação do Tubo de Raio-X:	
17 Abdomo	Digitar Pontos (V, Kar) Colar Pontos (V, Kar)	
17 - Abdome		
PROJEÇÕES	KERMA no Arx Tensao	
Anterior-Posterior (AP)		
Posterior-Anterior (PA)		
🔘 Lateral Direita (RLAT)		
🔘 Lateral Esquerda (LLAT)		
Oblíqua Posterior Direita (RPO)		Mostrar Imagem
Oblígua Posterior Esquerda (LPO)		Limpere Tude
		Limpai 1000
Oblígua Anterior Direita (RAO)		
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento	Calcular Dose
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento	Calcular Dose
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento	Calcular Dose
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento	Calcular Dose
Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Pefinição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV)	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419 * V ^ 1,774 INAK (mQy) ESAK (mQy) BSF
Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 < FDD < 115 (cm) Carga (mAs) 60 < Voltagem < 100 (kV) 105 10 80	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419 * V ^ 1,774 INAK (mQy) ESAK (mQy) BSF 1,53 2,2 1,44
Obliqua Anterior Direita (RAO) Obliqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419 * V ^ 1,774 INAK (mGy) ESAK (mGy) 1,53 2,2 1,44
Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK?	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0.0419 * V ^ 1.774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1.53 2.2 1.44
Obliqua Anterior Direita (RAO) Obliqua Anterior Esquerda (LAO) Pefinição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO © Posição Padrão do Campo © Sim	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0.0419 * V ^ 1.774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1.53 2.2 1.44 Salvar Curva de Rendimento
Oblique Anterior Direita (RAO) Oblique Anterior Esquerda (LAO) Oblique Anterior Esquerda (LAO) INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO © Posição Padrão + 2 cm para Cima Não	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0.0419 * V ^ 1.774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1.53 2.2 1.44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0.0419 * V ^ 1.777
Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Maria de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria de Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO © Posição Padrão do Campo © Posição Padrão + 2 cm para Cima © Posição Padrão + 2 cm para Baixo	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0.0419 * V ^ 1.774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1.53 2.2 1.44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0.0419 * V ^ 1.777 200
Obliqua Anterior Direita (RAO) Obliqua Anterior Esquerda (LAO) Obliqua Anterior Esquerda (LAO) Norman Salua: S-55A ACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 O Feminino em Posição Ortostática @ Feminino em Posição Supina	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO © Posição Padrão do Campo © Posição Padrão + 2 cm para Cima © Posição Padrão + 2 cm para Baixo Não DADOS PABA A CURVA DE RENDIMENTO	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0.0419 * V^ 1.774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1.53 2.2 1.44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0.0419 * V^ 1.777 160
Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Supina Masculino em Posição Ortostática	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO © Posição Padrão do Campo © Posição Padrão + 2 cm para Cima © Posição Padrão + 2 cm para Baixo DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Nã de Postos para a Curva de Partimentor	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0.0419 * V^ 1.774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1.53 2.2 1.44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0.0419 * V^ 1.774 160
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Ortostática Masculino em Posição Ortostática Masculino em Posição Supina 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES 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: 8 Udatificação da Tube da Paia Y.	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419 * V ^ 1,774 INAK (mQy) ESAK (mQy) BSF 1,53 2,2 1,44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,777 1100 100 100 1100 120 144
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK? @ Posição Padrão do Campo @ Sim @ Posição Padrão + 2 cm para Cima @ Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Não Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419 * V^ 1,774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1,53 2,2 1,44 Salvar Curva de Rendimento
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Pefinição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Supina Masculino em Posição Supina 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK? @ Posição Padrão + 2 cm para Cima @ Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Não Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) Colar Pontos (V, Kar)	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419 * V ^ 1,774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1,53 2,2 1,44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 160 1,44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 1100 100 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 1120 100 000 Salvar Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 100 100 100 00 00 00 00 0 100 100 100 100 100 100 100
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Pefinição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Ortostática Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina EXAMES 17- Abdome	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK? ● Posição Padrão do Campo ● Sim ● Posição Padrão + 2 cm para Cima ● Não ● Posição Padrão + 2 cm para Baixo Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) Colar Pontos (V, Kar) KERIMA no Ar x Tensão Kentimento Teórico/Theoretica	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419 * V ^ 1,774 INAK (mQy) ESAK (mQy) BSF 1,53 2,2 1,44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 International de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 International de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 International de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 International de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 International de Rendimento VILL International de Rendimento VILL VILL
