

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR**

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE**

Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares

**SID: UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA OBTENÇÃO E
GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE DOSIMETRIA DAS
RADIAÇÕES IONIZANTES**

VIRIATO LEAL NETO

Orientador: Prof. Dr. Fernando Roberto de Andrade Lima

Co-orientador: Prof. Dr. José Wilson Vieira

RECIFE, PE

Maio, 2013

VIRIATO LEAL NETO

**SID: UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA OBTENÇÃO E
GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE
DOSIMETRIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares para obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de Concentração: Dosimetria e Instrumentação Nuclear.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Roberto de Andrade Lima

Co-Orientador: Prof. Dr. José Wilson Vieira

RECIFE, PE

Maio, 2013

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

L435s Leal Neto, Viriato.
SID : um sistema computacional para obtenção e gerenciamento de informações sobre dosimetria das radiações ionizantes / Viriato Leal Neto.
– Recife: O Autor, 2013.
165 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Roberto de Andrade Lima.
Co-Orientador: Prof. Dr. José Wilson Vieira.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares - PROTEN, 2013.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Energia Nuclear. 2. Dosimetria das radiações ionizantes. 3. Fantomas de *voxels*. 4. Monte Carlo. 5. Aplicativos *desktop e web*. 6. Banco de dados.
I. Lima, Fernando Roberto de Andrade. (Orientador). II. Viera, José Wilson. (Co-Orientador). III. Título.

UFPE

612.01448 CDD (22. ed.)

BCTG/2013-152

**SID: UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA OBTENÇÃO E
GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE DOSIMETRIA DAS
RADIAÇÕES IONIZANTES**

Viriato Leal Neto

APROVADA EM: 02.05.2013

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fernando Roberto de Andrade Lima

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. José Wilson Vieira

COMISSÃO EXAMIDORA:

Prof. Dr. Fernando Roberto de Andrade Lima – CRCN-NE/CNEN

Prof. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias – Dept. Cartografia/UFPE

Prof. Dr. Vanildo Júnior de Melo Lima – Dept. de Anatomia Humana/UFPE

Prof. Dr. Clovis Abrahão Hazin – CRCN-NE/CNEN

Prof. Dr. Silvio de Barros Melo – CI/UFPE

Visto e permitida a impressão

Coordenadora do PROTEN/DEN/UFPE

Dedico este trabalho aos meus pais, esposa e filhos, que reconhecendo o valor do conhecimento, incentivaram-me a superar obstáculos, entenderam minhas ausências, respeitaram meus limites e, acima de tudo, acreditaram!

AGRADECIMENTOS

Muito especialmente aos meus pais **Viriato** e **Vanda**, a minha esposa **Izis** e meus filhos **Vanessa** e **Ivens**, por tudo que representam;

A **Fernando**, meu orientador, pelo acompanhamento, incentivo e confiança depositados;

A **Wilson**, meu co-orientador, pela disponibilidade, dedicação e, principalmente, pelas ideias;

Aos professores que fizeram parte da banca de acompanhamento: **Ana** Candeias, **Borko** Stosic e **Eduardo** Miranda;

Aos professores do DEN-UFPE que contribuíram para nossa formação, em especial a **Clovis** Hazin;

Aos **amigos** e **colegas** do DEN, CRCN e IFPE.

RESUMO

Dados são constantemente produzidos e tratados pelo Grupo de Dosimetria Numérica (GDN), gerando informações importantes para interessados em radiologia. Entre as informações, citam-se: novos algoritmos para fontes radioativas; resultados dosimétricos utilizando diversos modelos computacionais de exposição (MCEs); e *softwares* para a realização de tarefas computacionais que vão desde a leitura de arquivos ASCII ou binário até a análise e apresentação de resultados gráficos, alfanuméricos e imagens. Neste trabalho é apresentado o Sistema de Informações Dosimétricas (SID). O sistema foi desenvolvido utilizando-se modernas ferramentas computacionais para a criação de aplicativos *desktop*, *web* e bancos de dados (BDs). Entre outras tarefas, o SID permite criar arquivos de entrada para simulações Monte Carlo no sistema EGS (*Electron Gamma Shower*), acessar BDs para obter fantasmas de voxels, resultados dosimétricos e protocolos de radiodiagnósticos, bem como um *software desktop*, desenvolvido para realizar as tarefas computacionais necessárias para obtenção de resultados dosimétricos com os MCEs utilizados pelo GDN. O sistema já se constitui uma importante ferramenta computacional para usuários de informações radiológicas. Antevem-se várias possibilidades de continuidade deste trabalho, em particular a criação da versão em inglês do sistema, a incorporação das ferramentas atualmente disponível apenas em *desktop*, adição de mais informações aos atuais BDs e criação de um novo BD para organizar e disponibilizar objetos 3D úteis no desenvolvimento de modelos antropomórficos.

Palavras-chave: dosimetria das radiações ionizantes, fantasmas de *voxels*, Monte Carlo, aplicativos *desktop* e *web*, banco de dados.

ABSTRACT

Data are constantly produced and treated by the *Grupo de Dosimetria Numérica* (GDN), generating important information for those interested in radiology. Among the data mentioned: new algorithms for radioactive sources; dosimetric results using various exposure computational models (ECMs), and software to perform computational tasks ranging from reading ASCII or binary files to analysis and presentation of results graphical, alphanumeric, and images. This work presents the *Sistema de Informações Dosimétricas* (SID). The system was built using modern computational tools for creating desktop applications, web and databases (DBs). Among other tasks, the SID allows creating input files for Monte Carlo simulations in EGS (Electron Gamma Shower), access DBs for voxel phantoms, dosimetric results and radiology protocols, as well as a desktop software developed to perform the computational tasks necessary to obtain dosimetric results with MCES used by GDN. The system already is an important computational tool for users of radiological data. Various possibilities of continuing this work are provided, in particular the creation of the english version of the system, the incorporation of the tools currently available only on desktop, adding more information to existing DBs and creating a new DB to organize and make available useful 3D objects for developing anthropomorphic models.

Keywords: dosimetry of ionizing radiation, voxel phantoms, Monte Carlo, desktop and web applications, databases.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Geometria da região usada na simulação da fonte.	24
Figura 2 – Gráfico da FDP problema.	26
Figura 3 – Gráfico do ajuste da FDP exponencial à FDP problema.....	27
Figura 4 – Gráfico das FDPs Erlang e Exponencial ajustadas à FDP problema.	28
Figura 5: Substituição da FDP problema pela fdpnt realizada pelo <i>software MonteCarlo</i>	29
Figura 6 – Fragmento de um formulário de saída do <i>CALDose_X</i> para um exame de raios-X diagnóstico.....	30
Figura 7 – Estrutura de um arquivo .xap típico (Figura adaptada de BROWN, 2010).	38
Figura 8 – Janela <i>New Project</i> com o modelo de aplicativo <i>Silverlight Navigation Application</i> selecionado.	38
Figura 9 – Janela principal de um aplicativo <i>Silverlight</i>	39
Figura 10 – A caixa de diálogo <i>Add New Item</i> com o item <i>Silverlight Page</i> selecionado.	40
Figura 11 – O <i>ChildWindow Silverlight</i> é um elemento de primeira classe como o <i>UserControl</i> e <i>Page</i>	41
Figura 12 – Janela <i>New Project</i> do MSV 2010 com destaque para o modelo de aplicativo <i>ASP.NET Web Application</i>	43
Figura 13 – Janela de um projeto ASP.NET com um aplicativo <i>Silverlight</i> hospedado.	44
Figura 14 – Janela onde é possível habilitar o <i>WCF RIA Services</i>	48
Figura 15 – Vistas frontais e laterais dos fantasmas <i>Fash</i> e <i>Mash</i> (CASSOLA et al., 2010). ...	51
Figura 16 – (a) Sistema de coordenadas usado no programa <i>ISODOSE</i> ; (b) Esboço de uma fonte linear no sistema de referência adotado (VIEIRA, 2001).	53
Figura 17 – Imagem frontal e lateral do esqueleto do modelo (LOUREIRO, 2002).	54
Figura 18 – Fantoma MAX: (a) vista frontal, (b) vista lateral e (c) corte coronal (KRAMER et al., 2003).	55
Figura 19 – Vista lateral e frontal da geometria usada na construção da fonte divergente AP (VIEIRA, 2004).	56
Figura 20 – Projeções lateral e frontal do fantoma FAX (KRAMER et al., 2004).	57
Figura 21 – O fantoma de <i>voxels</i> MAXB (SANTOS, 2006).	57
Figura 22 – Projeções frontais do maxsb e faxsb (LEAL NETO, 2007).	58
Figura 23 – Fatia 27 do fantoma sintético FAX obtida de uma radiografia de tórax anterior-posterior (AP): (a) com base em energia (b) com base em dose (COSTA, 2008).	59

Figura 24 – Imagens da vista anterior de todos os órgãos e tecidos dos fantasmas femininos de 5 e 10 anos de idade (LIMA, 2011).....	61
Figura 25 – Imagens 3D do fantoma geradas com o programa IDL, mostrando: (a) rins, bexiga e testículos; (b) coração e estômago; (c) pulmões e baço; (d) fígado; (e) intestinos (PEIXOTO, 2008).	62
Figura 26 – Janela principal do <i>software OLINDA</i> com destaque para o menu <i>Main Input Form</i>	63
Figura 27 – Janela <i>Nuclide Input Form</i> para a definição do Elemento e Isótopo correspondente.....	64
Figura 28 – Janela principal do OLINDA com destaque para os fantasmas disponíveis.	65
Figura 29 – Janela <i>Kinetic Input Form</i> para a entrada dos dados cinéticos.	65
Figura 30 – Janela principal do <i>XrayDose</i> (COLLINS <i>et al.</i> , 2000).....	66
Figura 31 – Janela de saída do <i>XrayDose</i> para mostrar as doses nos órgãos e a dose efetiva (COLLINS <i>et al.</i> , 2000).....	66
Figura 32 – Janela principal do <i>software FANTOMAS</i> (VIEIRA <i>et al.</i> , 2005).	67
Figura 33 – Janela principal do <i>VoxelDose</i> com um exame selecionado (LEAL NETO, 2007).	68
Figura 34 – Janela principal do <i>CALDose_X</i> : Definição do exame de raios-X (KRAMER <i>et al.</i> , 2008).....	69
Figura 35 – Janela secundária do <i>CALDose_X</i> com as indicações gráficas do campo, da fonte e do fantoma irradiado.....	69
Figura 36 – Janela secundária do <i>CALDose_X</i> com as opções de escolha entre Dose Absorvida e CC.	70
Figura 37 – Janela secundária do <i>CALDose_X</i> com um formulário de saída da dose absorvida em órgãos e tecidos do corpo humano.....	70
Figura 38 – Janela principal do <i>Nacional Institute of Standard and Technology</i> (NIST).....	71
Figura 39 – Janela do BD <i>ESTAR</i> para cálculo do <i>stopping Power</i> , parâmetros de efeito de densidade, alcance, tabelas de rendimento da radiação para os elétrons em materiais diversos.	72
Figura 40 – Página do NIST para obtenção de gráficos e tabelas de coeficientes de atenuação de massa e de massa-energia para 92 elementos e 48 substâncias adicionais de interesses dosimétricos.....	73
Figura 41 – Tabela para solicitação de dados referentes aos coeficientes de atenuação de massa para raios-X.....	74

Figura 42 – Página referente ao gráfico μ/ρ ou μ_{en}/ρ (cm^2/g) x Energia do fóton (MeV) e tabelas com os coeficientes de atenuação do cobalto-27.....	75
Figura 43 – Diagrama de camadas do SID.	78
Figura 44 – (a) Arquivo <i>mash3_sta.data</i> e (b) Janela principal do <i>software FANTOMAS</i>	80
Figura 45 – (a) Janela principal do <i>software DIP</i> e (b) Arquivo <i>mash3_sta.sid</i>	81
Figura 46 – Arquivos de saída de simulação MC no formato TXT e os correspondentes no formato ZIP.....	82
Figura 47 – Janela <i>New Project</i> do MVS 2010 para criação do projeto SID.	83
Figura 48 – Janela para selecionar <i>WCF RIA Service</i>	84
Figura 49 – Solução <i>SID</i> com seus projetos Cliente e Web.	84
Figura 50 – Janela principal do SID antes das personalizações.	85
Figura 51 – Janela do <i>software IconLover</i> com o ícone do SID de 128 x 128 <i>pixels</i>	85
Figura 52 – Janela do <i>Solution Explorer</i> com destaque para a criação de uma nova pasta.....	86
Figura 53 – Janela para escolher o ícone da interface principal do SID.	86
Figura 54 – Personalização do título da janela principal do aplicativo no ambiente de <i>design</i>	87
Figura 55 – <i>Solution Explorer</i> exibindo o menu <i>Rename</i>	87
Figura 56 – Janela do SID após as personalizações iniciais.....	88
Figura 57 – Janela principal do SID apresentando seus principais controles.....	88
Figura 58 – Ambiente de <i>design</i> da página <i>Início</i> e do <i>Solution Explorer</i> com destaque para <i>Inicio.xaml</i>	89
Figura 59 – Ambiente de <i>design</i> da página <i>Suporte</i> e do <i>Solution Explorer</i> com destaque para <i>Suporte.xaml</i>	90
Figura 60 – Janela do aplicativo SID mostrando a localização das pastas <i>DosimetriaExterna</i> e <i>DosimetriaInterna</i>	91
Figura 61 – (a) Fragmento do <i>Solution Explorer</i> para adição de um novo item <i>Silverlight Child Window</i> e (b) Fragmento da janela <i>Add New Item</i> com a nomeação da UI <i>E_FSTAEGSnrc</i>	92
Figura 62 – Ambiente de <i>design</i> da UI <i>E_FSTAEGSnrc.xaml</i> mostrando seus controles.	92
Figura 63 – Códigos C# da UI <i>E_DosimetriaExterna.xaml.cs</i> embutidos em regiões.	93
Figura 64 – Janela <i>Add New Item</i> para adicionar arquivos de recursos.	94
Figura 65 – Janela <i>Resource.resx</i> com o caminho para a adição do arquivo <i>mspectra.txt</i>	95
Figura 66 – Ambiente de <i>design</i> e marcação da janela <i>I_MSTAEGSnrc</i>	96
Figura 67 – Ambiente de <i>design</i> e marcação da janela WPF da UI <i>DoRadIo</i>	96

Figura 68 – Ambiente de desenvolvimento do SID com destaque para os 7 projetos da solução SID.....	97
Figura 69 – UI <i>PovoasID_BDs</i>	98
Figura 70 – Janela principal da UI <i>SID_ZIP</i>	99
Figura 71 – Ambiente de <i>design</i> ASP.NET e na solução ‘SID’ destaque para o projeto <i>CadastrarProtocolos</i>	100
Figura 72 – Ambiente de <i>design</i> e marcação ASP.NET. Na solução ‘SID’, destaque para o projeto <i>Imagens</i>	101
Figura 73 – Imagem de medicina nuclear (LOPES FILHO, 2007).	102
Figura 74 – Janela principal da UI complementar <i>DoRadIo</i>	103
Figura 75 – Janela principal do <i>MSSQL Server Management Studio</i>	104
Figura 76 – Janela do <i>Microsoft SQL Server Management Studio</i> com a instância carregada.	105
Figura 77 – Janela <i>New Database</i> para nomear e configurar o BD.	105
Figura 78 – Janela do <i>MS SQL Server Management Studio</i> com destaque para <i>New Table</i> . ..	106
Figura 79 – Tabelas <i>FantomasZIP</i> e <i>ResultadosDosimetricosZIP</i> contidas no BD <i>SID_Dados</i>	106
Figura 80 – O SSMS exibindo o BD <i>SID_Dados</i> e a tabela <i>FantomasZIP</i> povoada.	107
Figura 81 – Janela principal da interface do SGBD MySQL <i>Workbench</i>	108
Figura 82 – Janela MySQL <i>Model</i> para a criação do BD <i>SID_Dados</i>	109
Figura 83 – Janela MySQL <i>Model</i> com a sobreposição da janela de confirmação da renomeação do BD.	109
Figura 84 – Janela MySQL <i>Model</i> com a nomeação da tabela <i>FantomasZIP</i>	110
Figura 85 – Janela com destaque para a aba <i>columns</i>	110
Figura 86 – Janela <i>Manage DB Connections</i> para as configurações de conexão com o <i>SID_Dados</i>	111
Figura 87 – Janela do <i>MySQL Workbench</i> confirmando a correção dos parâmetros de conexão.	111
Figura 88 – <i>Prompt</i> de comando do <i>MySQL</i> com instrução para aumento de armazenamento para 500 MB.	112
Figura 89 – BD <i>SID_Dados</i> com as tabelas <i>FantomasZIP</i> e <i>ResultadosDosimetricos</i> . Destaque para o conteúdo da tabela <i>FantomasZIP</i>	112
Figura 90 – BD <i>Protocolos_Exames</i> com a tabela <i>Radiodiagnosticos</i> . Destaque para o conteúdo da tabela.	113

Figura 91 – Tamanhos dos arquivos do fantoma <i>MASH3_sta</i> nos formatos SGI e SID.	115
Figura 92 – (a) Fragmento do arquivo <i>MASH3_sta.SGI</i> e (b) Fragmento do arquivo <i>MASH3_sta.SID</i>	115
Figura 93 – Arquivos do fantoma <i>MASH3_sta</i> nos formatos SID e ZIP.....	115
Figura 94 – Interface principal do SID.	116
Figura 95 – Janela para criar o input do MCE FASH/EGSnrc.....	117
Figura 96 – Arquivo .egsinp para entrada de uma simulação exemplo.....	118
Figura 97 – Janela <i>FANTOMAS DISPONÍVEIS</i> para baixar fantomas compactados.	119
Figura 98 – Janela com resultados dosimétricos disponíveis em arquivos de texto compactados.	120
Figura 99 – Janela com a tabela <i>Radiodiagnosticos</i> que traz parâmetros de exames de tórax e abdome.....	121
Figura 100 – Janela <i>Security Warning</i> com as opções para atalhos no <i>Start menu</i> e no <i>Desktop</i>	122
Figura 101 – Janela apresentada pelo SID na instalação <i>Desktop</i>	122
Figura 102 – Ícone do SID dos atalhos no <i>menu</i> Iniciar (a) e no <i>Desktop</i> (b).	123
Figura 103 – Janela disponibilizada ao administrador para atualizações da tabela <i>Radiodiagnósticos</i>	124
Figura 104 – Janela oferecida pela UI <i>Imagens</i>	124
Figura 105 – UI complementar <i>DoRadIo</i> com destaque para o <i>menu Arquivos</i>	125
Figura 106 – Janela do <i>Windows Explorer</i> apresentando parte dos órgãos-fontes.	126
Figura 107 – Arquivo contendo o lote dos órgãos-fontes a serem simulados.....	126
Figura 108 – O menu <i>Processamento de Imagens Digitais</i> com seu dois <i>submenus</i>	127
Figura 109 – Interface com a imagem de medicina nuclear (2) e a ROI (máscara) selecionada (4).....	127
Figura 110 – (a) Região do pescoço (Tireóide), (b) Região do intestino e (c) Região da Bexiga.....	128
Figura 111 – Janela apresentando o resultado da soma das intensidades dos pixels da ROI da Figura 110 (a).	129
Figura 112 – O menu <i>Análise de Resultados Dosimétricos</i> e seus <i>submenus</i>	130
Figura 113 – Janela para escolha dos órgãos fonte e alvo em uma análise de resultados.	130
Figura 114 – Janela com resultados dosimétricos a partir de uma fonte simples.....	131
Figura 115 – Janela resultante do submenu <i>Resultados Dosimétricos: Fonte Simples</i> , com um exemplo de escolha do usuário.....	132

Figura 116 – Interface para a definição dos órgãos-fontes com seus respectivos pesos normalizados.....	133
Figura 117 – Conteúdo do arquivo Resultados_DI_Ponderados.txt obtido.	133
Figura 118 – Interface para obter os resultados gráficos e numéricos com a atuação da fonte ponderada em um órgão-alvo.	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Constantes da fonte planar para o fantoma MAX.	25
Tabela 2 – Constantes para a fonte planar utilizando o fantoma MASH.	29
Tabela 3 – Valores de referência para massas de órgãos e tecidos em <i>grama</i> da ICRP89.	32
Tabela 4 – Tamanho de alguns objetos definidos no BD <i>SQL Server</i>	46
Tabela 5 – Os pontos-chaves da revisão da literatura	75

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASP	<i>Active Server Pages</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
BD	Banco de Dados
CC	Coeficiente de Conversão
CLR	<i>Common Language Runtime</i>
CRUD	<i>Create, Read, Update e Delete</i>
DEN	Departamento de Energia Nuclear
DIP	<i>Digital Image Processing</i>
DLL	<i>Dynamic Link library</i>
EGS	<i>Electron-Gamma Shower</i>
ESAK	<i>Entrance Surface Air kerma</i>
FASH	<i>Female Adult meSH</i>
FAX	<i>Female Adult Voxel</i>
FDA	Função Densidade Acumulada
FDP	Função Distribuição de Probabilidade
FSTA	<i>Fash STAnding</i>
FSUP	<i>Fash SUPina</i>
GDN	Grupo de Dosimetria Numérica
GNA	Gerador de Número Aleatório
GUI	<i>Graphics User Interface</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
ICRU	<i>International Commission on Radiation Units and Measurements</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
ID	Número Identificador
IIS	<i>Internet Information Services</i>
INAK	<i>Incident Air Kerma</i>
IRM	<i>Imagem por Ressonância Magnética</i>

ISO	<i>International Standards Organization</i>
KERMA	<i>Kinetic Energy Released per unit MAss</i>
LDN	Laboratório de Dosimetria Numérica
LINQ	<i>Language INtegrated Query</i>
MASH	<i>Male Adult meSH</i>
MAX	<i>Male Adult Voxel</i>
MC	Monte Carlo
MCE	Modelo Computacional de Exposição
MCNP	<i>Monte Carlo N-Particle</i>
MIRD	<i>Medical Internal Radiation Dose Committee</i>
MSTA	<i>Mash STAding</i>
MSUP	<i>Mash SUPina</i>
MVS	<i>Microsoft Visual Studio</i>
NCRP	<i>National Council on Radiation Protection and Measurements</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
OLINDA	<i>Organ Level INternal Dose Assessment</i>
RIA	<i>Rich Internet Application</i>
ROI	<i>Region Of Interest</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SGBD	Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados
SGI	Simulações Gráficas Interativas
SID	Sistema de Informações Dosimétricas
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SSMS	<i>SQL Server Management Studio</i>
TC	Tomografia Computadorizada
TSQL	<i>Transact-SQL</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
UI	<i>User Interface</i>
VOXEL	<i>VOLume piXEL</i>
WCF	<i>Windows Communication Foundation</i>
WPF	<i>Windows Presentation Foundation</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>
XAML	<i>Extensible Application Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1	Dosimetria das Radiações	21
2.1.1	Dosimetria externa.....	22
2.1.1.1	Grandezas básicas	22
2.1.1.2	Estudos realizados com a fonte planar.....	24
2.1.1.3	O <i>software</i> CALDose_X.....	30
2.1.2	Dosimetria interna	31
2.2	Ambiente de Desenvolvimento Computacional e suas Tecnologias	35
2.2.1	Plataformas de desenvolvimento de programas computacionais.....	35
2.2.2	A linguagem de programação C#.....	36
2.2.3	O aplicativo para desenvolvimento de programas <i>web/desktop Silverlight</i>	37
2.2.4	O aplicativo para desenvolvimento de programas <i>web</i>: ASP.NET	42
2.2.5	O internet information services (IIS)	44
2.2.6	Sistema de gerenciamento de bancos de dados relacionais (SGBDR)	44
2.2.6.1	Comunicação entre o Silverlight e o banco de dados	47
2.2.7	Identificadores de arquivos.....	48
2.3	Modelos Computacionais de Exposição (MCE)	49
2.3.1	Fantomas (simuladores antropomórficos computacionais)	49
2.3.2	Códigos Monte Carlo.....	51
2.3.3	MCEs desenvolvidos e/ou utilizados por pesquisadores do DEN – UFPE	53
2.3.3.1	MCEs para dosimetria externa	53
2.3.3.2	MCEs para dosimetria interna	61
2.4	Interfaces de Usuário e Bancos de Dados Usados em Pesquisas e Aplicações em Dosimetria das Radiações	62
2.4.1	Interfaces de usuário em dosimetria interna.....	63
2.4.2	Interfaces de usuário em dosimetria externa	65

2.4.3 Banco de dados com informações para estudos em dosimetria das radiações ionizantes	70
2.5 Considerações Finais	75
3 MATERIAIS E MÉTODOS	77
3.1 Manipulação de Arquivos	79
3.1.1 Ler e converter fantomas no formato binário em formato de texto	79
3.1.2 Compactar e descompactar arquivos manipulados no SID.....	81
3.1.3 Obtenção, organização e conversão de fantomas de voxels em fantomas SID e ZIP.....	81
3.1.4 Obtenção e conversão dos resultados dosimétricos em ZIP	82
3.2 Interfaces de Usuários	83
3.2.1 A Interface principal do sistema	83
3.2.2 Interfaces Secundárias	89
3.2.2.1 Interfaces vinculadas aos controles para informações iniciais.....	89
3.2.2.2 Interfaces de usuário vinculadas aos MCEs	90
3.2.3 Interfaces complementares	97
3.2.3.1 PoviaSID_BDs	98
3.2.3.2 SID_ZIP	98
3.2.3.3 Cadastrar Protocolos	99
3.2.3.4 Imagens.....	100
3.2.3.5 DoRadIo.....	101
3.3 Bancos de Dados.....	103
3.3.1 Construção dos BDs SID_Dados	103
3.3.1.1 SID_Dados no MS SQL Server 2008.....	104
3.3.1.2 SID_Dados no MySQL.....	107
3.3.2 Construção do BD Protocolos_Exames	112
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	114
4.1 Conversão, tamanho e formato de arquivos.....	114
4.1.1 A Conversão RAW para SID.....	114

4.1.2	Compactação e descompactação	115
4.2	Ferramentas disponibilizadas na interface principal do SID	116
4.2.1	Modelos computacionais de exposição.....	116
4.2.2	Bancos de dados	118
4.2.2.1	Fantomas	118
4.2.2.2	Resultados Dosimétricos	119
4.2.2.3	Protocolos de radiodiagnóstico.....	120
4.2.2.4	SID no desktop.....	121
4.3	Funcionalidades das Interfaces Complementares	123
4.3.1	Cadastrar protocolos	123
4.3.2	Imagens	124
4.3.3	DoRadIo.....	125
5	CONCLUSÕES	136
6	PERSPECTIVAS.....	137
	REFERÊNCIAS	138
	APÊNDICE A – LISTAS DE CÓDIGOS	147
	APÊNDICE B – PASSOS PARA EXECUTAR O MCE MSTA/EGSNRC USANDO ARQUIVO DE LOTE.....	158
	APÊNDICE C – ARQUITETURA DO SID.....	162

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta o SID, um sistema computacional para obter e gerenciar informações sobre dosimetria das radiações ionizantes produzidas pelo grupo de dosimetria numérica (GDN). A quantidade de informações, incluindo as produzidas por este trabalho, é bastante significativa e encontram-se espalhadas em artigos, dissertações e teses. Alguns desses trabalhos resultaram em softwares que são referência nos meios acadêmicos e perante a comunidade médica da área da dosimetria.

Para realizar estudos em dosimetria numérica, o grupo utiliza principalmente modelos computacionais de exposição (MCEs), que são constituídos de fantasmas antropomórficos, algoritmos de fontes radioativas (internas e externas) e de códigos Monte Carlo (MC), que simulam o transporte da radiação, suas interações com o meio e a deposição da energia da radiação nos tecidos orgânicos. Portanto, precisam de computadores para preparar e executar tais modelos. Também são utilizadas imagens médicas em formatos diversos, tais como: DICOM, JPG, GIF e BMP. É rotina durante estes estudos, a aplicação de ferramentas computacionais para realizar tarefas que vão desde a preparação dos arquivos de entrada das simulações MC até a leitura e exibição de resultados dosimétricos, entre diversas outras. Também se desenvolvem novas ferramentas de acordo com as necessidades.

Este trabalho também apresenta estudos específicos realizados em dosimetria externa e interna. Fez-se uma análise de uma superfície plana contendo fontes radioativas emissoras de fótons uniformemente distribuídos, denominada fonte planar. O estudo inicia com o estabelecimento da função densidade de probabilidade (FDP) do problema, passando por testes com FDPs usuais na literatura até a apresentação de resultados dosimétricos. Com relação à dosimetria interna desenvolveu-se um *software* denominado *DoRadio* (Dosimetria das Radiações Ionizantes), para realizar as tarefas computacionais necessárias para obtenção de resultados dosimétricos com os MCEs utilizados pelo GDN.

É importante que as informações produzidas fiquem acessíveis ao maior número de pessoas possível. O SID é um espaço virtual que possibilita ao usuário interagir com diversas ferramentas computacionais, tais como banco de dados (BDs) e interfaces de usuários (*UI*, *User Interface*) que possibilitam criar arquivos de entrada para simulações Monte Carlo no sistema EGS (*Electron Gamma Shower*), acessar BDs para obter fantasmas de voxels, resultados dosimétricos e protocolos de radiodiagnóstico, além do *software DoRadio*. A versão atual do SID integra diversas ferramentas que são necessárias às tarefas realizadas no

campo específico da dosimetria computacional de fótons e elétrons para o GDN e grupos afins.

Para o desenvolvimento do sistema foram utilizadas ferramentas computacionais que são referências na comunidade acadêmica e de negócios, principalmente, o ambiente de desenvolvimento do *Microsoft Visual Studio 2010* (MVS), a linguagem de programação C#, os modelos de projeto *Silverlight Navigation Application* e *Windows Presentation Foundation* (WPF) e dos sistemas gerenciadores de bancos de dados SQL Server 2008 e MySQL.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um sistema computacional para obtenção e gerenciamento de informações sobre dosimetria das radiações ionizantes. Para atingir este objetivo foi preciso:

- Desenvolver e implementar novos algoritmos de fontes radioativas;
- Obter resultados dosimétricos utilizando MCEs;
- Desenvolver códigos para leitura e escrita de arquivos binários e texto contendo informações dosimétricas, realizando compactações e/ou descompactações quando for necessário;
- Construir a UI principal para o SID;
- Construir UIs secundárias e complementares para tarefas administrativas e de usuário;
- Construir BDs para gerenciar arquivos com informações dosimétricas;
- Desenvolver um serviço de domínio para as tarefas de comunicação entre os BDs e o SID.

O produto final deste trabalho está disponibilizado no sítio do GDN, <http://www.dosimetrianumerica.org/>, para acesso livre. O *software* agrega valores como rapidez, precisão, portabilidade e fácil acesso. Portanto, um novo paradigma de *software* para radiologia.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma síntese dos estudos das referências que fundamentaram o desenvolvimento do SID, quais sejam: dosimetria das radiações, ambientes de desenvolvimentos computacionais e suas tecnologias, MCEs produzidos em trabalhos desenvolvidos no DEN/UFPE ou de grupos de pesquisas parceiros do GDN e de UIs relacionadas com dosimetria das radiações ionizantes.

2.1 Dosimetria das Radiações

Em física, o termo radiação refere-se usualmente a partículas¹ e campos que se propagam transferindo energia no espaço material ou no vácuo. A faixa do espectro eletromagnético com comprimento de onda menor que 10^3 *angstrom* (ultravioleta) corresponde à radiação ionizante. A partir dessa energia a maior parte dos átomos e moléculas “simples” (compostos elementares de H, C, N e O abundantes em meio biológico) podem ter seus elétrons mais exteriores arrancados. É importante destacar que essa é aproximadamente a energia de ionização da molécula de água, principal constituinte do meio celular (BIRAL, 2002).

O ramo da ciência que relaciona quantitativamente medidas específicas feitas em um campo de radiação a agentes químicos, físicos e/ou alterações biológicas que a radiação poderia produzir em um alvo, chama-se Dosimetria das Radiações. A dosimetria é essencial para quantificar a incidência de diversas mudanças biológicas como uma função da quantidade de radiação recebida (dose-efeito), comparar diferentes experiências, monitorar a exposição às radiações de indivíduos bem como radiações no meio ambiente (TURNER, 2007).

Ao interagir com um alvo, a radiação pode produzir átomos e moléculas ionizados e excitados, e um grande número de elétrons secundários. Os elétrons secundários podem produzir ionizações adicionais e excitações, até que as energias de todos os elétrons estejam abaixo do limiar necessário para a excitação do meio ou que estes escapem do meio. As transições eletrônicas iniciais, que produzem espécies quimicamente ativas, são concluídas em tempos muito curtos ($\leq 10^{-15}$ s) em regiões locais ao longo do caminho percorrido por

¹ A relatividade associa transporte de energia ao de massa. A mecânica quântica associa campos periódicos eletromagnéticos (ondas) a partículas sem massa e associa partículas subatômicas com massa a ondas. Assim, no contexto de radiações ionizantes, esta característica dual pode ser usada de acordo com o fenômeno.

uma partícula carregada. Essas mudanças, que exigem a absorção direta de energia da radiação incidente pelo alvo, representam as perturbações físicas iniciais a partir das quais os efeitos da radiação subsequente evoluem. Então, é fundamental para a dosimetria das radiações a medição de ionização e absorção de energia.

Em escala mundial, as recomendações da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (*International Commission on Radiological Protection, ICRP*)² têm desempenhado um papel importante no estabelecimento de critérios de proteção em muitos países que lidam com radiação, inclusive o Brasil. Nos Estados Unidos, as recomendações do Conselho Nacional sobre Proteção e Medidas da Radiação (*National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP*)³ têm fornecido orientações semelhantes. Existe uma estreita cooperação entre estes dois órgãos e também com a Comissão Internacional sobre Unidades e Medidas de Radiação (*International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU*)⁴. Na sequência apresentam-se estudos sobre dois temas importantes para a dosimetria: dosimetria externa e a dosimetria interna.

2.1.1 Dosimetria externa

Apresentam-se neste item as grandezas básicas utilizadas na dosimetria externa, os estudos desenvolvidos com o algoritmo da fonte radioativa no solo e o *software* CALDose_X para estimativas de dose externa.

2.1.1.1 Grandezas básicas

Quando o corpo humano é submetido a radiações externas, a dose absorvida em qualquer região dentro de um organismo depende do tipo de radiação e sua energia, da profundidade do ponto em que a dose é absorvida e da constituição elementar do meio absorvedor. Por exemplo, os ossos, que possuem elementos com maior número atômico (Ca e P) do que os tecidos moles (C, O, H e N), absorvem mais energia advinda de um feixe de raios-X por unidade de massa do que estes (CEMBER; JOHNSON, 2009). A quantidade física primária usada em dosimetria é a dose absorvida, que é definida como

² Desde 1928 (criação), a ICRP tem desenvolvido, mantido e elaborado o Sistema Internacional de Proteção Radiológica usado em todo o mundo como a base comum para as normas de proteção radiológica, legislação, diretrizes, programas e práticas (<http://www.icrp.org/>).

³ O NCRP foi fundado pelo Congresso dos EUA em 1964 (<http://www.ncrponline.org/>).

⁴ Foi concebida no Primeiro Congresso Internacional de Radiologia em Londres em 1925 e foi oficialmente reconhecida no segundo em Estocolmo no ano de 1928 (<http://www.icru.org/>).

$$D = \frac{\Delta E_{abs}}{\Delta m}, \quad (1)$$

onde ΔE_{abs} é a energia média absorvida a partir de qualquer tipo de radiação ionizante em um volume de massa Δm , em qualquer alvo. A unidade de dose absorvida, J/kg , é denominada *gray* (Gy).

Além da dose absorvida, outra grandeza fundamental para a dosimetria externa, relacionada com fótons e nêutrons, é o KERMA (*Kinetic Energy Released per unit MA*ss), definida como a energia cinética inicial de todas as partículas com carga liberada pela radiação (energia transferida, E_{transf}) por unidade de massa (TURNER, 2007). Matematicamente é calculada por

$$K = \frac{\Delta E_{transf}}{\Delta m}. \quad (2)$$

O KERMA tem a mesma unidade de dose absorvida e seu valor só pode ser considerado igual à dose absorvida quando a deposição for local, isto é, as partículas secundárias tiverem recuo desprezível (TURNER, 2007). Esta é a chamada aproximação KERMA. De acordo com a ICRU60 (1998), a dose absorvida no ar pode ser determinada por:

$$D_{ar} = \begin{cases} K_{ar}(1 - g) \\ K_{ar}(\text{aproximação KERMA}) \end{cases} \quad (3)$$

onde g representa uma correção devida à produção de *Bremsstrahlung* no volume infinitesimal onde o KERMA é calculado.

O KERMA sempre pode ser medido no ar e o seu valor relacionado com a dose absorvida no ar ou em outros meios. Na verdade o que se mede é a grandeza primária fluência de fótons ou de nêutrons (*número de partículas / área.tempo*). Conhecendo-se fluência e os espectros de energia dos fótons ou nêutrons que atravessam um meio de massa conhecida, pode-se calcular o KERMA. Assim, é conveniente descrever um campo de radiação em termos do KERMA em algum meio relevante ou material de referência que geralmente é o ar ICRU44 (1989).

A conversão da dose absorvida no ar para dose absorvida no meio é dada por (CEMBER; JOHNSON, 2009)

$$D_{meio} = \frac{\left[\frac{\mu_{en}}{\rho} \right]_{meio}}{\left[\frac{\mu_{en}}{\rho} \right]_{ar}} D_{ar} \quad (4)$$

Iniciando a busca por uma função de distribuição acumulada (FDA) é fundamental sortear fótons emergentes de dentro de um círculo no plano de raio r_{max} e fora de um círculo de raio r_c , que atinjam a superfície cilíndrica de altura h e raio r_c . A FDA que descreve a distribuição dos fótons que emergem de um ponto S_r e chegam ao semicírculo de raio h da Figura 1, é dada por:

$$Y(r) = \frac{1}{C_{max} - C_{min}} \left[r^2 - r\sqrt{r^2 - h^2} + h^2 \ln(r + \sqrt{r^2 + h^2}) - C_{min} \right], \quad (5)$$

onde

$$\begin{cases} C_{min} = r_c^2 - r_c\sqrt{r_c^2 + h^2} + h^2 \ln(r_c + \sqrt{r_c^2 + h^2}) \\ C_{max} = r_{max}^2 - r_{max}\sqrt{r_{max}^2 + h^2} + h^2 \ln(r_{max} + \sqrt{r_{max}^2 + h^2}) \end{cases}$$

Derivando (5) em função de r , obtém-se a função densidade de probabilidade (FDP):

$$y(r) = \frac{2}{C_{max} - C_{min}} \left(r - \frac{r^2}{\sqrt{r^2 + h^2}} \right) = A \left(r - \frac{r^2}{\sqrt{r^2 + h^2}} \right). \quad (6)$$

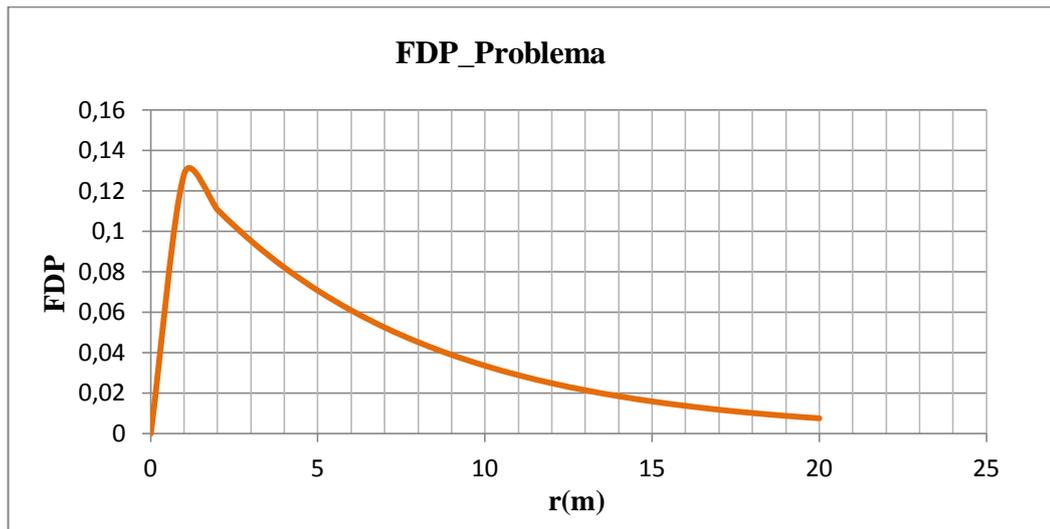
A Tabela 1 mostra as constantes do problema com base nas dimensões externas do fantoma de voxel adulto masculino MAX (VIEIRA, 2004).

Tabela 1 – Constantes da fonte planar para o fantoma MAX.

CONSTANTE	VALOR
r_c (cm)	28,80
r_{max} (cm)	2000,00
h (cm)	175,32
C_{min} (cm ²)	159176,40
C_{max} (cm ²)	239654,80
A (cm ⁻²)	2,60E-5

A Figura 2 mostra o gráfico da FDP problema com as constantes mostradas na Tabela 1.

Figura 2 – Gráfico da FDP problema.



Para gerar amostras de r usando a FDA é preciso obter a função que transforma amostras uniformes x em r , utilizando a técnica da inversão generalizada (KALOS; WHITLOCK, 1986). A Equação 5 não é inversível. Em 2004, o problema foi resolvido usando a técnica de rejeição com a FDP de Boltzmann sobreposta à FDP do problema. A FDA de Boltzmann é dada por

$$Y(r) = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{\frac{r-r_0}{dr}}} + A_2, \quad (7)$$

onde r_0 é a abscissa central, dr é largura da curva, $A_1 = Y(-\infty)$ e $A_2 = Y(+\infty)$ (ORIGINLAB, 2013). Invertendo (7), com $Y(r) = u$, $u \in [0, 1)$, obtém-se o gerador de números aleatórios (GNA).

$$r = r_0 + dr \ln \left(\frac{A_1 - u}{u - A_2} \right) \quad (8)$$

Os valores dos parâmetros que permitiram o uso da técnica de amostragem por rejeição foram do MCE MAX/EGS4: $(A_1, A_2, r_0, dr) = (-80,5; 1,07; -3453; 804)$.

Para reduzir o número de parâmetros, em 2006, Leal Neto e colaboradores trocaram a distribuição de Boltzmann pela FDA exponencial.

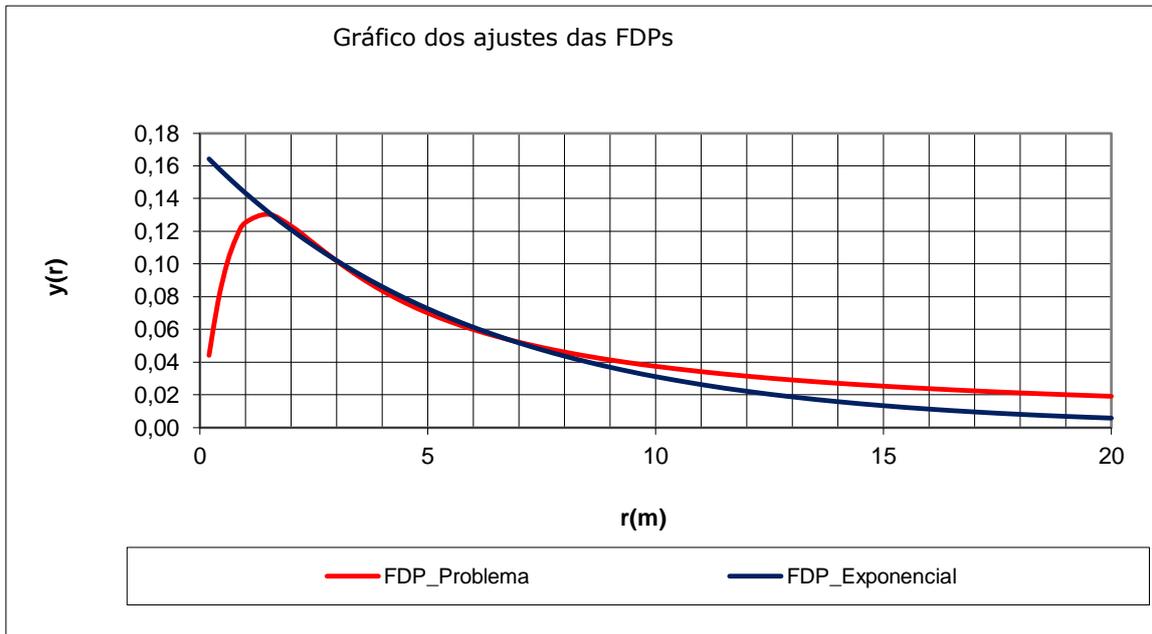
$$Y(r; \lambda) = 1 - e^{-\lambda r}, \quad (9)$$

Substituíram $Y = u$ e aplicaram o logaritmo natural (\ln) dos dois lados de (9), $\ln u = \ln(1 - e^{-\lambda r}) \Rightarrow \ln u = \ln e^{-\lambda r} \Rightarrow \ln u = -\lambda r$. Neste ponto, inverteram a função para obter o algoritmo que permite realizar a amostragem

$$r = -\frac{\ln u}{\lambda}, \quad 0 < u \leq 1. \quad (10)$$

λ foi obtida ajustando a FDP Exponencial. A Figura 3 mostra os gráficos da FDP problema com as constantes mostradas na Tabela 1 e a FDP exponencial ajustada.

Figura 3 – Gráfico do ajuste da FDP exponencial à FDP problema.



O algoritmo produzido para a fonte foi computacionalmente eficiente para gerar a distribuição de fótons desejada. A validação dosimétrica da fonte foi feita calculando os coeficientes de conversão (CCs) em alguns órgãos do fantoma MAX e comparando os resultados com similares encontrados na literatura.

Considerando-se, principalmente, que o perfil da FDP Exponencial não cobria eficientemente a FDP problema, em 2008, Leal Neto e colaboradores refizeram o estudo aperfeiçoando a FDP utilizada. Desta vez, com uma composição da FDP Erlang (distribuição Gama generalizada), dada por (RUBINSTEIN, 1981):

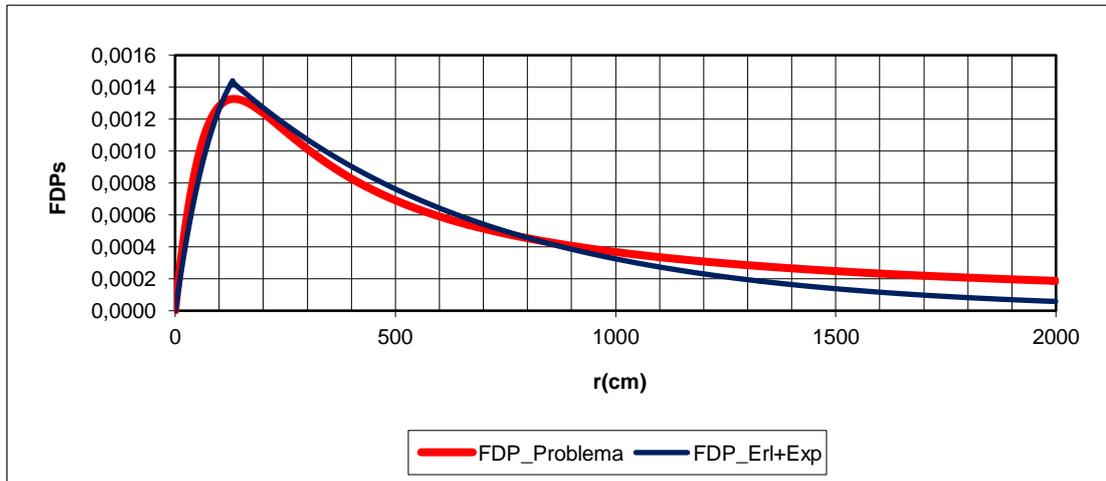
$$y_C(r) = \begin{cases} \frac{a^b r^{b-1}}{(b-1)!} e^{-ar}, & \text{para } r \geq 0 \\ 0, & \text{para } r < 0 \end{cases}, \quad (11)$$

com uma FDP Exponencial:

$$y_D(r) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda r}, & \text{para } r \geq 0 \\ 0, & \text{para } r < 0 \end{cases} \quad (12)$$

Os parâmetros modelados para $y_C(r)$ ($C =$ crescente) foram $a = 1/225$ e $b = 2$. Com estes parâmetros foi possível ajustar a parte crescente da distribuição, como mostrado na Figura 4. A parte decrescente foi ajustada utilizando-se $y_D(r)$ ($D =$ decrescente), com o parâmetro $\lambda = 0,0017$. A Figura 4 exhibe graficamente a FDP problema e a composição FDP Erlang com a FDP Exponencial com ajustes para obter os melhores parâmetros.