Oblique Anterior Direita (RAO) Oblique Anterior Esquerda (LAO) Pefinição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Amasculino em Posição Supina CMASCUINO em PosiçãO SUPINO em PosiçÃ	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK? ● Posição Padrão do Campo ● Sim ● Posição Padrão + 2 cm para Cima ● Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Não Nãe Pontos para a Curva de Rendimento: 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) Colar Pontos (V, Kar) KERMA no Ar x Tensão ۲ensão (kV)	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419 * V ^ 1,774 INAK (mQy) ESAK (mQy) BSF 1,53 2,2 1,44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 1100 1200 144 Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 1100 1200 144 200 40 40 40 40
Oblique Anterior Direita (RAO) Oblique Anterior Esquerda (LAO) Pefinição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A ACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Amaculino em Posição Supina Amaculino em Posição Supina CXAMES I7- Abdome ROJEÇÕES Anterior-Posterior (AP)	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK? ● Posição Padrão do Campo ● Sim ● Posição Padrão + 2 cm para Cima ● Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Não DADOS PARA A CURVA DE Rendimento: 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) Colar Pontos (V, Kar) KERMA no Ar x Tensão May Image: Solo (kV) K (µGy/mAs a 1 m)	Calcular Dose
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Ortostática Masculino em Posição Supina Masculino em Posiçã	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK? ● Posição Padrão do Campo ● Sim ● Posição Padrão + 2 cm para Cima ● Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) Colar Pontos (V, Kar) KERMA no Arx Tensão Tensão (kV) K (µGy/mAs a 1 m) > 50 41,29 60 60 60,93 9 no e 9	Calcular Dose
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Ortostática Masculino em Posição Supina EXAMES 17 - Abdome • PROJEÇÕES Anterior-Posterior (AP) Posterior-Anterior (PA) Lateral Direita (RLAT) 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK? ● Posição Padrão 40 Campo ● Sim ● Posição Padrão + 2 cm para Cima ● Não ● Posição Padrão + 2 cm para Baixo ● Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) Colar Pontos (V, Kar) KERMA no Arx Tensão Image: Altra a 1 m) 1 50 41,29 60 60,93 8 80 102,42	Calcular Dose
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Feminino em Posição Ortostática Feminino em Posição Ortostática Masculino em Posição Supina EXAMES 17 - Abdome PROJEÇÕES Anterior-Posterior (AP) Cateral Direita (RLAT) Lateral Esquerda (LLAT) 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK? ● Posição Padrão do Campo ● Sim ● Posição Padrão + 2 cm para Cima ● Não ● Posição Padrão + 2 cm para Baixo ● Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) Colar Pontos (V, Kar) KERMA no Ar x Tensão Tensão (kV) K (µGy/mAs a 1 m) ♦ 50 41.29 60 60.933 8 80.98 80.98 80.98 80.98 80.9125.16 8	Calcular Dose
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Ferminino em Posição Ortostática Ferminino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina EXAMES 17 - Abdome Prosterior -Anterior (PA) Lateral Direita (RLAT) Oblíqua Posterior Direita (RPO) 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2.5 mm Al) 100 ≤ FDD ≤ 115 (cm) Carga (mAs) 60 ≤ Voltagem ≤ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Calcular INAK? ● Posição Padrão do Campo ● Sim ● Posição Padrão + 2 cm para Cima ● Não ● Posição Padrão + 2 cm para Baixo ● Não DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) Colar Pontos (V, Kar) KERMA no Ar x Tensão Image: Colar Pontos (V, Kar) No 50 41.29 60 60.933 102.42 90 125.16 100 100 148.85 100	Calcular Dose
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Ferminino em Posição Ortostática Ferminino em Posição Ortostática Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina EXAMES 17 - Abdome ProJEÇÕES Anterior-Posterior (AP) Posterior-Anterior (PA) Lateral Esquerda (LLAT) Oblíqua Posterior Direita (RPO) Oblíqua Posterior Esquerda (LPO) 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al) 100 \$ FDD \$ 115 (cm) Carga (mAs) 60 \$ Voltagem \$ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO Posição Padrão 4 2 cm para Cima Posição Padrão + 2 cm para Baixo DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) KERIMA no Ar x Tensão V 90 100 100 100 100 101 102 103	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419 * V ^ 1,774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1,53 2,2 1,44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 160 160 0 9 1,44 Salvar Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V ^ 1,774 160 0 0 0 0 1,774 160 0 0 0 0 1,774 160 0 0 0 1,00 1,774 170 10 0 0 0 1,00 1,774 171 10 0 0 0 0 1,00 1,00 10 0 0 0 9 1,00 1,10 1,20 Mostrar Imagem Limpar Tudo
 Oblíqua Anterior Direita (RAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Oblíqua Anterior Esquerda (LAO) Definição do Exame de Raio X INSTITUIÇÃO: Hospital Geral SALA: S-55A PACIENTE ADULTO Nome: Maria da Silva ID: F35 Idade (anos): 35 Ferminino em Posição Ortostática Ferminino em Posição Ortostática Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina Masculino em Posição Supina PROJEÇÕES Anterior-Posterior (AP) Posterior-Anterior (PA) Lateral Esquerda (LLAT) Oblíqua Posterior Direita (RPO) Oblíqua Anterior Direita (RAO) 	Calcular INAK, ESAK e BSF; Mostrar Curva de Rendimento TUBO DE RAIO X (Filtro: 2,5 mm Al) 100 \$ FDD \$ 115 (cm) Carga (mAs) 60 \$ Voltagem \$ 100 (kV) 105 10 80 POSIÇÕES DO CAMPO POSIÇÕES DO CAMPO Posição Padrão 4 2 cm para Cima Posição Padrão + 2 cm para Baixo DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: 8 Identificação do Tubo de Raio-X: Rendimento Teórico/Theoretica Digitar Pontos (V, Kar) KERNA no Ar x Tensão V 60 60 60,93 70 80,98 80 102,42 90 125,16 100 148,85 110 172,32	Calcular Dose INAK E ESAK: K = 0,0419*V^1,774 INAK (mGy) ESAK (mGy) BSF 1,53 2,2 1,44 Salvar Curva de Rendimento Curva de Rendimento: K = 0,0419 * V^1,774 160 160 100 100 100 100 100 0 50 60 70 80 90 90 100 110 120 90 120 120 90 120 90 120 90 120 90 120 90 120 90 120 90 120 90 120 90 100 100 <t< td=""></t<>