Figura 4 – Gráfico das FDPs Erlang e Exponencial ajustadas à FDP problema.



A partir de então foi utilizada a técnica Monte Carlo de amostragem por rejeição, que se mostrou mais eficiente, uma vez que menos fótons foram rejeitados e a amostragem mais eficiente e precisa. Após a verificação de que a FDP se aproximou dos objetivos, adaptou-se o código utilizado na amostragem para MORTRAN (linguagem de programação utilizada pelo EGS4) e compilou-se em FORTRAN. Então, criou-se um executável a fim de obter as interações para 19 energias em keV: 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 150, 200, 300, 500, 1 000, 2 000, 3 000, 6 000, 10 000, com um total de 10^7 fótons simulados para cada. Foi obtida desta forma a energia depositada em cada voxel do fantoma e, conseqüentemente, os CCs para dose equivalente por KERMA no ar para os principais órgãos e tecidos radiosensíveis. .

Em 2012, Vieira e colaboradores resolveram definitivamente o problema da fonte planar⁶. Desta vez, substituíram a FDP problema pela FDP normal transladada (JOHNSON, 1949), dada por:

$$y(r) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{r(1-r)} e^{-\frac{1}{2} \left[\gamma + \delta \ln \left(\frac{r}{1-r} \right) \right]^2}, \quad 0 < r < 1, \quad (13)$$

⁶ Denominada fonte de disco (VIEIRA *et al.*, 2012)

onde δ ($\delta > 0$) e γ são parâmetros reais.

Assim, foi apresentado um novo algoritmo simulador da fonte planar derivado da FDP normal transladada (13):

$$r = \frac{1}{1 + e^{-\frac{(z-\gamma)}{\delta}}}, \quad (14)$$

Este algoritmo retorna um número real no intervalo $[0, 1)$ e depende de uma variável aleatória gaussiana padrão z e dos parâmetros reais δ e γ .

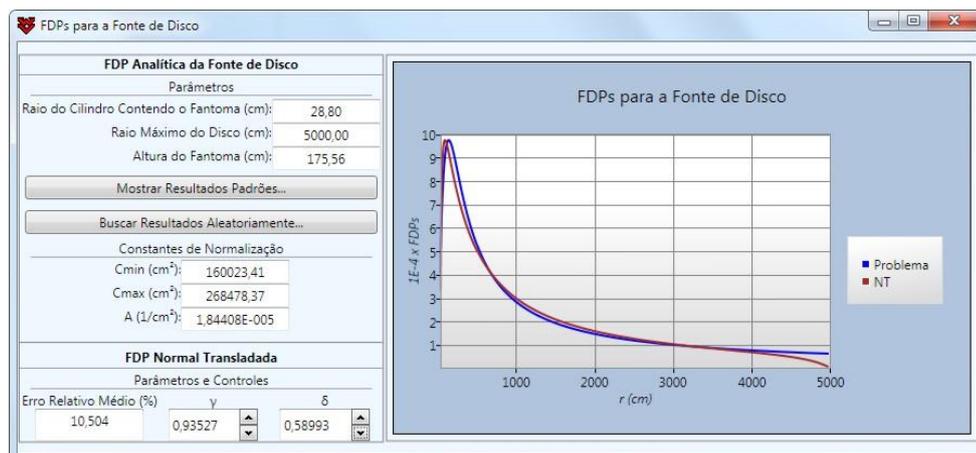
Para obter os parâmetros δ e γ , foram utilizados constantes do fantoma MASH e da fonte planar exibidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Constantes para a fonte planar utilizando o fantoma MASH.

CONSTANTE	VALOR
r_c (cm)	28,80
r_{max} (cm)	5000,00
h (cm)	175,56
C_{min} (cm ²)	160023,41
C_{max} (cm ²)	268478,37
A (cm ⁻²)	1,84408E-05

A Figura 5 exhibe o perfil da FDP normal transladada (fdpnt) ajustada à FDP problema. Esta tarefa foi executada pelo software *MonteCarlo* (VIEIRA et al., 2012).

Figura 5: Substituição da FDP problema pela fdpnt realizada pelo software *MonteCarlo*.



Finalmente, é importante destacar que o estudo da fonte planar iniciado em 2004 e concluído em 2012, representa não só o aprimoramento de um algoritmo para resolver um problema específico, mas uma técnica de caráter geral que já está sendo usada em alguns trabalhos do DEN-UFPE, onde é necessário uma FDP assimétrica à direita.

2.1.1.3 O software CALDose_X

Na literatura recente tem-se um *software*, denominado *CALDose_X* (KRAMER *et al.*, 2008), que é uma importante ferramenta para a dosimetria externa. Ele fornece a possibilidade de calcular *incident air kerma* (INAK) e *entrance surface air kerma* (ESAK), duas importantes grandezas de normalização (ICRP74, 1996) utilizadas em radiodiagnóstico, com base na saída do equipamento de raios-X. O *software* utiliza CCs obtidos em simulações com os MCEs MSTA (*Mash STANDING*), MSUP (*Mash SUPina*), FSTA (*Fash STANDING*) e FSUP (*Fash SUPina*), e organizados em um arquivo de texto, como o exemplo mostrado na Figura 6, para avaliar a dose absorvida por órgãos e tecidos do corpo humano, a dose efetiva por gênero, bem como os riscos de incidência de câncer e de morte por câncer para pacientes submetidos a exames radiológicos.

Figura 6 – Fragmento de um formulário de saída do CALDose_X para um exame de raios-X diagnóstico.

ÓRGÃO/TECIDO	mGy	%
ESAK	1,581	1,12
Bexiga	0,283	1,15
Parede do cólon	0,390	0,32
Seios, glândulas	0,002	5,69
Rins	0,035	1,32
Fígado	0,030	0,65
Ovários	0,305	2,11
Pâncreas	0,147	0,96
Parede do Intestino Delgado	0,416	0,24
Entrada da Pele 7,2cm x 7,2cm	1,597	1,12
Baço	0,009	3,77
Parede do Estômago	0,048	1,54
Útero	0,218	0,94
Parede do Coração	0,001	9,00
Nodos Linfáticos	0,209	0,49
Parede da Vesícula Biliar	0,095	4,43
Média no Esqueleto	0,153	0,14
Máxima Dose Absorvida na RBM	0,143	0,85
Máxima Dose Absorvida na BSC	0,181	1,15
Dose Feminina Ponderada no Corpo Inteiro	0,108	0,52
Risco de Incidência de Câncer	0,792	casos por 100000
Risco de Mortalidade por Câncer	0,371	casos por 100000

2.1.2 Dosimetria interna

Substâncias radioativas, como outros agentes, podem entrar no corpo por três vias: inalação de gases radioativos e aerossóis; ingestão de água ou alimentos, transferência pelas mãos de radionuclídeos para a boca; absorção pela pele intacta ou através de feridas (CEMBER; JOHNSON, 2009). Como nos casos de radiação externa, procedimentos foram desenvolvidos para avaliar a dose efetiva e a dose equivalente resultantes de emissores internos. Os limites primários para todas as exposições são aqueles recomendados pelos órgãos nacionais e internacionais de proteção radiológica (TURNER, 2007).

A ICRP89 (2003) apresenta dados de modelos de referência de seis diferentes idades: recém-nascidos, de 1, 5, 10 e 15 anos e adultos, masculinos e femininos. Os valores de referência apresentados para vários parâmetros anatômicos e fisiológicos são aqueles para os europeus ocidentais e norte-americanos, populações para as quais existem dados extensos e bem documentados. A Tabela 3 mostra valores de referência para as massas de alguns órgãos e tecidos, como um exemplo de alguns dos dados anatômicos apresentados na ICRP89 (2003). O relatório 89 também apresenta algumas comparações feitas com várias populações asiáticas. É importante que os grupos de pesquisa em dosimetria interna produzam fantomas baseados nos valores de referência e realizem avaliações dosimétricas utilizando espectros de energia de radionuclídeos porque estes dados podem ser ajustados (por interpolação, por exemplo) a indivíduos de diferentes idades e etnias; ou produzam fantomas personalizados (CASSOLA, 2011). Os fantomas desenvolvidos com base nos valores de referência permitem avaliar doses nos órgãos para um radionuclídeo incorporado sob um conjunto de pressupostos bem definidos. Métodos já estabelecidos utilizam estes modelos para estimar a distribuição de energia depositada em regiões de interesse, decorrente da incorporação de radionuclídeos. Historicamente, destacam-se o *Medical Internal Radiation Dose* (MIRD) (SNYDER *et al.*, 1975 e 1978; LOEVINGER *et al.*, 1988) e os modelos biocinéticos da ICRP53 (1988), pois fornecem coeficientes como dose absorvida por atividade acumulada, frações absorvidas, frações absorvidas específicas. Estes formalismos fornecem a base para análise no controle de rotinas e programas de bioensaios em clínicas e hospitais de todo o mundo.

Tabela 3 – Valores de referência para massas de órgãos e tecidos em grama da ICRP89.

Órgão/Tecidos	Recém-nascido	1 ano	5 anos	10 anos	15 anos		Adulto		
					M	F	M	F	
Tecido Adiposo	930	3800	5500	8600	12000	18700	18200	22500	
Sistema Alimentar									
Par. Estômago	7	20	50	85	120	120	150	140	
Cont. Estômago	40	67	83	117	200	200	250	230	
Par. Int. Delgado	30	85	220	370	520	520	650	600	
Cont. Int. Delgado	56	93	117	163	280	280	350	280	
Fígado	130	330	570	830	1300	1300	1800	1400	
Sistema Tegumentar									
Pele	175	350	570	820	2000	1700	3300	2300	
Músc. e Esqueleto	800	1900	5600	11000	24000	17000	29000	17500	
Sistema Respiratório									
Pulmões c/ Sangue	60	150	300	500	900	750	1200	950	
Pulmões (Tecido)	30	80	125	210	330	290	500	420	
Baço	9,5	29	50	80	130	130	150	130	
Timo	13	30	30	40/30	35	30	25	20	
Tireoide	1,3	1,8	3,4	7,9	12	12	20	17	
Sistema Urogenital									
Rins (2)	25	70	110	180	250	240	310	275	
Testículos (2)	0,85	1,5	1,7	2	16		35		
Ovários (2)	0,3	0,8	2,0	3,5		6		11	
Útero	4,0	1,5	3	4		30		80	
Total do Corpo	3500	10000	19000	32000	56000	53000	73000	60000	

A dose de radiação a partir de emissores internos não pode ser medida diretamente no ser humano, só pode ser estimada. A estimativa é baseada em fatores físicos e biológicos. Os fatores físicos incluem o tipo e a energia da radiação, e as meias-vidas radiológicas. Os fatores biológicos incluem a distribuição do radioisótopo dentro do corpo e o comportamento cinético, descrito pelas taxas de absorção, taxas de rotatividade metabólica e pelos tempos de retenção nos diferentes órgãos e tecidos (CEMBER; JOHNSON, 2009).

O cálculo da dose absorvida em qualquer órgão-alvo (STABIN, 2008) é feito utilizando-se a equação genérica da dose utilizada pelo MIRD:

$$D = \tilde{A} \cdot S = A_0 \cdot \tau \cdot S, \quad (15)$$

onde \tilde{A} é atividade acumulada (soma de todas as transições nucleares que ocorreram em τ) em um órgão-fonte em $MBq.s$; τ é o tempo de residência, que é igual a \tilde{A}/A_0 , onde A_0 é atividade administrada ao paciente; e S é um fator dado por,

$$S = \frac{k \sum_i n_i E_i \Phi_i}{m} \quad (16)$$

onde, para o i -ésimo tipo de radiação,

n = número de radiações com energia E emitidas por transição nuclear

E = energia por radiação em MeV .

ϕ = fração absorvida (energia de radiação absorvida pelo alvo dividida pela energia oriunda da fonte).

m = massa do órgão-alvo em *kg*.

k = constante de proporcionalidade em *Gy.kg/MBq.s.MeV*.

Um importante *software* para dosimetria interna, o MIRDOSE (STABIN, 1994), foi atualizado e renomeado para OLINDA (*Organ Level Internal Dose Assessment*) (STABIN, 2005). A principal utilidade deste programa é permitir que o usuário obtenha, a partir de informações selecionadas, tabelas com os fatores *S*. Estes fatores foram obtidos de simulações usando o código Monte Carlo ALGAM (WARNER; CRAIG, 1968), fantomas matemáticos e dados de radionuclídeos utilizados na medicina nuclear. Os fantomas matemáticos são organizados em bibliotecas que permitem estimar doses para as diferentes idades bem como para mulheres em diferentes estágios da gravidez. O OLINDA não inclui bibliotecas de dados cinéticos para os medicamentos radiofarmacêuticos em medicina nuclear. O usuário deve estimar esses valores ou obtê-los na literatura, para avaliar doses de radiação, usando a equação 15.

Uma alternativa ao formalismo MIRD, que utiliza fantomas matemáticos, foi realizada por Jones (1998), que fez estimativas de doses em órgãos devido a fontes internas usando o formalismo MIRD com o fantoma de voxel NORMAN (DIMBYLOW, 1995). Ele observou diferenças significativas entre as avaliações por ambos os modelos. Também em 1998, Petoussi-Hens e Zankl publicaram frações absorvidas específicas utilizando os fantomas tomográficos pediátricos BABY e CHILD (ZANKL *et al.*, 1988) e os adultos GOLEM e VOXELMAN (ZUBAL *et al.*, 1994a). Estes estudos foram continuados por Smith e colaboradores (2000, 2001), que compararam seus resultados com o sistema MIRD-5. Os dados relativos aos voxels obtidos da segmentação de imagens CT (*Computed Tomography*) e MRI de um paciente varrido da cabeça à metade das coxas (Zubal *et al.*, 1994a, 1994b, 1995), foram usados para determinar os CCs para órgãos e tecidos onde a dose equivalente foi normalizada pela atividade administrada (JOHNSON *et al.*, 2000), e também para calcular as frações absorvidas específicas para serem usadas em medicina nuclear (YORIYAZ *et al.*, 2000; STABIN e YORIYAZ, 2002).

O DEN tem dado contribuições significativas para a dosimetria interna. Entre elas: desenvolvimento do programa computacional *ISODOSE* para determinar curvas de isodose em volta de fontes radioativas lineares utilizadas em braquiterapia (VIEIRA, 2001). Uma metodologia baseada nas imagens CT do esqueleto do fantoma para a obtenção do MCE MAX/EGS4, desde a construção geométrica do fantoma, passando pelo desenvolvimento

algorítmico de 14 fontes utilizadas para irradiações externas (13) e internas até o acoplamento do MAX ao código MC EGS4 (VIEIRA, 2004). Em 2007, Lopes Filho adaptou o algoritmo para simular as fontes radioativas internas de Vieira (2004) para uso em medicina nuclear. Atualização da fonte de dosimetria interna foi inicializada com o desenvolvimento do método *systematic-periodic cluster* (SPC), que utiliza imagens μ CT de cinco amostras de ossos trabeculares para modelar regiões de ossos esponjosos humanos. Os dois tecidos ósseos de maior radiosensibilidade são a medula óssea vermelha, localizada nas cavidades das trabéculas, e as células das superfícies destas. Com o método SPC e a influência de parâmetros tais como a resolução do microvoxel e fração do volume de osso trabecular, foram investigadas as doses absorvidas pelos tecidos radiosensíveis do esqueleto (KRAMER *et al.*, 2006, 2007); apresentou-se estudo sobre a influência do tamanho dos *clusters* sobre os resultados dosimétricos em uma vértebra lombar a partir de imagens μ CT para a exposição externa do corpo para fótons (KRAMER *et al.*, 2009). Em 2010, Barbosa utilizou esta nova metodologia para avaliar a distribuição dosimétrica em braquiterapia de próstata usando fontes permanentes de baixa taxa de dose. Em 2011, Costa desenvolveu dois modelos antropomórficos patológicos: uma paciente mastectomizada e um paciente com aumento do volume renal bilateral devido a um linfoma. Estes dois modelos foram desenvolvidos a partir dos fantasmas de voxels MASH e FASH, e foram acoplados ao código Monte Carlo EGSnrc. Também em 2011, utilizando uma amostra do osso fêmur, Kramer e colaboradores fizeram um estudo dosimétrico comparativo entre os métodos SPC e *Paired-Image Radiation Transport* (PIRT), este introduzido por pesquisadores da Universidade da Flórida. Os resultados calculados com os dois métodos de dosimetria do esqueleto concordam bem se forem consideradas as diferenças entre os dois modelos. Além disso, apresenta a atualização do método SPC com mais imagens μ CT de ossos trabeculares (KRAMER *et al.*, 2012).

Atualmente, os MCEs desenvolvidos por Kramer e colaboradores (2010) e disponibilizados na página <http://www.caldose.org/>, contêm, além dos fantasmas mais atuais, 27 órgãos-fontes para serem utilizados em simulações de dosimetria interna com fantasmas personalizados (CASSOLA, 2011).

2.2 Ambiente de Desenvolvimento Computacional e suas Tecnologias

Neste tópico abordam-se as plataformas de desenvolvimento de *softwares*, suas principais tecnologias, assim como formas de armazenamento de informação, conexão, banco de dados e interação com o usuário.

2.2.1 Plataformas de desenvolvimento de programas computacionais

As plataformas de desenvolvimento de *software* são tecnologias que permitem a criação de aplicações voltadas para *desktops*, servidores, *web* e dispositivos móveis como PDAs (*Personal Digital Assistants*) e celulares. As mais utilizadas nos dias atuais são:

- ✓ A Plataforma Microsoft .NET (MSDN, 2013) oferece suporte a aplicativos e soluções projetadas para os menores dispositivos, bem como para as maiores empresas. Os desenvolvedores de *software* que a usam podem:
 - Trabalhar com uma variedade de linguagens, padrões e ferramentas de programação;
 - Criar aplicativos para o Windows, o Office, a Web e para os dispositivos móveis;
 - Beneficiar-se dos recursos que a Microsoft oferece para ajudar os desenvolvedores de *software* a criar e projetar aplicativos diversos.
- ✓ A Plataforma Java⁷ (JAVA, 2013), lançada pela primeira vez pela *Sun Microsystems* em 1995, é a tecnologia que possibilita a produção de muitos programas da mais alta qualidade, como utilitários, jogos e aplicativos corporativos, entre muitos outros. A Java é executada em mais de 850 milhões de computadores pessoais e em bilhões de dispositivos em todo o mundo, inclusive telefones celulares e dispositivos de televisão.

A plataforma Microsoft .NET viabiliza a criação e a utilização de aplicações, processos e serviços de sítios da *web* baseadas em XML (*eXtensible Markup Language*) que compartilham e trocam informações e funcionalidades entre si, através de UIs, e também com outras plataformas ou dispositivos inteligentes. Todos os aplicativos .NET são construídos a partir de arquivos-fontes, que são arquivos que podem ser visualizados em editores de texto. Estes arquivos recebem extensões específicas de acordo com a linguagem de programação. Por exemplo, o arquivo-fonte em Visual Basic tem extensão .vb; em C#, .cs, e assim por diante. Independentemente de ser uma aplicação Windows ou web, os arquivos-fontes seguem a sintaxe da linguagem de programação utilizada.

⁷ JAVA é uma linguagem de programação e também uma plataforma computacional.

O *Integrated Development Environment* (IDE) do MVS 2010, tem embutida a plataforma .NET Framework, versão 4.0, onde se encontram todas as tecnologias necessárias para criar uma aplicação robusta e eficiente. Entre as tecnologias disponíveis, destacam-se:

- A linguagem de programação C#;
- A linguagem de marcação *eXtensible Application Markup Language* (XAML) que é a versão XML da Microsoft;
- O modelo de aplicativo para desenvolvimento de interfaces *web* e *desktop* *Silverlight Navigation Application*;
- O modelo de aplicativo para desenvolvimento de interfaces *web* ASP.NET;
- O *Internet Information Services* (IIS);
- O Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) SQLServer 2008 e MySQL⁸.

2.2.2 A linguagem de programação C#

De acordo com Sharp, 2010, a Microsoft Visual C# é uma linguagem de programação poderosa, mas simples, destinada principalmente a desenvolvedores para criar aplicativos usando o *Microsoft .NET Framework*. Ela herda muitas das melhores características das linguagens C, C++ e *Microsoft Visual Basic*, resultando em uma linguagem mais limpa e mais lógica.

A linguagem C# 1.0 fez a sua estreia pública em 2001. Com o Visual Studio 2005 veio a versão C# 2.0 e diversos novos recursos importantes foram adicionados à linguagem, conjuntos genéricos de variáveis, iteradores e métodos anônimos. A C# 3.0, que foi lançada com o Visual Studio 2008, acrescentou os métodos de extensão, expressões lambda e a mais famosa de todas, *Language INtegrated Query*, ou LINQ. A versão C# 4.0 oferece novas características que melhoram a sua interoperabilidade com outras linguagens e tecnologias do MVS 2010. A C# 4.0 utiliza a versão 4.0 do *Framework .NET*, cuja característica mais significativa em relação às versões anteriores são as classes e tipos que constituem a *Task Parallel Library* (TPL). Usando a TPL, podem-se construir aplicações altamente escaláveis que tiram proveito de processadores de múltiplos núcleos. O suporte para serviços *Web* e *Windows Communication Foundation* (WCF) também foi estendido, nesta versão, tornando-se possível construir serviços que seguem tanto o modelo REST (*Representational State Transfer*) quanto o esquema de SOAP (*Simple Object Access Protocol*) mais tradicional.

⁸ Não pertence à Microsoft, mas é um dos mais utilizados.

2.2.3 O aplicativo para desenvolvimento de programas *web/desktop Silverlight*

O *Silverlight* é uma tecnologia .NET multiplataforma, que adiciona funções para diversos navegadores (*cross-browser plug-in*) e um conjunto de ferramentas de desenvolvimento baseadas no Windows para criação de *Rich Internet Application* (RIA). Em seu coração, o *Silverlight* é uma aplicação dos conceitos e normas a partir do *Windows Presentation Foundation* (WPF), tais como ligação, propriedades de sistemas e XAML em uma versão *CrossPlatform* .NET da *Common Language Runtime* (CLR) e bibliotecas (BROWN, 2010).

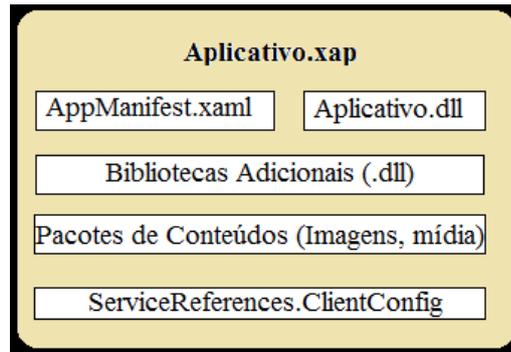
O *Silverlight* foi lançado no primeiro semestre de 2007 e, desde então, criou uma série de novidades. Enquanto *ASP.NET* é uma plataforma de desenvolvimento do lado do servidor, com a chegada do *Silverlight*, o foco mudou para o lado do cliente. Uma aplicação *Silverlight* é executada no navegador do cliente e em uma versão específica da CLR (CLEEREN; DOCKX, 2010).

Silverlight é uma tecnologia projetada para permitir a criação de aplicações ricas que são entregues através da web. Não é limitada a aplicativos baseados no navegador, mas permite a construção de aplicações alimentadas pela internet. Estas podem ser executadas no navegador tipicamente como uma RIA ou podem ser executadas no *desktop* como um típico aplicativo cliente. Sendo alimentada pela internet, aplicações *Silverlight* são multiplataforma (*cross-platform*), para vários navegadores (*cross-browser*) e para vários dispositivos (*cross-device*) (MORONEY, 2010).

O *Silverlight* funciona com *Windows* e *Macintosh*, assim como no *Linux* com o projeto *Moonlight*. Ele roda em *Windows Phone 7* e telefones *Nokia S60 Symbian*. *Silverlight* é a tecnologia de mais amplo alcance já produzida pela *Microsoft* (BROWN, 2010).

Aplicações *Silverlight* consistem em pelo menos uma biblioteca de vínculo dinâmico (*Dynamic Link Library*, DLL) .NET e um arquivo de manifesto (*AppManifest.xaml*), tudo compactado em um arquivo conhecido como XAP. Isso tudo é carregado para o *plug-in*⁹ em tempo de execução e, em seguida, executado em um ponto de entrada específico para iniciar a aplicação. A Figura 7 exibe o conteúdo típico de um arquivo .xap.

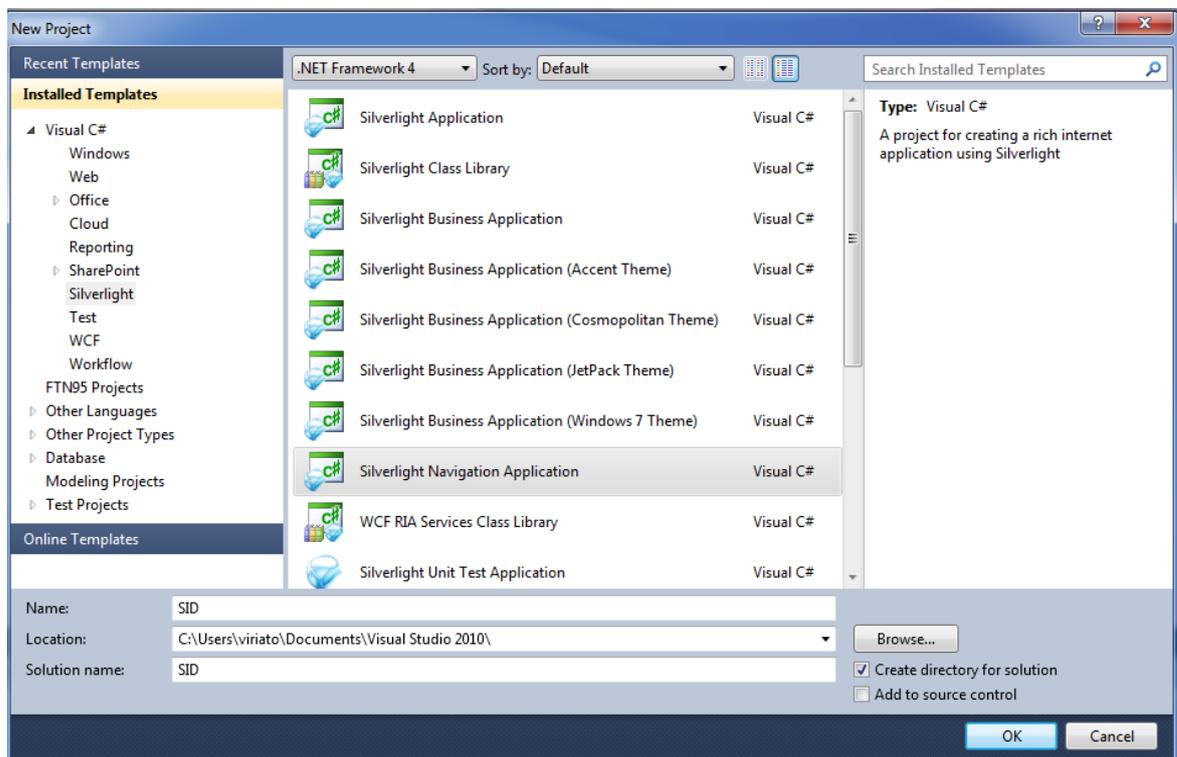
⁹ “Na informática, um *plugin* ou módulo de extensão (também conhecido por *plug-in*, *add-in*, *add-on*) é um programa de computador usado para adicionar funções a outros programas maiores, provendo alguma funcionalidade especial ou muito específica. Geralmente pequeno e leve, é usado somente sob demanda.” (Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Plugin> > Acesso em: jan. 2013)

Figura 7 – Estrutura de um arquivo .xap típico (Figura adaptada de BROWN, 2010).

O arquivo .xap é o mecanismo de implantação chave para todos os aplicativos de código gerenciado do *Silverlight*. A implantação de um aplicativo do *Silverlight* leva a duas ações:

- ✓ Exibir o .xap para o cliente através de algum URI (*Uniform Resource Identifier*);
- ✓ Instanciar o *plug-in Silverlight* na página *web* ou dentro de um processo de hospedagem fora do navegador.

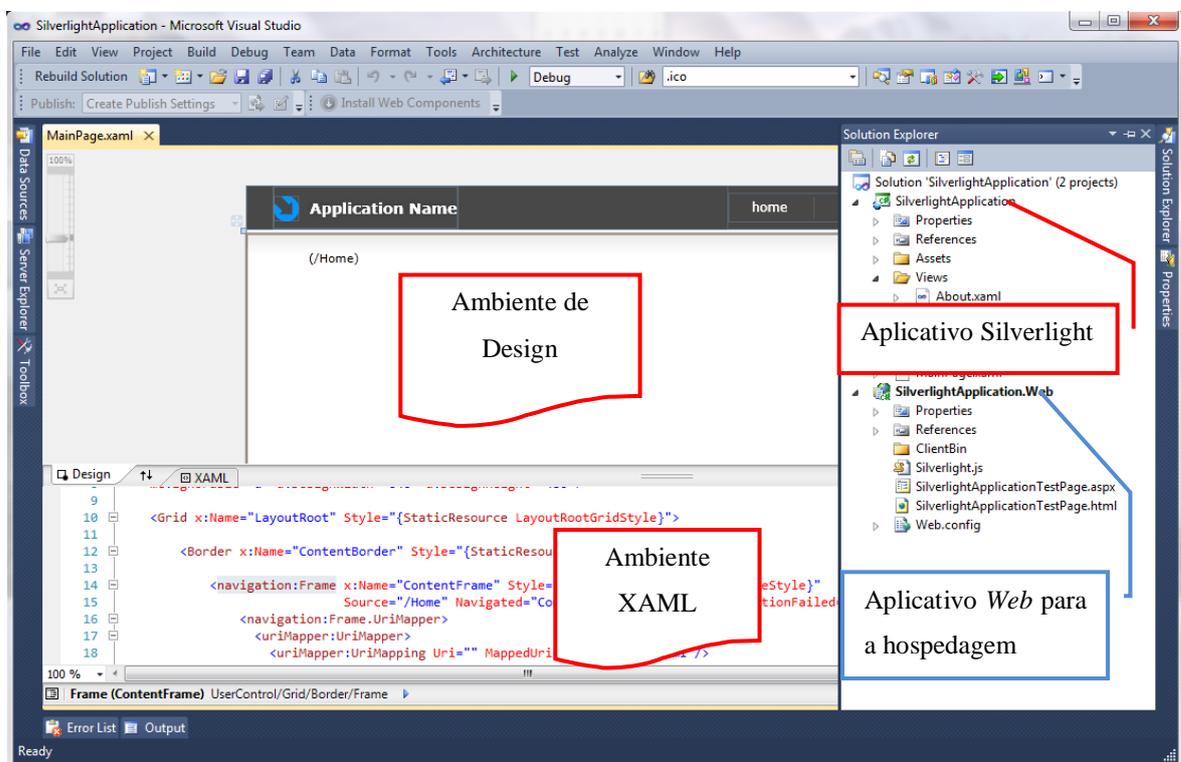
A Figura 8 apresenta a janela *New Project* do IDE do MVS 2010, com destaque para o modelo de aplicativo *Silverlight Navigation Application*.

Figura 8 – Janela *New Project* com o modelo de aplicativo *Silverlight Navigation Application* selecionado.

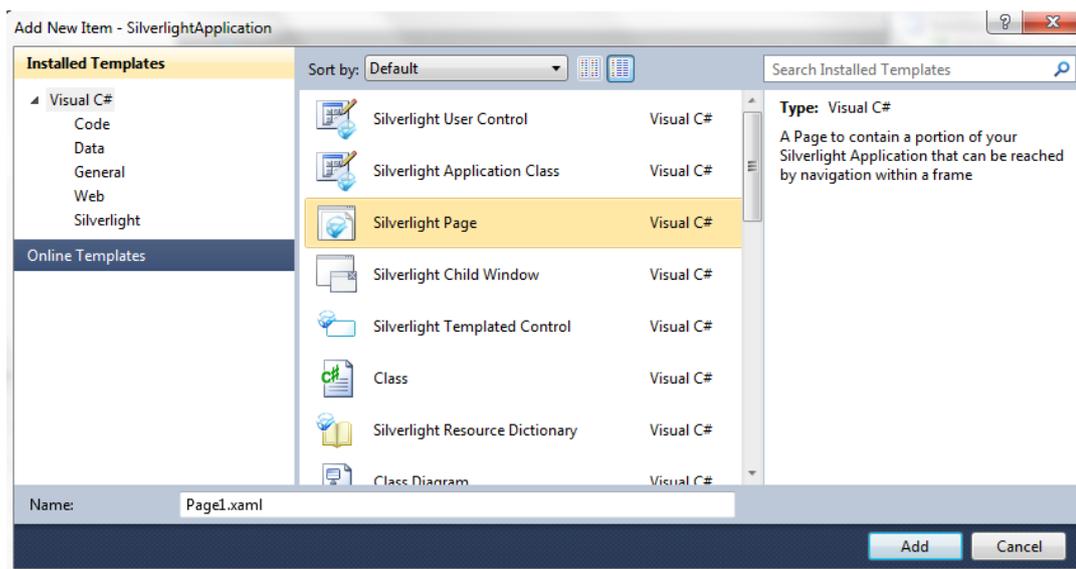
A Figura 9 apresenta a janela principal de um projeto *Silverlight* depois de criado, onde é possível destacar na parte central os dois ambientes de desenvolvimento: *Design* e *XAML*. Na janela vertical direita vê-se que a solução contém dois projetos: o aplicativo *Silverlight* e um aplicativo *web* que hospeda o aplicativo *Silverlight*.

No *Silverlight*, a funcionalidade e o conteúdo para um aplicativo de navegação estão nas páginas. Sugere-se que a adição de uma nova página seja na pasta *Views*, que é uma instância da classe *Page* do *Silverlight* definida no Namespace *Sistema.Windows.Controls.Navigation*. As ferramentas do *Silverlight* incluem um modelo para uma página em branco decorrente da navegação: classe *Page*, uma classe que é essencialmente um *UserControl* que tem sido reforçada para suporte de navegação (BROWN, 2010).

Figura 9 – Janela principal de um aplicativo *Silverlight*.



Clica-se com o botão direito do mouse na pasta *Views* e seleciona-se na caixa de diálogo *Add New Item*, então seleciona-se o item *Silverlight Page* e nomea-se o arquivo. Na Figura 10 é apresentada a janela *Add New Item* para a adição de um novo item.

Figura 10 – A caixa de diálogo Add New Item com o item Silverlight Page selecionado.

Depois de adicionar a nova página, é preciso fornecer uma maneira para o usuário encontrá-la. Em uma aplicação *Desktop* regular, este pode ser um menu ou barra de ferramentas. Para uma aplicação de navegação, em geral, usa-se um *HyperlinkButton*.

A navegação em páginas individuais é realizado por instâncias *HyperlinkButton* na *MainPage.xaml*. As páginas são carregadas na navegação usando-se um elemento *Frame* chamado *ContentFrame*.

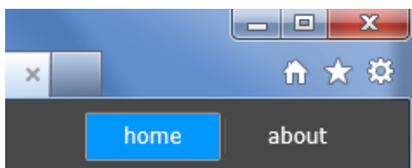
Na página principal do projeto, *MainPage.xaml*, ele é um *Border* chamado *LinksBorder*. Ele é o *menu* de navegação que aparece no canto superior direito. O padrão XAML para esta área é mostrado na Lista 1.

Lista 1 – Código XAML para o *menu* de navegação e o resultado.

XAML:

```
<Border x:Name="LinksBorder" Style="{StaticResource LinksBorderStyle}">
  <StackPanel x:Name="LinksStackPanel" Style="{StaticResource LinksStackPanelStyle}">
    <HyperlinkButton x:Name="Link1" Style="{StaticResource LinkStyle}"
      NavigateUri="/Home" TargetName="ContentFrame" Content="home"/>
    <Rectangle x:Name="Divider1" Style="{StaticResource DividerStyle}"/>
    <HyperlinkButton x:Name="Link2" Style="{StaticResource LinkStyle}"
      NavigateUri="/About" TargetName="ContentFrame" Content="about"/>
  </StackPanel>
</Border>
```

Resultado:



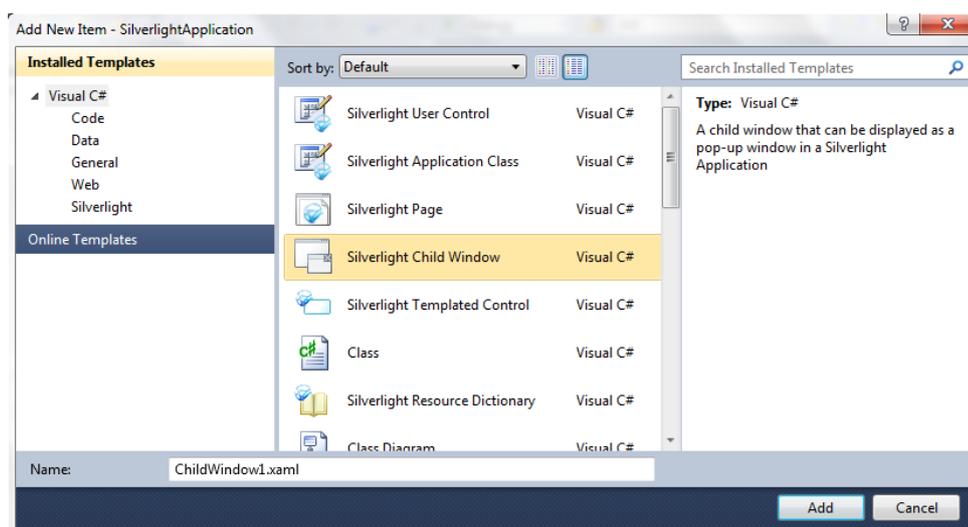
Este *Border* contém a estrutura de navegação do *menu* superior para o aplicativo. É um *StackPanel* simples de elementos: instâncias de *HyperlinkButton* separados por linhas verticais (retângulos estreitos).

O *Silverlight* tem uma estrutura de navegação com abordagem moderna orientada a *browser*, suportando conceitos como histórico diário da navegação, *back-and-forward* de navegação e páginas endereçáveis. Esta estrutura aborda as necessidades tanto da estrutura da aplicação quanto do usuário final da navegação. Ele também suporta conteúdo de diálogo. Além dos padrões de diálogos *open* e *save* (*OpenFileDialog* e *SaveFileDialog*) fornecidos pelo sistema operacional, pode-se também criar diálogos próprios usando controles como *Popup* e *ChildWindow* (BROWN, 2010).

Por ser o mais utilizado, é apresentado na sequência como se adiciona um controle *ChildWindow*. O *ChildWindow* acrescenta sobreposição de janela, resultados de diálogos, OK/Cancelar e funcionalidade de título da janela.

Ao contrário de *Popup*, *ChildWindow* é considerado um elemento de primeira classe, como *Page* e *UserControl*, e tem um modelo na lista de itens, como mostrado na Figura 11.

Figura 11 – O *ChildWindow Silverlight* é um elemento de primeira classe como o *UserControl* e *Page*.

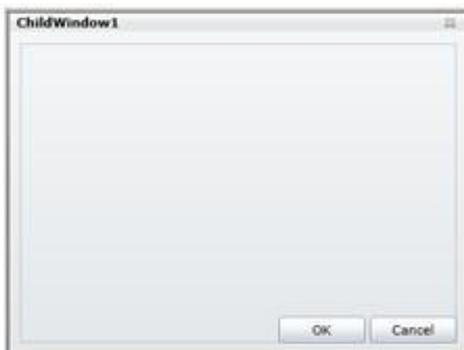


O *ChildWindow* não está localizado no centro de *runtime* do *Silverlight*, é localizado no *assembly System.Windows.Controls* no *software development kit* (SDK). A

Lista 2 apresenta o ambiente de design e XAML do modelo padrão da *ChildWindow* antes das personalizações.

Lista 2 – O modelo padrão da *ChildWindow*.

Resultado:



XAML:

```
<controls:ChildWindow x:Class="Capítulo15.ChildWindow1"
    xmlns="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml/presentation"
    xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml"
    xmlns:controls="clr-namespace:System.Windows.Controls;assembly=System.Windows.Controls"
    Width="400" Height="300"
    Title="ChildWindow1">
    <Grid x:Name="LayoutRoot" Margin="2">
        <Grid.RowDefinitions>
            <RowDefinition />
            <RowDefinition Height="Auto" />
        </Grid.RowDefinitions>
        //Aqui vai o conteúdo da janela

        <Button x:Name="CancelButton" Content="Cancel" Click="CancelButton_Click" Width="75"
Height="23" HorizontalAlignment="Right" Margin="0,12,0,0" Grid.Row="1" />
        <Button x:Name="OKButton" Content="OK" Click="OKButton_Click" Width="75" Height="23"
HorizontalAlignment="Right" Margin="0,12,79,0" Grid.Row="1" />
    </Grid>
</controls:ChildWindow>
```

2.2.4 O aplicativo para desenvolvimento de programas *web*: ASP.NET

Active Server Pages (ASP) é uma tecnologia Microsoft baseada em *scripts* que roda no servidor e permite que os *scripts* embutidos em uma página HTML sejam executados por um servidor *web*. Ele roda sobre o contexto do *Internet Information Services* (IIS), um componente que vem com o Windows 2000 ou posterior. Um arquivo ASP é do tipo HTML e pode conter texto, HTML, XML e *scripts*. Os *scripts* de um arquivo ASP são executados no servidor e têm a extensão “.asp” (no ASP.NET a extensão é .aspx).

Um navegador (*Internet Explorer, Chromer, Firefox, etc.*) requisita um arquivo HTML ao servidor e este retorna um arquivo HTML. Caso requisite um arquivo ASP, o servidor *internet information services* (IIS) ou *personal web server* (PWS) passa a requisição para ASP.DLL (que está no servidor), este lê o arquivo linha por linha e executa o(s) script(s) presente(s) no arquivo ASP. Ao final o servidor (IIS, PWS) retorna o arquivo ASP para o Navegador no formato HTML (MCDONALD, 2010).

O ASP.NET é a versão atual do ASP (Não é uma versão atualizada) e representa um novo paradigma para utilização de scripts no lado do servidor. ASP.NET é parte da plataforma .NET *Framework*. A Figura 12 apresenta a janela para criação de um projeto ASP.NET *Web Application* no MSV 2010. A Figura 13 apresenta a janela principal de uma aplicação ASP.NET com um projeto *Silverlight* hospedado.

Figura 12 – Janela *New Project* do MSV 2010 com destaque para o modelo de aplicativo ASP.NET *Web Application*.

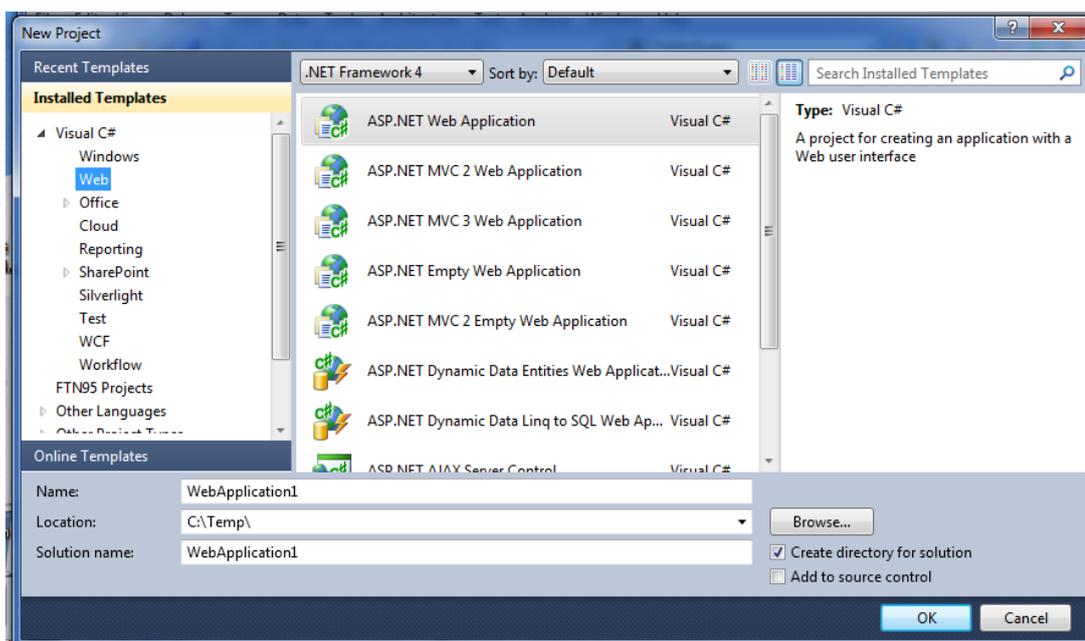
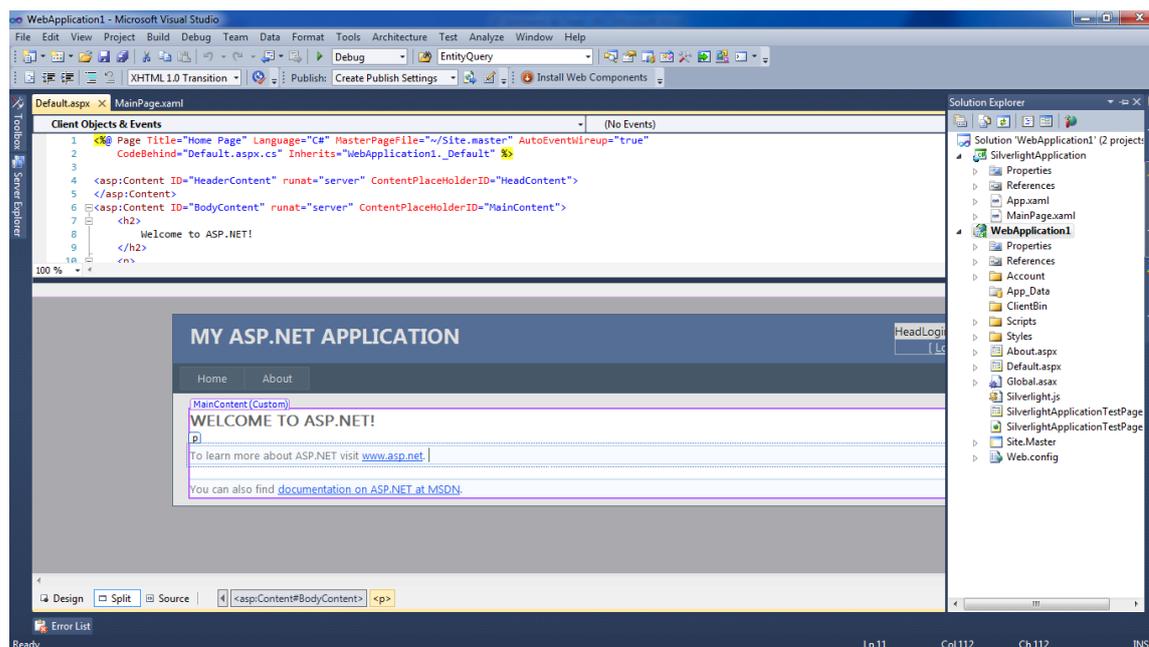


Figura 13 – Janela de um projeto ASP.NET com um aplicativo *Silverlight* hospedado.