Figura 3. Seleção progressiva de um exame.

Ao clicar no botão *Calcular Dose...*, o usuário acessa a janela mostrada na Figura 4, onde foram implementadas as novas ferramentas do CALDose_X.

OOSE ABSORVIDA (INAK, ESAK, AKAP)	CC (INAK, ESAK, AKAP)
SCOLHA UMA GRANDEZA DE NORMALIZAÇÃO	
INAK - KERMA Incidente no Ar (r	nGy) 1.53
ESAK - KERMA na Superfície de	Entrada (mGy)
AKAP - Produto KERMA no Ar x	Area (Gy * cm?)
Calcular Doses Absor	vidas em Órgãos e Tecidos
VÁLISE DOS BESULTADOS	
Distribuição do Doso Absoncido /MAK	Distribuição do Doso Absoncido
Distribuição da Dose Absolvida/INAA	Distribuição da Dose Absolvida
CC: Distância Fonte-Detector	Dose: Distância Fonte-Detector
CC: Potencial no Tubo de Raios-X	Dose: Potencial no Tubo de Raios-X
CC: Desisão do Comos do Directos	Danas Daviaño da Comos da Distantes
CC: Posição do Campo no Plano do Detector	Dose: Posição do Campo no Plano do Detector

Figura 4. Janela para obtenção e análise de resultados.

3. ANÁLISE GRÁFICA E NUMÉRICA DE RESULTADOS DOSIMÉTRICOS

Usando os dados mostrados na Figura 3, são investigadas na sequência as alterações dosimétricas causadas por variações nas grandezas listadas na coleção de botões habilitados na Figura 4. Os riscos de incidência de câncer ou de morte por câncer em função da idade de uma pessoa submetida a um dado exame também são investigados. A Figura 5 ilustra o exame selecionado para exemplo.