ASP.NET é um aplicativo do lado do servidor e pode ser utilizado para hospedar um aplicativo *Silverlight* que é um aplicativo do lado cliente.

2.2.5 O internet information services (IIS)

O IIS é um *software* de hospedagem na *web* que faz parte do sistema operacional *Windows*. Ele é a opção *Windows* para hospedar sites em um computador. Para executar um aplicativo ASP.NET, precisa-se de um servidor web rodando o IIS. O servidor web tem um trabalho simples - ele aguarda solicitações do navegador e serve as páginas apropriadas. Configurar um servidor web não é difícil, mas é desnecessário. Graças ao servidor web de desenvolvimento integrado no Visual Studio, pode-se executar um site diretamente do ambiente de design. Claro que, quando concluído, será preciso implementar o aplicativo em um servidor *web* real (MCDONALD, 2010).

Pode-se dizer que o IIS 7 é uma plataforma *web* unificada que integra o IIS, ASP.NET, WCF e *Windows SharePoint Services*. Ele permite que você compartilhe informações com usuários na internet, em uma intranet ou extranet.

2.2.6 Sistema de gerenciamento de bancos de dados relacionais (SGBDR)

Bancos de dados ou bases de dados são conjuntos de registros dispostos em uma estrutura que obedece a regras, possibilitando a reorganização dos mesmos e produção

sistemática de informações. Atualmente, o modelo de dados mais adotado é o relacional, onde as estruturas têm a forma de tabelas, compostas por linhas e colunas. Um BD relacional é usualmente mantido e acessado por meio de um software conhecido como Sistema Gerenciador de Bancos de Dados Relacionais (SGBDR).

Um BD tem um nível interno, onde é descrita a estrutura de armazenamento físico dos dados, um nível intermediário, onde está a descrição lógica dos dados e um nível externo que contém controles que permitem aos usuários acesso aos dados disponíveis.

Os SGBDR oferecem uma ótima maneira de armazenar e acessar informações complexas. Eles são anteriores à *Web*, *Linux* e *Windows*. Portanto existem muitos SGBDR para se escolher. Todos os principais BD fazem uso da *Structured Query Language* (SQL) (BULGER *et al.*, 2004).

A SQL foi desenvolvida originalmente no início dos anos 70 nos laboratórios da IBM e devido à sua simplicidade surgiram vários "dialetos" desenvolvidos por outros produtores. Embora seja uma linguagem padronizada pelo ANSI (*American National Standards Institute*) e ISO (*International Standards Organization*), possui muitas variações e extensões produzidas por diferentes fabricantes de SGBDR. O fato de poder se adequar de plataforma para plataforma sem mudanças estruturais importantes, justifica o uso da SQL como linguagem padrão para BDs. Ela permite que um código em linguagem procedural seja embutido e interaja com o BD. Por exemplo, o BD Oracle e outros incluem a linguagem Java na base de dados, enquanto o *PostgreSQL* permite que funções sejam escritas em Perl, Tcl ou C, entre outras linguagens.

Os SGBDR comerciais mais populares são o *Oracle*, *Sybase*, *Informix*, *Microsoft SQL Server*, *DB2* e *IBM*. Em código aberto, além do *MySQL* existem dois BDs relacionais: o *Postgres*, a principal alternativa ao *MySQL* quando se trata de código aberto, e o *Interbase da Borland*.

Tanto o SGBDR *SQL Server 2008 Express* quanto o *MySQL* são obtidos gratuitamente. O primeiro na página oficial da Microsoft, <http://www.microsoft.com/pt-br/download/details.aspx?id=1695> e o segundo em <http://dev.mysql.com/downloads/>.

Para a construção de BDs, tanto o *SQL Server 2008* quanto o *MySQL* possuem interfaces de usuários que facilitam a tarefa. O *SQL Server* possui uma ferramenta denominada *SQL Server Management Studio* (SSMS). A SSMS fornece todas as capacidades de gestão para serviços do *SQL Server* juntamente com a capacidade para criar e executar

*Transact-SQL*¹⁰ (T-SQL), linguagem de consulta *MultiDimensional eXpressions* (MDX), *Data Mining eXtensions* (DMX), e XML para análise de código (XMLA) (HOTEC, 2009).

Ao projetar um BD, é preciso estimar o seu tamanho final. A estimativa do tamanho do BD ajuda a determinar a configuração de *hardware* necessário para alcançar o desempenho solicitado pelos aplicativos e garantir a quantidade física apropriada de espaço em disco exigida para armazenar os dados e índices.

O tamanho máximo de uma tabela no MySQL é da ordem milhões de terabytes (1 TB = 2⁴⁰ bytes) (MYSQL, 2012).

A Tabela 4 especifica os tamanhos e números máximos de alguns objetos definidos nos bancos de dados do *SQL Server* ou referenciados em instruções TSQL (MSDN, 2012). Com as capacidades dos BDs apresentadas, vê-se que praticamente não há limites internos nestes. As restrições que podem ocorrer serão por conta do sistema operacional.

Tabela 4 – Tamanho de alguns objetos definidos no BD *SQL Server*.

Objeto do Mecanismo de Banco de Dados do <i>SQL Server</i>	Tamanhos/números máximos do <i>SQL Server</i> (32 bits)	Tamanhos/números máximos do <i>SQL Server</i> (64 bits)
Bytes por colunavarchar(max), varbinary(max), xml,text ou image	2 ³¹⁻¹	2 ³¹⁻¹
Caracteres por colunantext ou nvarchar(max)	2 ³⁰⁻¹	2 ³⁰⁻¹
Colunas por chave primária	16	16
Conexões por cliente	Valor máximo de conexões configuradas	Valor máximo de conexões configuradas
Tamanho do banco de dados	524.272 TB	524.272 TB
Bancos de dados por instância do <i>SQL Server</i>	32.767	32.767
Grupos de arquivos por banco de dados	32.767	32.767
Arquivos por banco de dados	32.767	32.767
Tamanho de arquivo (dados)	16 TB	16 TB
Tamanho de arquivo (log)	2 terabytes	2 terabytes
Instâncias por computador	50 instâncias em um servidor autônomo para todas as edições do <i>SQL Server</i> . O <i>SQL Server</i> dá suporte a 25 instâncias em um cluster de failover ao usar um disco de cluster compartilhado como a opção armazenada para sua instalação de cluster.	50 instâncias em um servidor autônomo. 25 instâncias em um cluster de failover ao usar um disco de cluster compartilhado como a opção armazenada para sua instalação de cluster.
Tabelas por banco de dados	Limitado pelo número de objetos em um banco de dados	Limitado pelo número de objetos em um banco de dados
Conexões de usuário	32.767	32.767

¹⁰ *Transact-SQL* (T-SQL) é propriedade da Microsoft para a extensão SQL. Esta propriedade melhora as seguintes características do SQL: Controle do fluxo da língua, variáveis locais, várias funções de suporte ao processamento de *strings*, datas, matemáticas, etc., além do melhoramento para a declaração *DELETE* e *UPDATE*

2.2.6.1 Comunicação entre o Silverlight e o banco de dados

O sistema computacional aqui desenvolvido é tido como uma aplicação multicamadas (n-tier)¹¹. Portanto, necessita de uma tecnologia para fornecer framework, controles e serviços tanto para a aplicação cliente, *Silverlight*, quanto para a aplicação servidor, ASP.NET (CLEEREN; DOCKX, 2010). Assim, aplicações *Silverlight* orientadas a dados são de múltiplas camadas, por natureza elas têm um cliente, um servidor com serviços e uma unidade de armazenamento de dados. Às vezes, a partilha de entidades entre o cliente e o servidor é uma tarefa simples, às vezes não. Em geral, a quantidade de código que vai para o que poderia ser considerado canalização e os métodos CRUD (*Create, Read, Update e Delete*) padrões, acaba sendo uma parte significativa do código-fonte geral para a aplicação (BROWN, 2010).

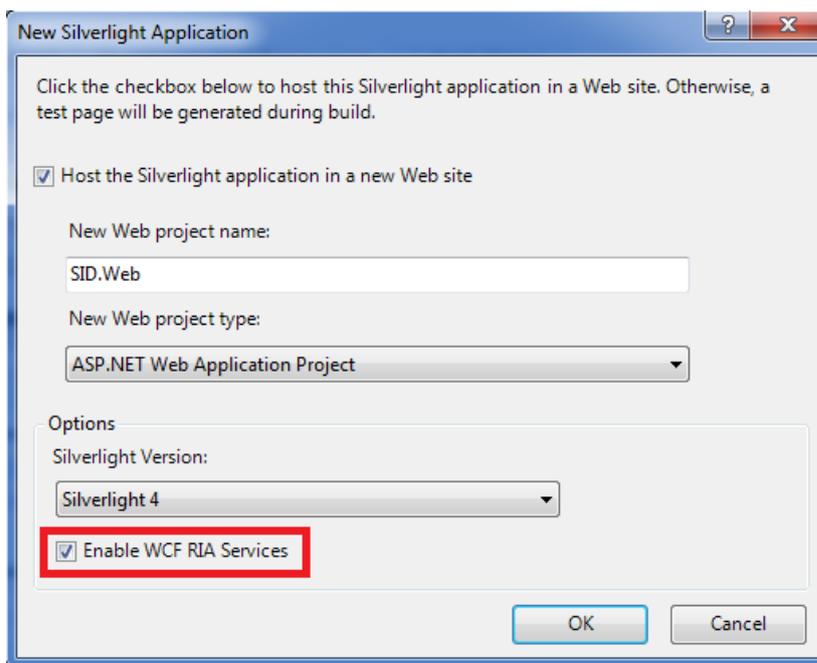
WCF RIA Service é uma tecnologia *server-side* para projetos de código para um cliente usando WCF (*Windows Communication Foundation*) como meio de comunicação entre o servidor e o cliente. Além disso, torna-se fácil adicionar uma validação de autenticação de seus serviços e/ou entidades.

WCF RIA Services é um *framework* e um conjunto de ferramentas que fornecem os seguintes benefícios:

- ✓ Criação automática de métodos comuns para entidades: CRUD;
- ✓ A geração automática e sincronização de métodos de serviços e proxies para *clientside*;
- ✓ As regras de validação e métodos de lógica arbitrária de negócios que são compartilhadas entre o cliente e o servidor sem a duplicação de esforços;
- ✓ Alto nível do lado do cliente para controle da fonte de dados que tornam os dados simples de manipular;
- ✓ Integração com a segurança do ASP.NET;
- ✓ Através do modelo de aplicativo, você pode construir uma estrutura geral do aplicativo.

A tecnologia Silverlight 4 permite o desenvolvimento de 3 tipos de projetos: Silverlight Application, Silverlight Navigation Application e Silverlight Business Application. Na construção de um Silverlight Business Application o *WCF RIA Services*, por padrão, é automaticamente incorporado, enquanto que nos outros 2 tipos de projeto ele deve ser selecionado na janela apresentada na construção do projeto. A Figura 14 traz a caixa de seleção *Enable WCF RIA Service* disponibilizada para o desenvolvedor.

¹¹ Um programa de aplicação em n camadas é um aplicativo desenvolvido de forma a ter várias camadas lógicas. Cada camada é auto-contida o suficiente de forma que a aplicação pode ser dividida em vários computadores em uma rede distribuída. A forma mais comum da arquitetura é a aplicação em três camadas (3-Tier), comumente usada em aplicações *web*, na qual as camadas são: *interface com o usuário, lógica do negócio e banco de dados*.

Figura 14 – Janela onde é possível habilitar o WCF RIA Services.

Uma boa opção é combinar com o *DataGrid* e o *DataForm*, iniciando a geração automática da UI para as entidades, bem como uma UI simples, conectada para operações CRUD e de validação.

2.2.7 Identificadores de arquivos

A identificação ou extensão de arquivo é o sufixo no final do nome que geralmente indica o seu tipo. Por exemplo, pode-se dizer que o arquivo “*livro.jpg*” é um arquivo de imagem JPEG (*Joint Photographic Experts Group*), com base na extensão (.jpg). Da mesma forma, pode-se dizer que “*readme.txt*” é um documento de texto e “*documento.docx*” é um documento do Microsoft Word. Conhecer os tipos de extensão mais comuns pode ser muito útil (FILEINFO, 2011).

Tipos de arquivos de imagem 3D incluem modelos tridimensionais, animações 3D e arquivos de projeto 3D. Modelos 3D são normalmente compostos por polígonos e vértices que criam a forma destes. Também podem incluir texturas, bem como informações de iluminação e sombreado. As extensões mais comuns a arquivos de imagem 3D usadas

pelo GDN, incluem: .raw¹², .sgi¹³, .dcm¹⁴, .obj (3D *Object File*), .blend (*Blender 3D Data File*), .mesh (3D *Mesh Model*), etc.

2.3 Modelos Computacionais de Exposição (MCE)

O termo MCE começou a ser usado pelo GDN a partir de 2004 como uma necessidade de modelar e simular determinados problemas de interação da radiação com a matéria.

Um modelo computacional de exposição incorpora fontes radioativas, campos visados na irradiação, um simulador antropomórfico, um método para a determinação da dose absorvida dentro do simulador e outro método para determinar as quantidades operacionais de interesse. (VIEIRA, 2004, p. 1).

Para um melhor entendimento é apresentado, na sequência, um breve histórico sobre modelos antropomórficos (fantomas) e sobre os códigos MC mais importantes utilizados em avaliações dosimétricas. Posteriormente, também são apresentados os MCEs desenvolvidos e/ou utilizados pelo GDN em teses (LOUREIRO, 2002; VIEIRA, 2004; SANTOS, 2006; LOPES FILHO, 2007; PEIXOTO, 2008; MENEZES, 2008; CASSOLA, 2011 e LIMA, 2011), dissertações (VIEIRA, 2001; LEAL NETO, 2007; CASSOLA, 2007; COSTA, 2008; BARBOSA, 2010 e COSTA, 2011) e artigos (KRAMER et al., 2003, 2004, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011 e 2012) a partir do ano de 2001.

2.3.1 Fantomas (simuladores antropomórficos computacionais)

Para desenvolver um fantoma computacional para avaliações dosimétricas deve-se representar, da melhor maneira possível, o corpo humano ou parte dele com seus órgãos e tecidos radiosensíveis. Além disso, é preciso catalogar as diversas informações complementares à geometria do simulador, como por exemplo, massa e densidade dos órgãos e tecidos, as dimensões do fantoma e dos órgãos, bem como suas composições elementares.

Xu e Eckerman, 2010, apresentam um histórico do desenvolvimento dos fantomas computacionais nos últimos 40 anos e fazem uma classificação a partir das técnicas de modelagem. Os órgãos e as superfícies do corpo de fantomas computacionais são definidos

¹² É um tipo de arquivo binário comumente utilizado para armazenar apenas dados numéricos. Quando estes dados referem-se a imagens 3D, como os fantomas de voxels, informações adicionais devem ser fornecidas em arquivos de texto.

¹³ É um tipo raw com um cabeçalho informativo embutido.

¹⁴ É um tipo raw com cabeçalho utilizado em comunicações médicas.

em termos de uma variedade de técnicas de modelagem de sólidos geométricos: quádricas ou superfícies quádricas¹⁵, voxels¹⁶ e primitivas avançadas, tais como NURBS¹⁷ ou malhas poligonais¹⁸. Cada uma dessas técnicas foi adotada em momentos específicos, apresentando uma interessante viagem científica que reflete os avanços em tecnologias de computador e de imagens médicas. Assim, com base em informações cronológicas e técnicas disponíveis na literatura, dividem os fantasmas computacionais existentes em três classes: (1) fantasmas estilizados¹⁹ (1960 a 2000), (2) fantasmas de voxels (1980 a 2000), e (3) fantasmas BREP²⁰ (2000 até ao presente).

Em 1969, Snyder e colaboradores construíram o primeiro modelo antropomórfico estilizado heterogêneo utilizado em cálculos dos efeitos da radiação. Este feito é considerado o princípio da consolidação do uso de métodos MC nas estimativas de doses em diferentes órgãos e tecidos do corpo humano, resultantes de fontes internas ou externas de radiação. Este modelo, posteriormente revisado (Snyder *et al.*, 1978), representava um homem caucasiano de 20 a 30 anos de idade, pesando 70 kg, medindo 1,74 m de altura, baseado no conceito de "Homem de Referência" para aplicações em proteção radiológica (ICRP23, 1975). Seguiram-se aos trabalhos de Snyder vários outros fantasmas construídos com as diversas técnicas.

O DEN tem contribuído intensivamente no desenvolvimento de fantasmas. Podem-se destacar os fantasmas de voxel MAX (*Male Adult voXel*) e FAX (*Female Adult voXel*) (KRAMER *et al.*, 2003, 2004). No capítulo sobre MCEs são apresentados outros fantasmas desenvolvidos no departamento de energia nuclear, porém, acrescentam-se aqui os atuais fantasmas antropomórficos FASH e MASH, Figura 15 (CASSOLA *et al.*, 2010), por terem sido os utilizados em todas as simulações deste trabalho.

¹⁵ Conjunto dos pontos do espaço tridimensional cujas coordenadas formam um polinômio de segundo grau de no máximo três variáveis denominado de equação cartesiana da superfície.

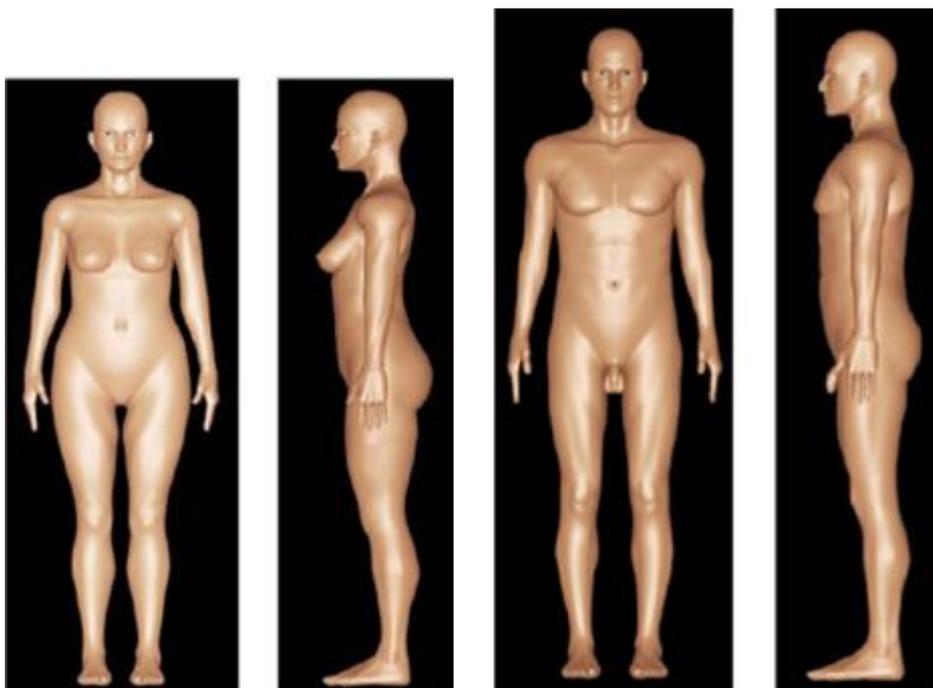
¹⁶ *Volume piXEL*, volume formado pelo pixel de uma imagem numa pilha vezes o espaçamento entre imagens.

¹⁷ *Non-Uniform Rational Basis Spline* (NURBS) é um modelo matemático comumente usado na computação gráfica para gerar e representar curvas e superfícies.

¹⁸ Técnica utilizada para a construção dos fantasmas do tipo *mesh*.

¹⁹ Fantasmas estilizados são construídos com o uso de equações quádricas.

²⁰ BREP = *Boudary REPresentation*.

Figura 15 – Vistas frontais e laterais dos fantomas Fash e Mash (CASSOLA et al., 2010).

2.3.2 Códigos Monte Carlo

Os códigos MC são programas computacionais que possuem algoritmos estocásticos para simular todas as etapas de sistemas físicos e matemáticos. Uma definição mais geral das técnicas usadas nas etapas da simulação de tais sistemas inclui todas as linhas de declaração de código que utilizem algum tipo de sorteio através de um gerador de número aleatório (GNA).

As avaliações de doses em fantomas devidas às radiações ionizantes só são possíveis lançando mão de um código MC (TURNER *et al.*, 1985). Em dosimetria numérica, os processos das interações individuais de cada partícula em um meio são estabelecidos, sendo esses processos acompanhados pelos códigos até que as partículas sejam absorvidas ou saiam da região de interesse. Dessa forma, a dose absorvida é avaliada no meio ou, dependendo do tipo de estudo, é estimada uma média ponderada na geometria irradiada.

Descrevem-se a seguir algumas características dos códigos mais utilizados em dosimetria numérica:

O ALGAM (WARNER; CRAIG, 1968) foi desenvolvido para simulações em dosimetria interna, elaboração de fontes e simulação do transporte de fótons. Realiza cálculos de frações absorvidas.

O GEANT (GEANT 4, 2012) simula o transporte de nêutrons, fótons e elétrons em qualquer meio para geometrias especificadas pelo usuário. Este código foi desenvolvido em C++.

O *Dose Planning Method* (DPM) (SEMPAU *et al.*, 2000) simula o transporte de fótons e elétrons em problemas de radioterapia que empregam feixe de elétrons primários. O DPM foi desenvolvido como uma alternativa MC de alta precisão aos algoritmos analíticos baseados na solução aproximada da equação do transporte do fóton/elétron de Boltzmann.

O código *Monte Carlo N-Particle* (MCNP) é de propósito geral e pode ser usado para simular o transporte de nêutrons, fótons e elétrons, em qualquer meio e para geometrias generalizadas. Em sua versão mais nova, MCNPX, versão 2.5 (PELOWITZ, 2005), também incluiu os prótons no campo de física médica e proteção radiológica. Além disso, foi adicionada a capacidade de transportar 34 novos tipos de partículas (prótons, íons leves, etc.), expansão da faixa de energia das partículas e características que muitas comunidades científicas, especialmente as comunidades de física médica e de aceleradores, julgaram ser importantes em códigos de modelagem computacional.

Em 2001, Salvat e colaboradores desenvolveram o *Penetration and Energy Loss of Positrons and Electrons in matter* (PENELOPE) que, inicialmente, só simulava o transporte de elétrons e pósitrons e, em versões mais recentes, passou a simular o transporte de fótons. As energias usadas variam de 1 keV (100 eV para elétrons e pósitrons) a 1 GeV.

O *Electron-Gamma Shower*, versão 4 (EGS4) (NELSON *et al.*, 1985) é um código MC que simula o transporte da radiação (elétrons ou fótons) em uma geometria arbitrária para partículas com energias acima de 10 keV e abaixo de alguns GeV, simulando a produção de *Bremsstrahlung*, perda de energia aplicada a partículas carregadas em interações discretas, produção de pares, espalhamento Compton, espalhamento coerente (Rayleigh) e efeito fotoelétrico.

O EGSnrc (KAWRAKOW *et al.*, 2011), é uma versão entendida e melhorada do EGS4 para a simulação MC do transporte acoplado de elétrons e fótons, na faixa de energia de 1 keV até 10 GeV. Entre as melhorias possui UI desenvolvida em Qt, é multiplataforma e com boa parte dos *bugs* do EGS4 resolvidos. Além disso, pode-se construir e compilar códigos de usuário em C++.

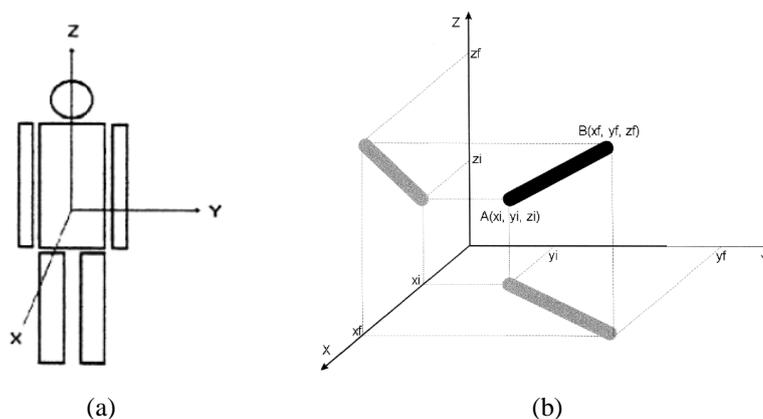
2.3.3 MCEs desenvolvidos e/ou utilizados por pesquisadores do DEN – UFPE

Já foi dito que o termo MCE começou a ser usado pelo GDN a partir de 2004. Contudo, há trabalhos cujo arranjo geral do problema estudado pode ser enquadrado no termo.

2.3.3.1 MCEs para dosimetria externa

Em 2001, Vieira desenvolveu um programa computacional – o *ISODOSE* – para determinar curvas de isodose²¹ em volta de fontes radioativas lineares utilizadas em braquiterapia. No programa, consideram-se N fontes lineares dentro de uma esfera de água com raio máximo igual a 10 cm. A Figura 16(a) apresenta a vista frontal do paciente com a representação do sistema de coordenadas utilizado e a Figura 16(b) apresenta o sistema de referência adotado para uma fonte entre seus pontos extremos $A(x_i, y_i, z_i)$ e $B(x_f, y_f, z_f)$.

Figura 16 – (a) Sistema de coordenadas usado no programa *ISODOSE*; (b) Esboço de uma fonte linear no sistema de referência adotado (VIEIRA, 2001).



Os resultados do *ISODOSE* foram comparados com similares encontrados na literatura e também com resultados obtidos nos institutos de radioterapia do Hospital do Câncer de Recife e do Hospital Português do Recife.

Em 2002, Loureiro construiu um simulador de cabeça e pescoço. Os dados primários para a construção do modelo foram obtidos de um conjunto de 55 imagens de um homem adulto adquiridas por tomografia computadorizada. Matrizes de 512 x 512 pixels retrataram campos de 24 x 24 cm, proporcionando elementos de volume com dimensões horizontais de

²¹ Uma curva de isodose é formada pelos pontos de um dado plano com a mesma taxa de dose absorvida. O campo que envolve a fonte e o tumor deve ser mapeado com curvas de isodose para que sejam conhecidas as taxas de dose que atingem os órgãos sadios próximos ao tumor.

0,05 cm. O espaçamento entre imagens adotado na aquisição das mesmas foi de 0,5 cm. Este conjunto de imagens foi utilizado na construção de um modelo antropomórfico baseado em voxels. A Figura 17 apresenta a imagem frontal e lateral do esqueleto do modelo desenvolvido.

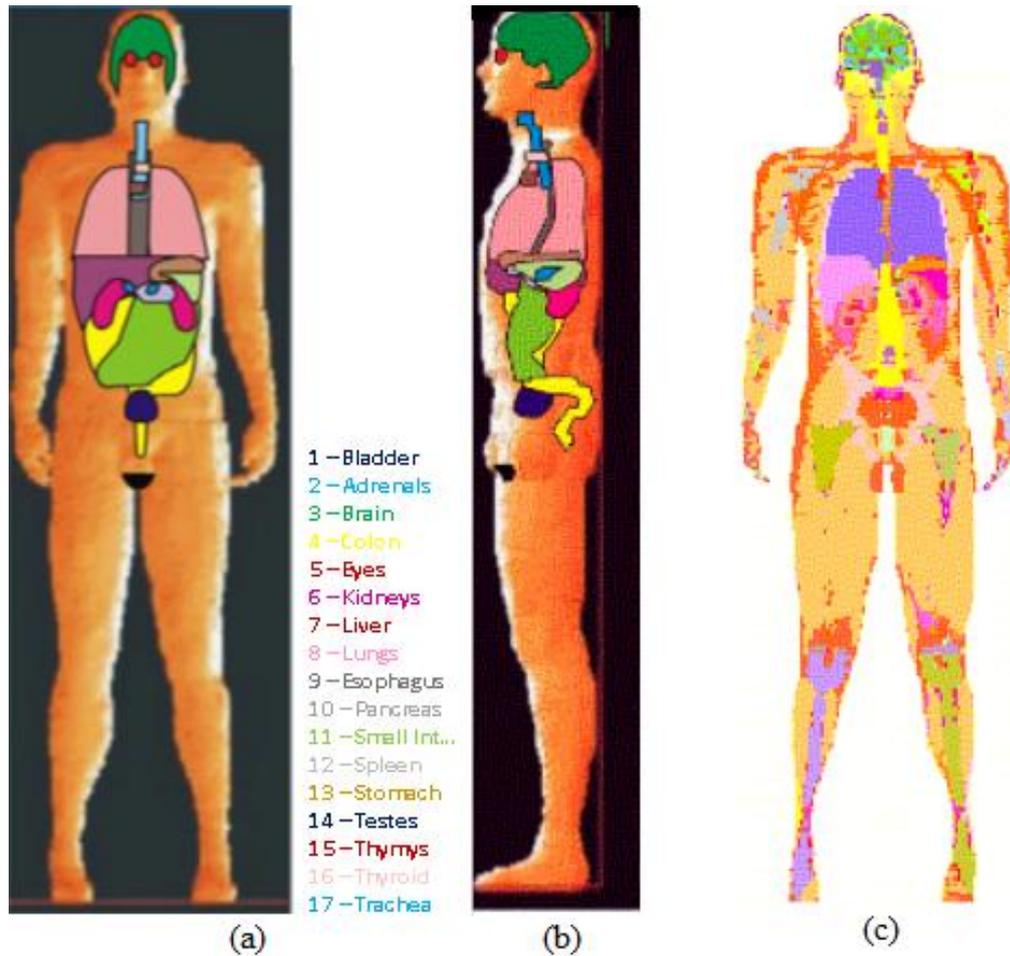
Figura 17 – Imagem frontal e lateral do esqueleto do modelo (LOUREIRO, 2002).



Para completar o simulador de cabeça e pescoço, Loureiro (2002) acoplou o fantoma de voxels acima apresentado a códigos MC que simulam fontes radioativas internas e externas, transporte da radiação, sua interação com o meio e também avaliam a dose depositada em regiões do mesmo. Para validar este simulador de cabeça e pescoço, denominado *MCvoxEL*, Loureiro comparou seus resultados com os obtidos utilizando os códigos MCNP e EGS4.

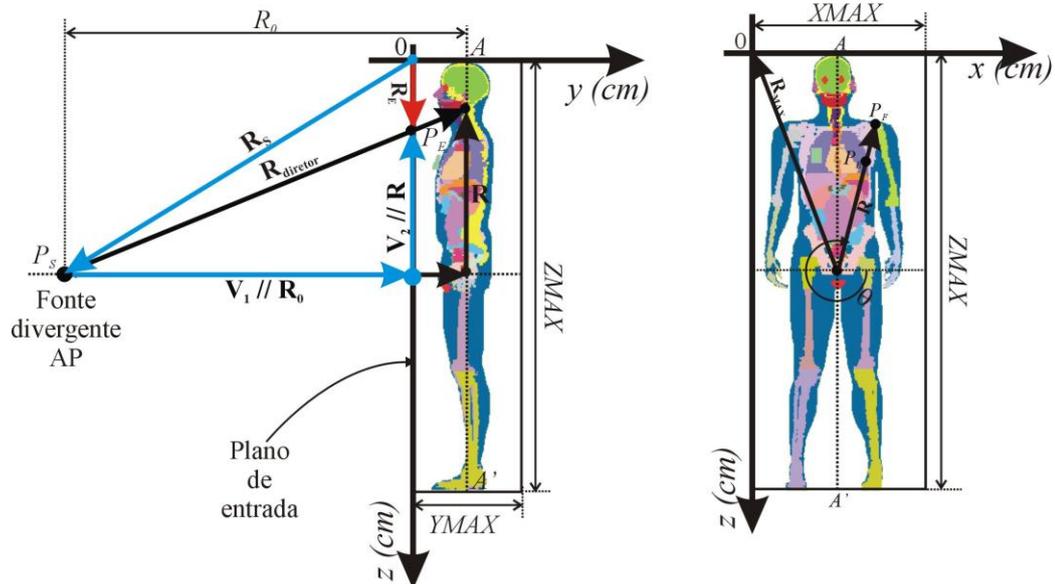
Em 2003, Kramer e colaboradores desenvolveram o fantoma MAX, baseados no *VOXTISS8*, um fantoma de voxels disponível para a comunidade científica na página eletrônica da Universidade de Yale (ZUBAL, 2012). O artigo descreve a adaptação das massas dos órgãos e tecidos moles ao homem de referência especificado pela ICRP89, um novo método para a dosimetria da pele e do esqueleto. Foi neste artigo que o termo *modelo computacional de exposição* foi grafado pela primeira vez pelo GDN. Este MCE é baseado no acoplamento do MAX ao código MC EGS4. A Figura 18 apresenta o fantoma MAX ajustado à ICRP89.

Figura 18 – Fantoma MAX: (a) vista frontal, (b) vista lateral e (c) corte coronal (KRAMER *et al.*, 2003).



Em 2004, Vieira apresentou uma metodologia para a obtenção do MCE MAX/EGS4, desde a construção geométrica do fantoma, passando pelo desenvolvimento algorítmico de fontes radioativas unidirecionais, divergentes e isotrópicas (para irradiações externas com fótons em aplicações ocupacionais, médicas e ambientais) e de novos métodos para cálculo da dose equivalente na medula óssea vermelha e na pele, até o acoplamento do MAX ao código de transporte MC EGS4. A Figura 19 mostra a vista lateral e a frontal da geometria usada na construção da fonte divergente AP em relação ao fantoma MAX. Na figura, O (zero) é a origem do plano AA'; R_E é a distância entre o ponto P_E (ponto de entrada do fóton) e a origem no plano AA'; R_s é o vetor posição da fonte; R_0 é o vetor que vai da fonte ao centro do plano AA'; $R_{diretor}$ é o vetor posição do ponto de entrada do fóton.

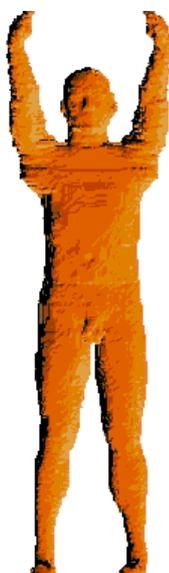
Figura 19 – Vista lateral e frontal da geometria usada na construção da fonte divergente AP (VIEIRA, 2004).



Ainda em 2004, Kramer e colaboradores desenvolveram o fantoma FAX (Female Adult Voxel). A principal base de dados para a construção do FAX consistiu de 151 imagens CT gravadas da digitalização do tronco e da cabeça de um paciente do sexo feminino, cuja altura e peso foram próximas aos correspondentes dados recomendados pela ICRP89. Todos os 22 órgãos e tecidos radiosensíveis (exceto para a medula óssea vermelha e as células osteogênicas endosteais da superfície do osso) foram segmentados manualmente com uma técnica desenvolvida no DEN/UFPE. Após a segmentação, os volumes dos órgãos e tecidos foram ajustados para concordar com as massas dos órgãos e tecidos recomendados pela ICRP89 de um adulto feminino de referência. A matriz tridimensional das imagens segmentadas foi acoplada ao código MC EGS4, formando assim um MCE. A Figura 20 mostra a vista lateral e frontal da projeção 3D num plano 2D dos órgãos e tecidos radiosensíveis do fantoma FAX.

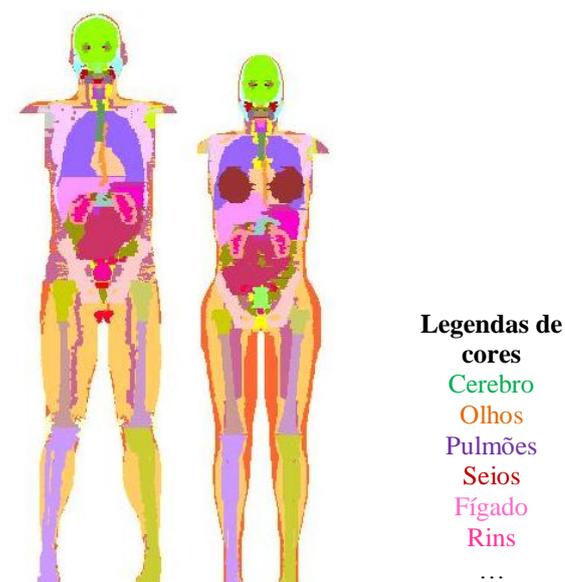
Figura 20 – Projeções lateral e frontal do fantoma FAX (KRAMER *et al.*, 2004).

Em 2006, Santos desenvolveu o algoritmo do modelo matemático de uma fonte radioativa externa de caráter geral. Também modificou o fantoma de *voxel* MAX para permitir especialmente a avaliação da dose absorvida em humanos expostos a fontes externas de radiação em situações acidentais. No estudo do acidente radiológico ocorrido nas instalações de irradiação em Nesvizh, Belarus, Rússia, em 26 de outubro de 1991, utilizou o fantoma MAXB (MAX com os braços erguidos, Figura 21), para simular a posição do trabalhador que operava o sistema de irradiação com fonte de ^{60}Co no momento do acidente. Para a avaliação da dose acoplou o fantoma MAX ao código Monte Carlo EGS4.

Figura 21 – O fantoma de *voxels* MAXB (SANTOS, 2006).

Em 2007, Leal Neto utilizou fontes radioativas pontuais nas simulações Monte Carlo para radiodiagnóstico de tórax e abdômen. Os resultados foram organizados em um banco de arquivos, para apresentação através da interface gráfica de usuário denominada *VoxelDose*, desenvolvida naquele trabalho. Nas simulações feitas que envolveram exames de tórax e abdômen com o paciente de perfil e com os braços erguidos, foram desenvolvidas versões dos modelos MAX e FAX originais sem os braços (maxsb e faxsb) como uma boa aproximação para o caso (Figura 22). O código usado no MCE foi o EGS4.

Figura 22 – Projeções frontais do maxsb e faxsb (LEAL NETO, 2007).

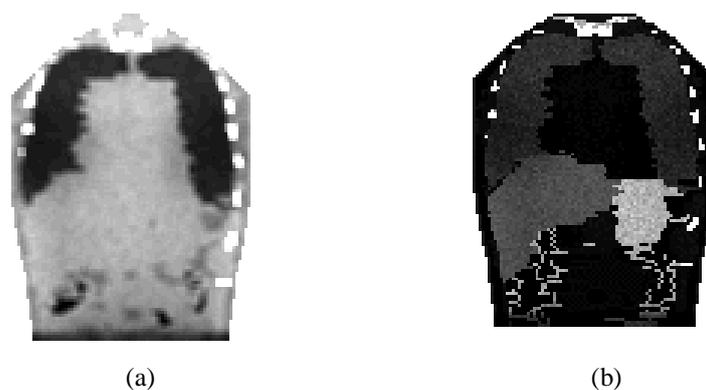


Em 2007, Cassola desenvolveu, para acoplar ao GEANT4, fontes externas paralelas e isotrópicas para simular exposições ocupacionais e ambientais. O algoritmo para a modelagem das fontes gerava quatro informações sobre a partícula primária: o tipo da partícula primária, sua energia inicial, suas coordenadas cartesianas do ponto de origem e o vetor diretor. Essas informações são definidas segundo as distribuições de probabilidades características de cada fonte simulada. No MCE utilizou os fantomas FAX06 e MAX06 e os códigos MC GEANT4 e EGSnrc para avaliar as doses equivalentes em órgãos e tecidos radiosensíveis do corpo humano.

Em 2008, Costa, utilizando os MCEs MAX/FAX-EGS4, com informações adicionais como o tamanho do campo, a direção de voo dos fótons de raios-X, a energia dos fótons, a posição da fonte, a distância fonte-fantoma entre outras, realizou simulações típicas para radiodiagnóstico com raios-X. Salvou as informações relativas à energia depositada nos voxels em arquivos externos. Com os dados obtidos reconstruiu a geometria irradiada e

utilizou os “fantomas de saída” como ferramenta de análise qualitativa da distribuição de dose em regiões de interesse como o tórax e o abdome. Os fantomas de saída são denominados de fantomas sintéticos²² e as vistas obtidas sagital, coronal ou transversal, em qualquer profundidade, são chamadas de radiografias sintéticas digitais. Na Figura 23 têm-se exemplos de radiografias sintéticas com base em energia e com base em dose do fantoma sintético FAX.

Figura 23 – Fatia 27 do fantoma sintético FAX obtida de uma radiografia de tórax anterior-posterior (AP): (a) com base em energia (b) com base em dose (COSTA, 2008).



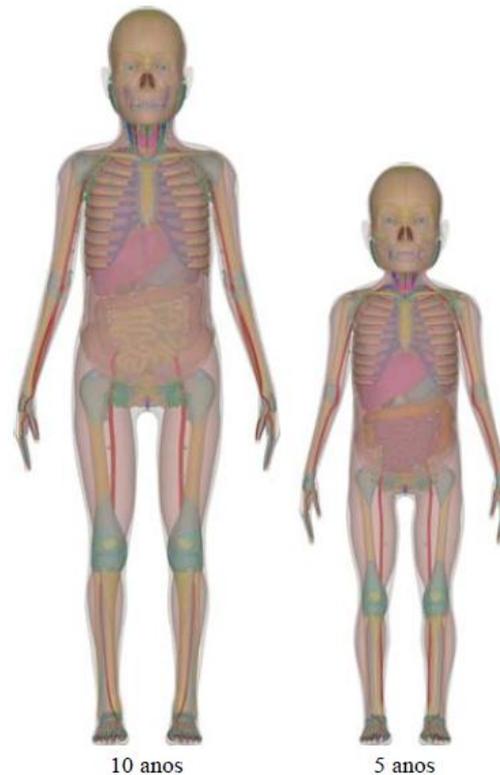
Em 2008, Menezes avaliou a aplicabilidade das técnicas de simulação utilizando o código Monte Carlo EGS4 para o desenvolvimento de dispositivos de testes para equipamentos de raios-X odontológicos intraorais, podendo ser estendida sua utilização ao radiodiagnóstico convencional. Para tanto, foi desenvolvido um MCE externa EGS4/RXD criado especialmente para o estudo dos tipos de materiais, suas composições, suas dimensões e posicionamento dentro do dispositivo, bem como as possíveis grandezas geométricas de irradiação: distância fonte-superfície (DFS), o tamanho e a forma do campo de radiação e o ângulo de incidência do feixe. Finalmente, um sistema de medição desenvolvido no Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE), denominado Cartão Dosimétrico Odontológico (CDO), foi estudado e validado por este método e implantado, como referência, oferecendo aos programas de Vigilância Sanitária e de Proteção Radiológica um serviço de monitoração de aparelhos de raios-X odontológico intraoral para atender, por via postal, aos serviços odontológicos em todo território nacional. O dispositivo e os procedimentos para seu desenvolvimento e calibração servem de referência para aqueles que desejam criar novos sistemas dosimétricos, estabelecendo-se assim como um método padronizado. Em síntese o MCE usou o EGS4 e um fantoma de voxels do CDO, referenciado como RXD.

²² Segundo Gonzalez e Woods (2002), o termo imagem sintética é o tipo de imagem gerada por um computador e utilizada para modelagem e visualização.

Em 2011, CASSOLA desenvolveu 40 fantomas humanos de indivíduos adultos, dos gêneros masculino e feminino, nas posições em pé e supina, com diferentes alturas e massas corporais. Os fantomas adultos referenciais nas posições em pé e supina com base nos valores recomendados pela ICRP89 e uma série de fantomas com diferentes percentis de massa e altura usando informações antropométricas de diferentes nacionalidades com população predominantemente caucasiana. Os fantomas foram construídos utilizando malhas poligonais empregando programas Open Source das áreas de computação gráfica e processamento de imagens digitais, juntamente com informações anatômicas disponíveis em livros de anatomia humana, artigos e um programa comercial de ergometria. Adicionalmente realizou cálculos dosimétricos para evidenciar as diferenças dosimétricas em função da postura, massa e altura para exposições de corpo inteiro e exposições em radiologia utilizando o código Monte Carlo EGSnrc e o programa Caldose_X.

Também em 2011, Lima contruiu dois casais de fantomas mesh referenciais, para crianças com 5 anos e 10 anos de idade. Eles foram construídos utilizando-se ferramentas computacionais usadas pela comunidade de computação gráfica, para a criação de filmes de animação. Os parâmetros adotados para as massas dos diferentes órgãos e tecidos foram os recomendados pela ICRP89. Os volumes destes órgãos e tecidos foram calculados utilizando-se densidades fornecidas pela Comissão Internacional de Unidades e Medidas Radiológicas (ICRU). Quanto à disposição dos diferentes órgãos e tecidos, foram consultadas descrições da anatomia humana. As versões voxelizadas dos fantomas foram conectadas ao código Monte Carlo EGSnrc, isto é, foi construído um MCE fantomas Infantis/EGSnrc e avaliações dosimétricas foram realizadas e comparadas com dados correspondentes obtidos em outros fantomas. A Figura 24 exhibe duas imagens dos fantomas femininos de 5 e 10 anos.

Figura 24 – Imagens da vista anterior de todos os órgãos e tecidos dos fantasmas femininos de 5 e 10 anos de idade (LIMA, 2011).



2.3.3.2 MCEs para dosimetria interna

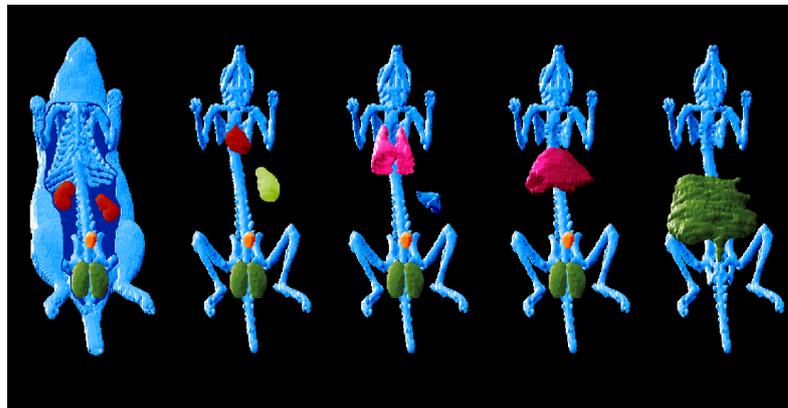
Em 2007, Lopes Filho desenvolveu um MCE para estimar as frações absorvidas, as frações absorvidas específicas e as razões entre dose equivalente e atividade acumulada do ^{131}I , específico para pacientes submetidos ao tratamento de radioiodoterapia. O modelo antropomórfico usado foi o fantoma de voxels FAX, os algoritmos para simular as fontes radioativas internas são baseados em imagens de medicina nuclear e o código Monte Carlo foi o EGS4. Os resultados obtidos com o modelo computacional desenvolvido foram comparados com os obtidos com o software MIRDOSE 3 e outros similares publicados. É possível estimar as doses equivalentes nos órgãos e tecidos radiosensíveis dos pacientes usando os coeficientes de conversão desenvolvidos. Vale salientar que este MCE permitirá ao médico radiologista prescrever uma atividade administrada de iodo-131 com mais precisão, uma vez que ele de antemão vai ter uma modelagem da distribuição da dose.

A série de artigos publicada por Kramer e colaboradores (2006, 2007, 2009, 2010, 2011 e 2012), além de apresentar um novo método para simulações dosimétricas nos tecidos

ósseos, também valida as modificações progressivamente apresentadas utilizando MCEs em dosimetria externa e interna.