Figura 5. Ilustração do exame selecionado.

3.1. Distribuição da Dose Absorvida

Clicando no botão *Distribuição da Dose Absorvida*... (Figura 4), os resultados sobre o exame selecionado são apresentados como na Figura 6. Além dos dados na tabela e do gráfico de rosca com valores percentuais da distribuição de dose na região do exame, há na janela controles que permitem, por exemplo, mudar o gráfico para pizza, variar o limiar percentual para exibição ou salvar imagens. Os dados da tabela podem ser selecionados, copiados como em qualquer *software* Windows, e colados em outro *software* de edição de texto ou de planilha.



Figura 6. Distribuição dosimétrica da região do exame selecionado.

3.2. Distância Fonte-Detector

Ao escolher o botão *Dose: Distância Fonte-Detector...* (Figura 4), o usuário pode investigar como o aumento da distância fonte-detector, mantendo constantes as outras variáveis, afeta a dose absorvida em órgãos/tecidos na região do exame selecionado. Na Figura 7, os gráficos *monolog* na ordenada mostram, como esperado, que a dose absorvida diminui com o crescimento da distância fonte-detector. Órgãos mais ao centro do campo (ver ilustração na Figura 5), como a parede do cólon, recebem doses maiores. Na Figura 7 e nas subsequentes foram selecionados os seguintes órgãos/tecidos: Parede do Cólon (PC), Tecido Granular dos Seios (SG), Ovários (OV) e Útero (ÚT).



Figura 7. Variação da dose absorvida em função da distância fonte-detector em órgãos/tecidos na região do exame selecionado.

3.3. Potencial no Tubo de Raios X

Ao clicar no botão *Dose: Potencial no Tubo de Raios X...* (Figura 4), o usuário pode investigar como o aumento do potencial no tubo de raios X afeta a dose absorvida para órgãos/tecidos na região do exame selecionado. A Figura 8 mostra o esperado crescimento da dose absorvida nos órgãos/tecidos selecionados com o crescimento do potencial.





3.4. Posição do Campo no Plano Detector

Ao clicar no botão *Dose: Posição do Campo no Plano Detector*... (Figura 4), o usuário pode investigar como o aumento da posição (sentido cabeça/pés) do centro do campo visado (z) no exame afeta a dose absorvida para órgãos/tecidos na região. A Figura 9 mostra que a dose absorvida pelo tecido granular dos seios diminui. Isto ocorre porque, como se vê na Figura 10, os seios do fantoma ficam cada vez mais fora do campo com o aumento de z.



Figura 9. Variação da dose absorvida em função da posição central do campo em órgãos/tecidos na região do exame selecionado.



Figura 10. Ilustrações das posições do campo disponíveis para o exame selecionado.

3.5. Risco de Incidência de Câncer e Risco de Mortalidade por Câncer

Ao clicar no botão *Dose: Risco de Incidência de Câncer (RIC) e Risco de Mortalidade por Câncer (RMC)...* (Figura 4), o usuário pode investigar como variam o RIC e o RMC com o aumento da idade de uma pessoa submetida ao exame selecionado. A Figura 11 mostra que

estes riscos diminuem com a idade. Os valores estão em número de casos vezes INAK (~1,5 mGy) por 100000.



Figura 11. Variação do RIC e do RMC em função da idade para o exame selecionado.

4. CONCLUSÕES

Como ilustrado nas Figuras 6, 7, 8, 9 e 11, a nova ferramenta adicionada ao *software* CALDose_X facilita a análise gráfica e numérica dos resultados de um exame selecionado, otimizando a produtividade de estudantes e pesquisadores interessados no tema. O GDN pretende desenvolver outras ferramentas computacionais para as diversas áreas da dosimetria numérica.

5. REFERÊNCIAS

- 1. Kramer, R., Khoury, H. J., and 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** pp. 6437-6459 (2008).
- 2. Xu, J., Pratical Numerical Methods with C#, UniCAD Publishing, Phoenix USA (2008).
- 3. ICRP 103 *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Oxford: Elsevier, (2007).
- 4. Santoro, A., Mahon, J. R., Oliveira, J. U. C. L, Mundim Filho, L. M. Oguri, V. e Silva, W. L. P., *Estimativas em Experimentos de Física*, Ed. UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil (2008).