Em 2008, Peixoto desenvolveu um fantoma de voxels (Figura 25) a partir de imagens CT de um rato macho adulto típico, da variedade Wistar (comumente utilizado como modelo experimental em testes pré-clínicos na área de medicina nuclear) e o acoplou ao código computacional MCNP para determinar as frações absorvidas para fontes internas de fótons e elétrons de várias energias. As frações absorvidas estimadas podem ser usadas pela comunidade científica para a obtenção de estimativas de doses absorvidas, segundo a metodologia MIRD²³, em ratos de massa próxima à do fantoma, desde que sejam conhecidas as atividades iniciais nos órgãos fontes e as meias-vidas efetivas dos radiofármacos considerados.

Figura 25 – Imagens 3D do fantoma geradas com o programa IDL, mostrando: (a) rins, bexiga e testículos; (b) coração e estômago; (c) pulmões e baço; (d) fígado; (e) intestinos (PEIXOTO, 2008).



2.4 Interfaces de Usuário e Bancos de Dados Usados em Pesquisas e Aplicações em Dosimetria das Radiações

Neste tópico são apresentadas algumas UIs referenciadas e utilizadas nas pesquisas em dosimetria numérica, assim como BDs disponíveis, enfatizando, quando possível, o sistema operacional e a linguagem utilizados no desenvolvimento, tipo de fontes utilizadas e características que subsidiaram o desenvolvimento do trabalho.

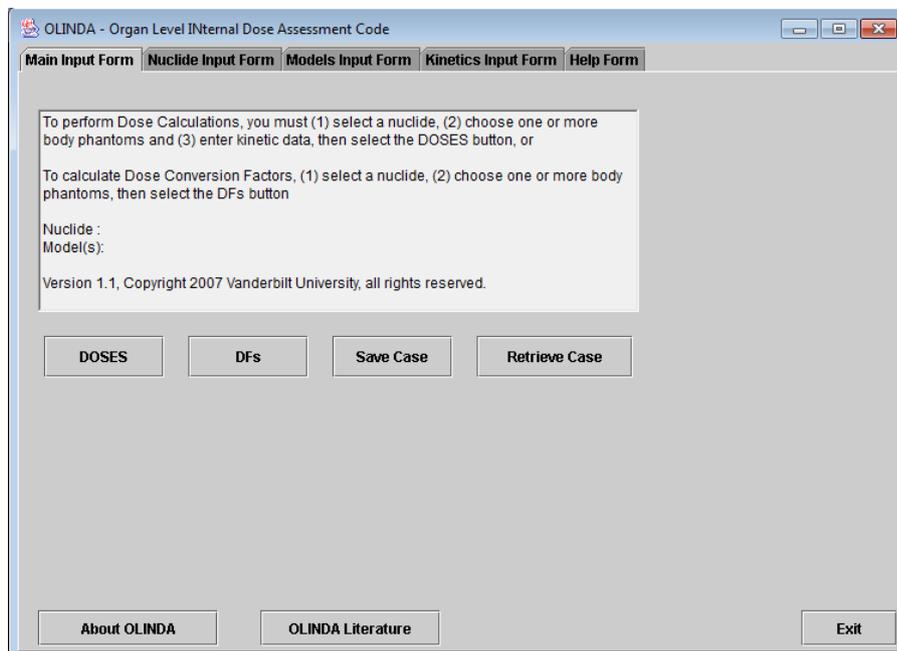
²³ Essa metodologia envolve dois fatores: uma estimativa do número total de desintegrações radioativas em vários órgãos “fontes” e, uma estimativa da dose absorvida em um órgão “alvo” selecionado por desintegrações radioativas em um órgão fonte específico. O cálculo desse segundo fator envolve a estimativa de uma grandeza denominada fração absorvida. Ver a equação 15 e seus elementos.

2.4.1 Interfaces de usuário em dosimetria interna

O *MIRDOSE* (STABIN, 1994) foi uma UI destinada à dosimetria interna. Em 2005, Stabin reescreveu este *software* para computador pessoal e o denominou de *OLINDA/EXM*, que é o acrônimo de *Organ Level INTERNAL Dose Assessment/EXponential Modeling*. Os dados de entrada que o *software* utiliza foram gerados pelo código ALGAM, usando a técnica MIRD para obter os fatores S exibidos na equação 14. Como no *MIRDOSE*, utiliza a série de fantasmas matemáticos de Cristy e Eckerman (1987), fantasmas de mulheres em três estágios de gravidez e uma adulta não grávida. Para a dose absorvida, o usuário precisa entrar com informações sobre o tempo de residência no conjunto de órgãos-fontes.

A Figura 26 apresenta a janela principal do software OLINDA com os menus: *Main Input Form*, *Nuclide Input Form*, *Models Input Form*, *Kinetics Input Form* e *Help Form*.

Figura 26 – Janela principal do software OLINDA com destaque para o menu *Main Input Form*.



No *OLINDA*, muitos dos aspectos computacionais do *MIRDOSE* 3.1 foram mantidos e várias características significativas foram adicionadas:

- Dados de novos modelos de órgãos individuais (próstata, cavidade peritoneal, cabeça / cérebro e multipartes do rim);
- O modelo de medula óssea, desenvolvido por Keith Eckerman e outros em *Oak Ridge National Laboratory*, foi atualizado para mais corretamente tratar emissores de elétrons de baixa energia;

- Mais núclídeos foram incluídos, mais de 800 contra cerca de 240 disponíveis nos códigos *MIRDOSE*. Muitos destes são núclídeos emissores alfa, assim modelos de dose para emissores alfa foram adicionados ao código.
- Capacidade para atender múltiplas funções exponenciais para dados biocinéticos introduzidos pelo usuário;
- Capacidade de modificar massas de órgãos e fatores de ponderação da radiação.

O *OLINDA* foi desenvolvido em Java (usando o *Java Development Kit* versão 1.3) e é distribuído para uso sob o ambiente operacional *Windows*. Para usar o código, é preciso escolher um radionuclídeo, um fantoma (ou fantasmas) e introduzir um conjunto de valores dos números de desintegrações (por unidade de atividade administrada), a fim de calcular um conjunto de estimativas da dose. Para tornar o processo de entrada de dados menos confuso, a entrada é dividida em três tarefas distintas, que aparecem em três diferentes conjuntos de formulários, um para escolher o núclídeo, Figura 27, um para escolher o(s) fantoma(s), Figura 28, e um para a entrada de dados cinéticos, Figura 29.

Figura 27 – Janela *Nuclide Input Form* para a definição do Elemento e Isótopo correspondente.

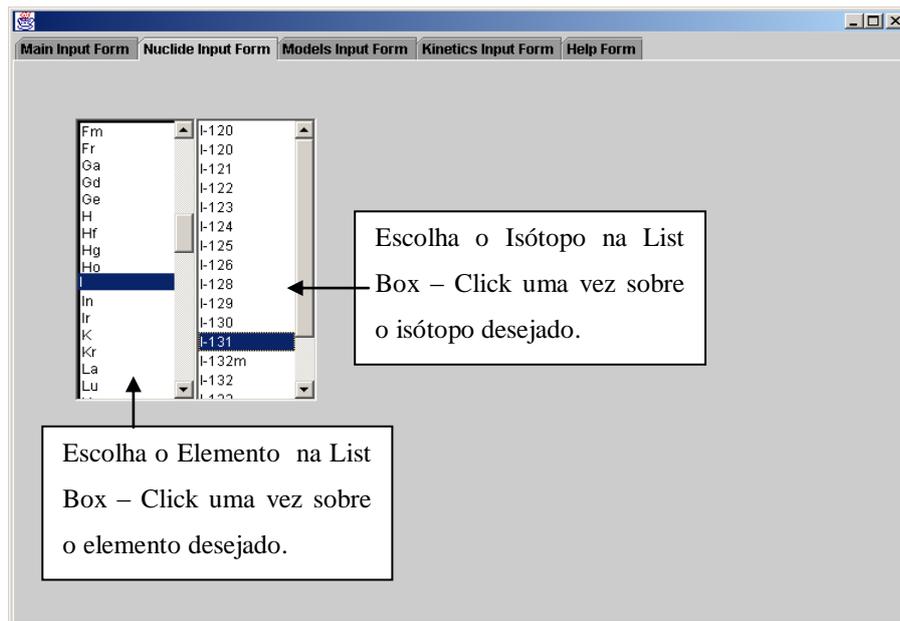
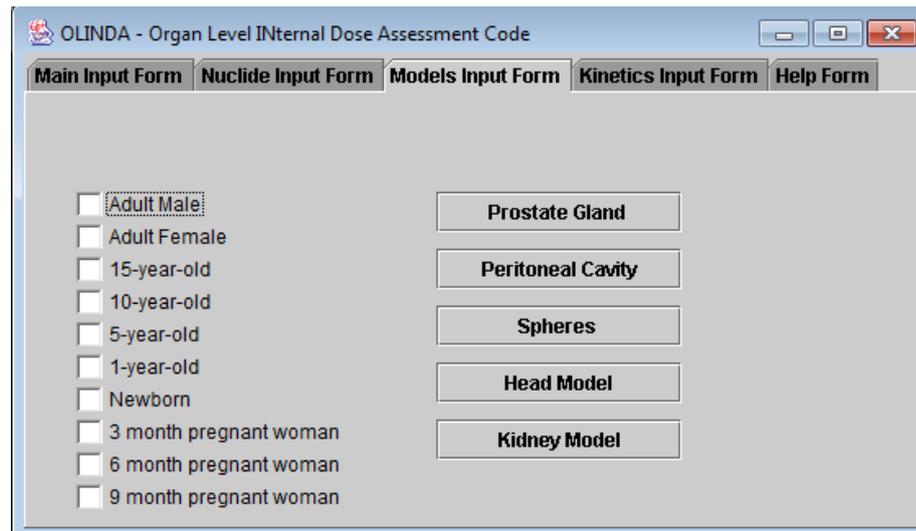
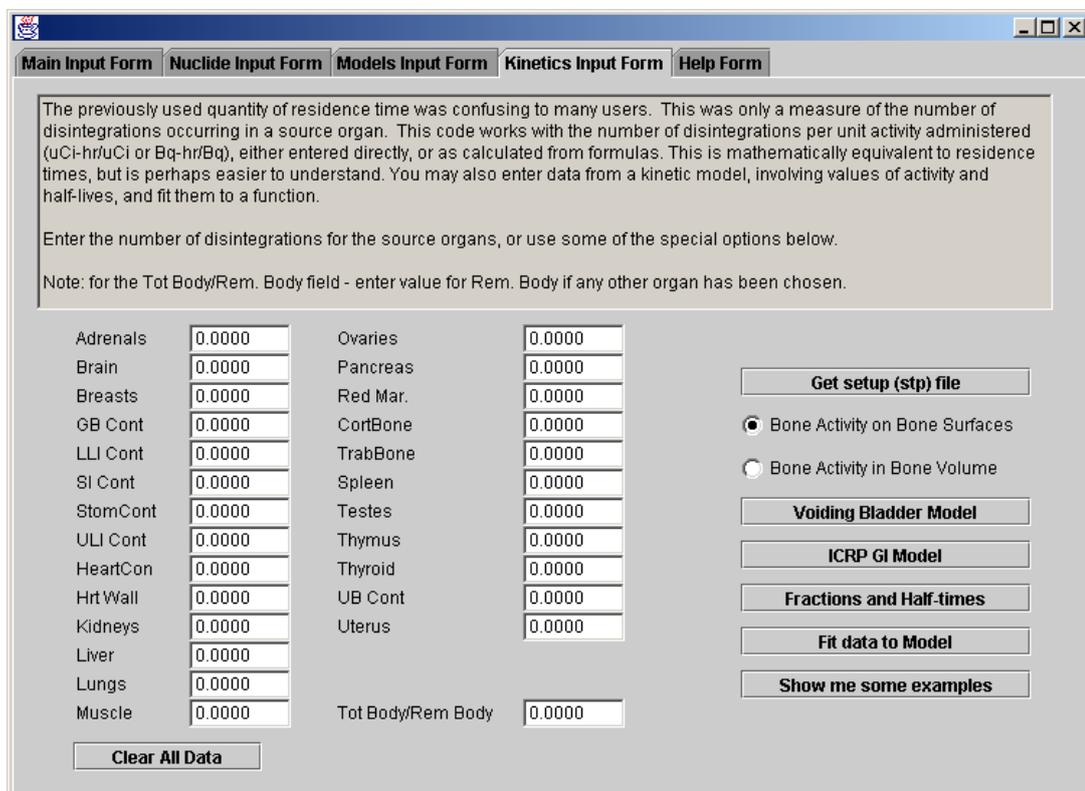


Figura 28 – Janela principal do OLINDA com destaque para os fantasmas disponíveis.**Figura 29 – Janela Kinetic Input Form para a entrada dos dados cinéticos.**

2.4.2 Interfaces de usuário em dosimetria externa

A GUI *XrayDose* (COLLINS *et al.*, 2000) foi desenvolvida com o objetivo de facilitar avaliações dosimétricas em radiodiagnóstico usando o código Monte Carlo MCNP. A Figura 30 mostra a entrada para o diagnóstico radiológico do abdome, na incidência anterior-posterior (AP), e a Figura 31, um sumário dos resultados. Este programa foi construído com o

Microsoft Visual Basic 6, requer o Microsoft Windows 95 (ou mais atualizado) e utilizou os fantasmas matemáticos de Kramer e colaboradores (1982).

Figura 30 – Janela principal do *XrayDose* (COLLINS *et al.*, 2000).

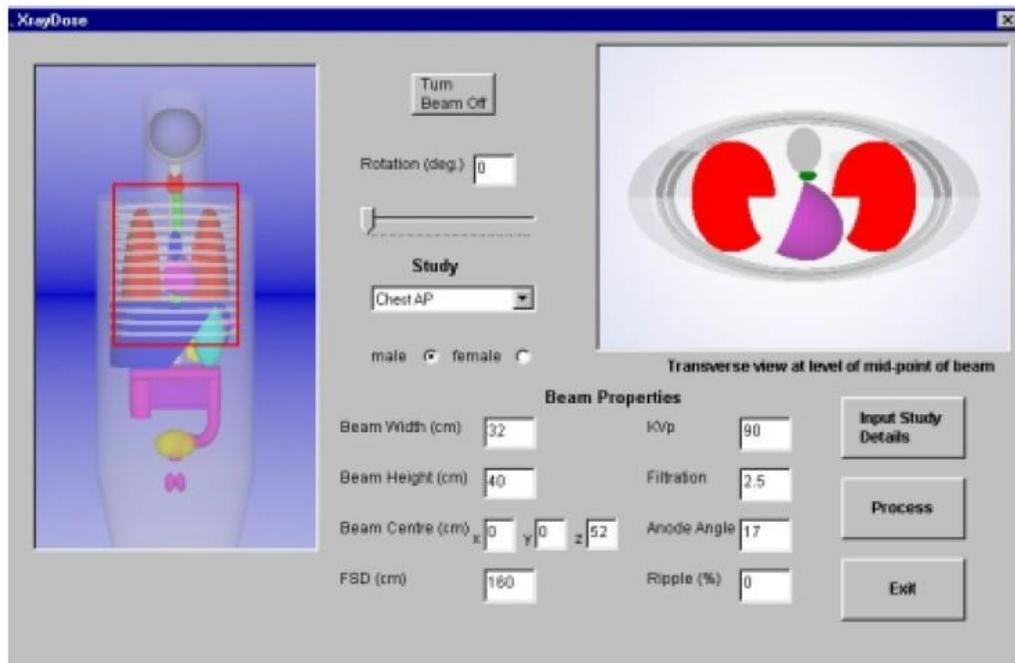
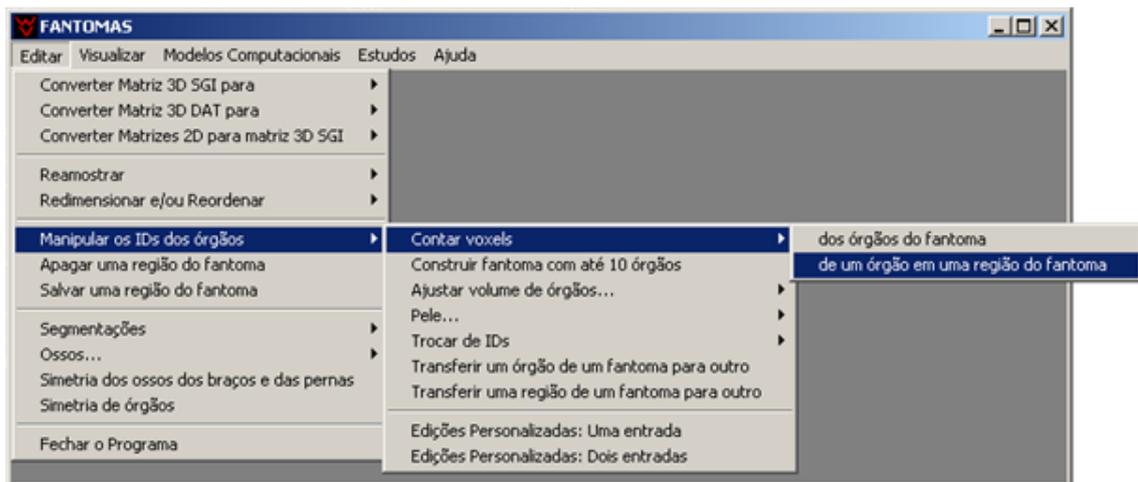


Figura 31 – Janela de saída do *XrayDose* para mostrar as doses nos órgãos e a dose efetiva (COLLINS *et al.*, 2000).



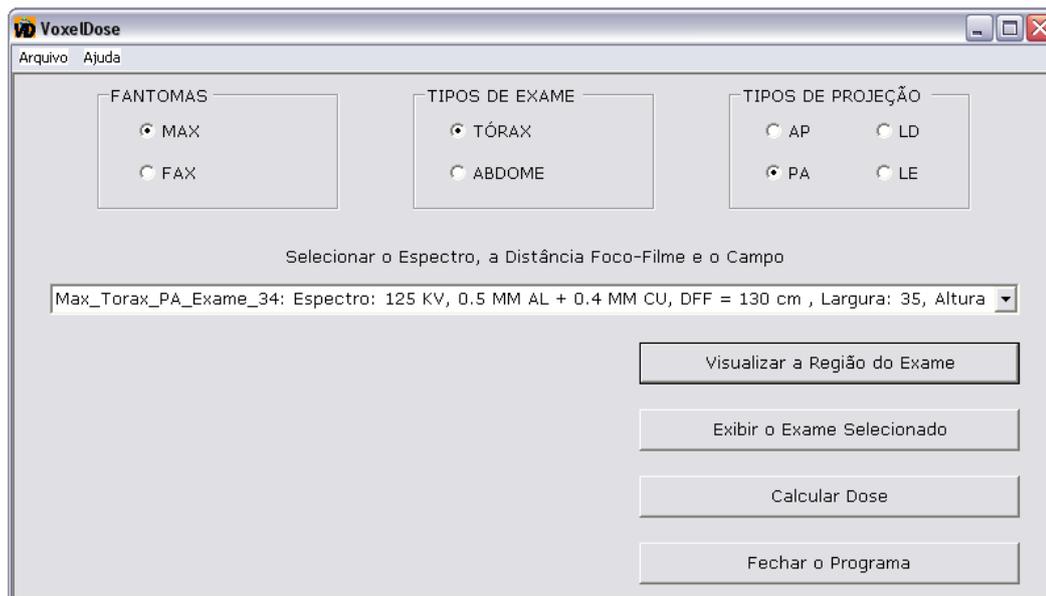
O software *FANTOMAS* (VIEIRA *et al.*, 2005), foi desenvolvido para construir, editar e visualizar fantomas de voxels, mas também pode utilizar MCEs do tipo FANTOMAS DE VOXELS/EGS4 para estimar doses equivalentes, bem como desenhar gráficos dos coeficientes de conversão para radiação externa em função da energia do fóton incidente. Este programa foi desenvolvido na linguagem C, no MVS 6.0 e usa as APIs (*Application Programming Interfaces*) do Windows. A Figura 32 mostra a janela principal exibindo algumas funções disponíveis. No exemplo do caminho selecionado, pode-se realizar a contagem de voxels de um órgão em uma região de um fantoma.

Figura 32 – Janela principal do software *FANTOMAS* (VIEIRA *et al.*, 2005).



Os arquivos usados pelo *FANTOMAS* são binários do tipo *nome_do_fantoma.sgi* (SGI = Simulações Gráficas Interativas) e contêm dois compartimentos: O primeiro é um cabeçalho com as dimensões do fantoma e o segundo com os dados do fantoma em si.

A GUI *VoxelDose* (LEAL NETO, 2007) foi desenvolvida em C++ com habilidades similares ao *XRayDose*. O arquivo de dados de entrada foi construído usando os MCE, MAX/EGS4 e FAX/EGS4. O *software* permite ao usuário criar um novo arquivo de dados de entrada, inserir novos exames no arquivo de dados de entrada, visualizar a região do exame e a posição da fonte, obter CCs e estimar dose absorvida se o usuário fornecer grandezas mensuráveis como *KERMA* no ar. Os resultados dosimétricos e as imagens podem ser salvos ou impressos. A Figura 33 apresenta a janela principal da GUI com um exame selecionado.

Figura 33 – Janela principal do *VoxelDose* com um exame selecionado (LEAL NETO, 2007).

A GUI *CALDose_X* (KRAMER *et al.*, 2008) também foi desenvolvida para radiodiagnóstico, contudo possui ferramentas adicionais para avaliação de duas importantes grandezas de normalização dos CCs: kerma incidente no ar e kerma no ar na superfície de entrada. Como mostrado na Figura 34, o usuário deve digitar ou selecionar informações sobre o hospital, a máquina de raios-X, o exame e o paciente. Ao escolher o sexo do paciente, surge uma janela secundária, como a mostrada na Figura 35, e o botão *Calcular Dose* fica habilitado. Clicando neste botão, o usuário tem acesso à janela mostrada na Figura 36 onde pode escolher entre obter resultados para dose absorvida ou CC. O resultado para o exemplo selecionado é mostrado parcialmente na Figura 37. Este relatório de saída contém um resumo das informações passadas pelo usuário e valores de dose absorvida nos órgãos e tecidos do corpo humano cujos coeficientes de variância foram inferiores a 10% na simulação. Além disso, o relatório apresenta, nas últimas linhas, uma avaliação do risco de incidência de câncer e do risco de mortalidade por câncer para o exame radiográfico solicitado. Estas duas importantes informações também constituem um diferencial entre o *CALDose_X* e seus similares.

Figura 34 – Janela principal do CALDose_X: Definição do exame de raios-X (KRAMER *et al.*, 2008).

Definição do Exame de Raio X

INSTITUIÇÃO: Hospital
SALA: 55

TUBO DE RAIO X
FSD (cm): 100 Carga (mAs): 24
Tensão (kV): 100 Filtro de Al (mm): 2,0

Calcular INAK?
 Sim Não

DADOS PARA A CURVA DE RENDIMENTO
Nº de Pontos para a Curva de Rendimento: 8
Identificação do Tubo de Raio-X: Curva Teórica 2,0 mm AL

Digitar Pontos (V, Kar)...

KERMA no Ar x Tensão	
Tensão (kV)	K ($\mu\text{Gy/mAs a 1 m}$)
50	53,77
60	76,79
70	99,59
80	122,35

Calcular INAK e Mostrar Curva de Rendimento...

EXAMES
Abdome

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

Salvar Curva de Rendimento...

Curva de Rendimento
KERMA no Ar ($\mu\text{Gy/mAs a 1 m}$) vs Potencial (kV)

POSIÇÕES DO CAMPO
 Padrão
 Padrão + 4 cm para cima
 Padrão + 4 cm para baixo
 Padrão + 4 cm para a esquerda
 Padrão + 4 cm para a direita
 Padrão + 4 cm para trás
 Padrão + 4 cm para frente

INAK E ESAK: $Y = 0,09902 * X ^ 1,6208$
INAK (mGy): 4,145
ESAK (mGy): 5,986
BSF: 1,444

PACIENTE ADULTO
Nome: Fulano de Tal
ID: 3 Idade (anos): 32
 Feminino Masculino

Calcular Dose

Figura 35 – Janela secundária do CALDose_X com as indicações gráficas do campo, da fonte e do fantoma irradiado.

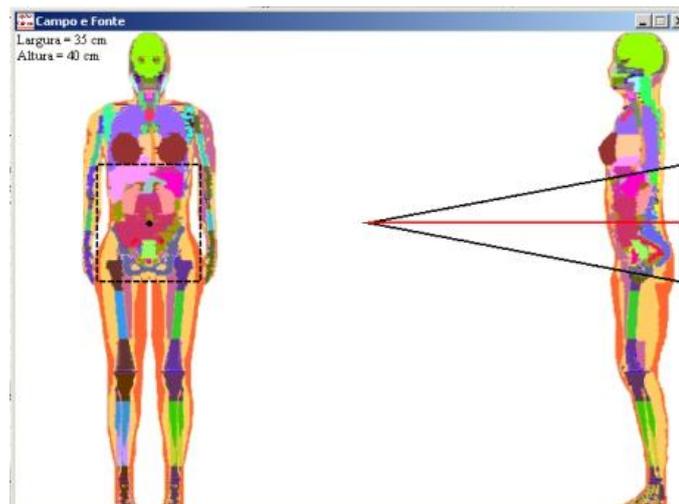


Figura 36 – Janela secundária do CALDose_X com as opções de escolha entre Dose Absorvida e CC.

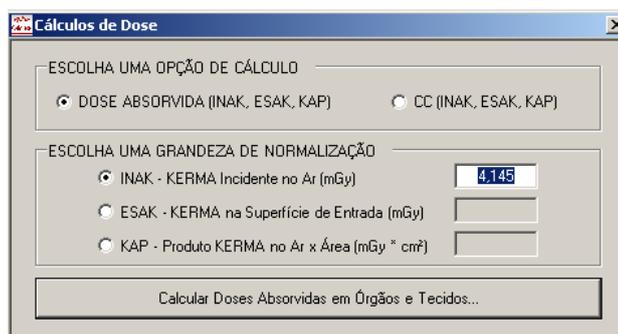
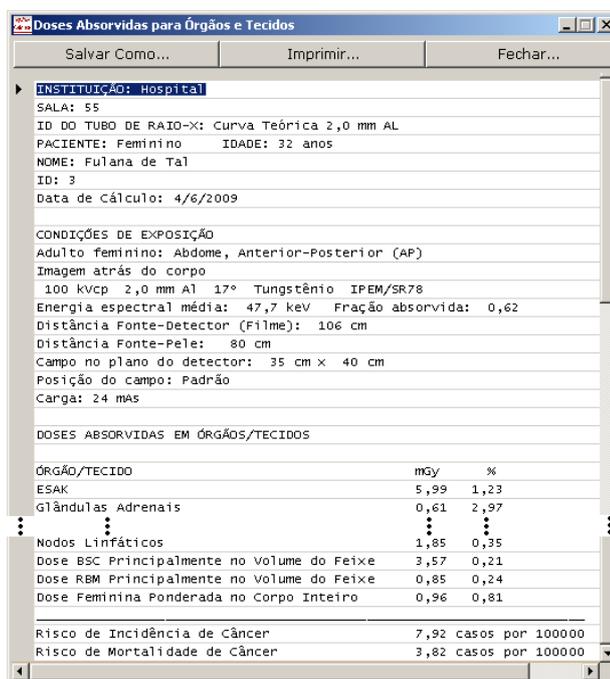
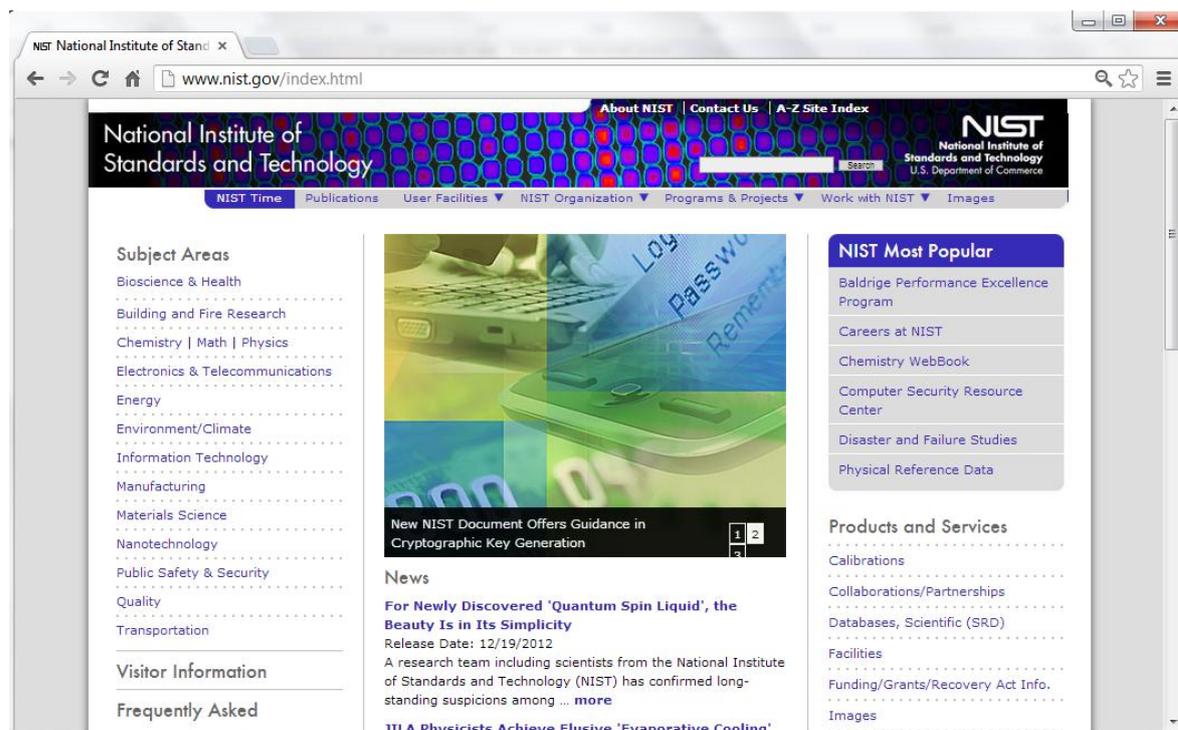


Figura 37 – Janela secundária do CALDose_X com um formulário de saída da dose absorvida em órgãos e tecidos do corpo humano.



2.4.3 Banco de dados com informações para estudos em dosimetria das radiações ionizantes

O *National Institute of Standards and Technology (NIST)* é uma agência governamental, pertencente ao Departamento de Comércio dos Estados Unidos. Sua função é promover padrões e tecnologia para ampliar a segurança da informação. Em seu sítio www.nist.gov/ é possível encontrar informações sobre grandezas usadas em pesquisas das radiações ionizantes. A Figura 38 apresenta a janela principal da interface.

Figura 38 – Janela principal do *Nacional Institute of Standard and Technology (NIST)*.

Entre diversos bancos de dados contidos no *NIST* têm-se os BDs *ESTAR*, *PSTAR* e *ASTAR* que permitem calcular *stopping power* e tabelas de abrangências diversas para elétrons, prótons ou íons de hélio, de acordo com métodos descritos nos relatórios ICRU 37 e 49. O *stopping power* e tabelas de alcance podem ser calculadas para os elétrons em qualquer material especificado pelo usuário e para prótons e íons de hélio em 74 materiais. A Figura 39 traz a janela principal de acesso ao BD *ESTAR*.

Figura 39 – Janela do BD ESTAR para cálculo do *stopping Power*, parâmetros de efeito de densidade, alcance, tabelas de rendimento da radiação para os elétrons em materiais diversos.

The screenshot shows the ESTAR web interface. At the top, there is a navigation bar with the NIST logo and the text "stopping power and range tables for electrons". Below this, a brief description of the program is provided: "The ESTAR program calculates stopping power, density effect parameters, range, and radiation yield tables for electrons in various materials. Select a material and enter the desired energies or use the default energies. Energies are specified in MeV, and must be in the range from 0.001 MeV to 10000 MeV." There are links for "Help", "Text version", and "Material composition data".

The main form area is titled "Select a common material:" and features a dropdown menu currently set to "1: Hydrogen". Below this, there is an option to "or enter a unique material". The form is divided into two main sections:

- Graph stopping power:** This section has a radio button selected for "Graph stopping power:". Underneath, there are three checkboxes: "Total Stopping Power" (checked), "Collision Stopping Power", and "Radiative Stopping Power".
- Graph density effect parameter:** This section has a radio button selected for "Graph density effect parameter".
- Graph CSDA range:** This section has a radio button selected for "Graph CSDA range".
- Graph radiation yield:** This section has a radio button selected for "Graph radiation yield".
- No graph:** This section has a radio button selected for "No graph".

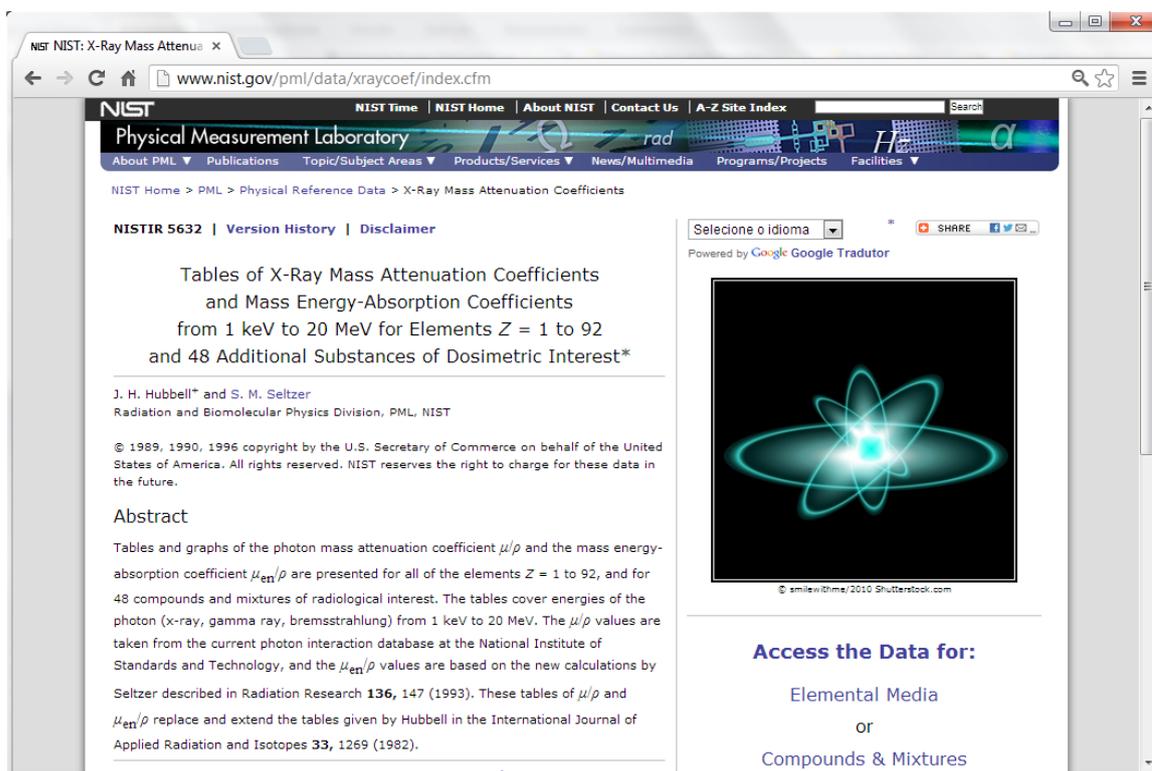
On the right side of the form, there is an "Additional Energies (optional):" section. It includes a "Use energies from a file*" option with a file selection button labeled "Escolher arquivo" and the text "Nenhum arquivo selecionado". Below this, there is an "or" section with the text "Use energies entered below (one per line)" and a text input field. A checkbox labeled "Include default energies" is checked.

At the bottom of the form, there is a note: "Note: Only stopping powers and the density effect parameter will be calculated if additional energies are used." Below the note are "Submit" and "Reset" buttons.

At the bottom left of the page, there is a small logo that says "contents*".

O coeficiente de atenuação de massa, μ/ρ , e o coeficiente de absorção de energia em massa, μ_{en}/ρ , são quantidades básicas utilizadas nos cálculos da atenuação e da deposição de energia por fótons (raios-X, raios- γ) em materiais biológicos, blindagem e outros materiais. Estes coeficientes são definidos na ICRU44 (1989). A Figura 40 apresenta a página do NIST onde podem ser obtidos gráficos e tabelas dos coeficientes de atenuação de 92 elementos e 48 substâncias de interesse dosimétrico.

Figura 40 – Página do NIST para obtenção de gráficos e tabelas de coeficientes de atenuação de massa e de massa-energia para 92 elementos e 48 substâncias adicionais de interesses dosimétricos.



A partir da página exibida na Figura 40 é possível acessar a *table 3* exibida em sua plenitude na Figura 41.

Figura 41 – Tabela para solicitação de dados referentes aos coeficientes de atenuação de massa para raios-X.

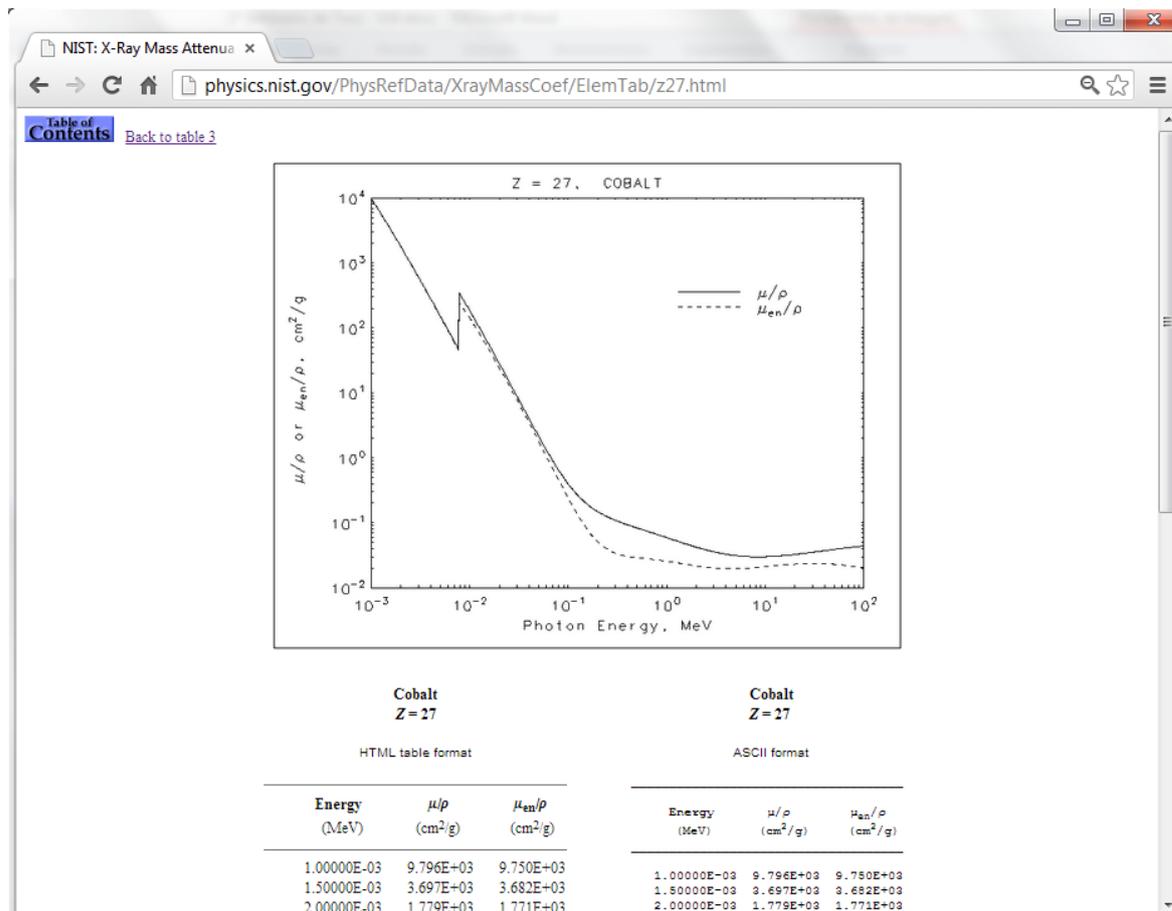
The screenshot shows a web browser window with the URL physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab3.html. The page title is "X-Ray Mass Attenuation Coefficients". Below the title is a caption: "Table 3. Values of the mass attenuation coefficient, μ/ρ , and the mass energy-absorption coefficient, μ_{en}/ρ , as a function of photon energy, for elemental media. Atomic absorption edges are indicated by the shell designation." Below the caption is a table with four columns, each headed "Z Element". The table lists elements from Hydrogen (Z=1) to Uranium (Z=92). The entry for Cobalt (Z=27) is highlighted with a red box.

Z	Element	Z	Element	Z	Element	Z	Element
1	Hydrogen	24	Chromium	47	Silver	70	Ytterbium
2	Helium	25	Manganese	48	Cadmium	71	Lutetium
3	Lithium	26	Iron	49	Indium	72	Hafnium
4	Beryllium	27	Cobalt	50	Sn	73	Tantalum
5	Boron	28	Nickel	51	Sb	74	Tungsten
6	Carbon, Graphite	29	Copper	52	Tellurium	75	Rhenium
7	Nitrogen	30	Zinc	53	Iodine	76	Osmium
8	Oxygen	31	Gallium	54	Xenon	77	Iridium
9	Fluorine	32	Germanium	55	Cesium	78	Platinum
10	Neon	33	Arsenic	56	Barium	79	Gold
11	Sodium	34	Selenium	57	Lanthanum	80	Mercury
12	Magnesium	35	Bromine	58	Cerium	81	Thallium
13	Aluminum	36	Krypton	59	Praseodymium	82	Lead
14	Silicon	37	Rubidium	60	Neodymium	83	Bismuth
15	Phosphorus	38	Strontium	61	Promethium	84	Polonium
16	Sulfur	39	Yttrium	62	Samarium	85	Astatine
17	Chlorine	40	Zirconium	63	Europium	86	Radon
18	Argon	41	Niobium	64	Gadolinium	87	Francium
19	Potassium	42	Molybdenum	65	Terbium	88	Radium
20	Calcium	43	Technetium	66	Dysprosium	89	Actinium
21	Scandium	44	Ruthenium	67	Holmium	90	Thorium
22	Titanium	45	Rhodium	68	Erbium	91	Protactinium
23	Vanadium	46	Palladium	69	Thulium	92	Uranium

At the bottom of the page, there are navigation links: [Abstract](#) | [Introduction](#) | [Mass Atten. Coef.](#) | [Mass Energy-Absorp. Coef.](#) | [Summary](#) | [References](#)

Para exemplificar, foram solicitados os dados referentes ao Cobalto-27 que foram retornados como os exibidos na Figura 42. Nesta, é possível ver o gráfico μ/ρ ou μ_{en}/ρ (cm^2/g) x Energia do fóton (MeV) com as respectivas tabelas em dois formatos, HTML e ASCII.

Figura 42 – Página referente ao gráfico μ/ρ ou μ_{en}/ρ (cm^2/g) x Energia do fóton (MeV) e tabelas com os coeficientes de atenuação do cobalto-27.



2.5 Considerações Finais

Neste capítulo fez-se uma síntese dos temas relevantes para o desenvolvimento do sistema de informações dosimétricas. A Tabela 5 apresenta seus pontos-chaves.

Tabela 5 – Os pontos-chaves da revisão da literatura

Tema	Pontos-chaves
Dosimetria das Radiações	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dosimetria externa <ul style="list-style-type: none"> – Grandezas básicas Dose absorvida (D) é a quantidade física primária usada em dosimetria sendo definida por $D = \Delta E_{abs}/\Delta m$ (Gy). KERMA (K) medida da energia transferida para os átomos do meio por unidade de massa e definida por $K = \Delta E_{trans}/\Delta m$ (Gy). – Grandezas de normalização usadas em radiodiagnósticos: INAK e ESAK. – O estudo da fonte radioativa planar. ✓ Dosimetria interna <ul style="list-style-type: none"> – Equação 14: equação genérica para o cálculo da dose absorvida em qualquer órgão-alvo utilizada pelo MIRD. – Equação 15: equação para o cálculo do fator S. – Desenvolvimento do método systematic-periodic cluster (SPC). – Os MCEs disponibilizados na página http://www.caldose.org/, contendo os

	fantomas mais atuais e 27 órgãos-fontes.
Ambiente de Desenvolvimento Computacional e suas Tecnologias	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plataformas de desenvolvimento de programas computacionais <ul style="list-style-type: none"> - A .NET Framework, versão 4.0, que traz embutido o IDE do MVS 2010. ✓ A linguagem de programação C# <ul style="list-style-type: none"> - É orientada a objetos, tem interoperabilidade com outras linguagens e tecnologias do MVS 2010. ✓ O aplicativo para desenvolvimento de programas <i>web/desktop Silverlight</i> <ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia .NET multiplataforma. - É uma aplicação dos conceitos e normas a partir do WPF. - É executado no navegador do cliente e em uma versão específica da CLR. - Permite a criação de aplicações ricas que são entregues através da web. - Aplicações <i>Silverlight</i> são: <i>cross-platform</i>, <i>cross-browser</i> e <i>cross-device</i>. - A funcionalidade e conteúdo para um aplicativo de navegação estão nas páginas, que são criadas usando a classe <i>Page</i>. - Suporta conteúdo de diálogo. Além dos padrões de diálogos open e save, pode-se também criar diálogos próprios usando controles como <i>Popup</i> e <i>ChildWindow</i>. ✓ O aplicativo para desenvolvimento de programas web: ASP.NET <ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia baseada em <i>scripts</i> que roda no servidor e permite que os scripts embutidos em uma página HTML sejam executados por um servidor <i>web</i>. - É executado sobre o contexto do IIS. - É um aplicativo do lado do servidor e pode ser utilizado para hospedar um aplicativo <i>Silverlight</i> que é um aplicativo do lado do cliente. ✓ O internet information services <ul style="list-style-type: none"> - Software de hospedagem na web que faz parte do sistema operacional Windows. - Usado para hospedar sites em um computador. - Para executar um aplicativo ASP.NET, precisa-se de um servidor <i>web</i> rodando o IIS. ✓ Sistema de gerenciamento de bancos de dados relacionais (SGBDR) e comunicação <i>Silverlight</i> x BDs. <ul style="list-style-type: none"> - BD: no nível interno traz o armazenamento físico dos dados, no nível intermediário traz a descrição lógica dos dados e no nível externo traz os controles para acesso aos dados. - Para a construção de BDs usam-se as ferramentas: SSMS do SQL Server ou Workbench do MySQL. - A tecnologia <i>WCF RIA Service</i> para projetos de código para um cliente usando WCF como meio de comunicação entre o servidor e o cliente. ✓ Identificadores de arquivos <ul style="list-style-type: none"> - As extensões TXT, RAW, DCM, SGI e SID.
Modelos Computacionais de Exposição	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fantomas <ul style="list-style-type: none"> - O fash e o mash. ✓ Códigos Monte Carlo <ul style="list-style-type: none"> - O EGSnrc.
Interfaces de Usuário e Bancos de Dados Usados em Pesquisas e Aplicações em Dosimetria das Radiações	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Interfaces de usuário em dosimetria externa <ul style="list-style-type: none"> - O CALDose_X. ✓ Interfaces de usuário em dosimetria interna <ul style="list-style-type: none"> - O OLINDA. ✓ BDs para estudo das radiações <ul style="list-style-type: none"> - O NIST.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais usados para desenvolvimento do SID foram, essencialmente, *softwares* e *hardwares*. Os computadores usados no desenvolvimento dos aplicativos e obtenção de resultados dosimétricos estão localizados no Laboratório de Dosimetria Numérica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (LDN-IFPE) e têm como principais itens de configuração: processador *Intel Core i7 X990 @ 3,47GHz*, memória instalada (RAM) 24 GB com o sistema operacional *Windows 7 Ultimate* de 64 bits. A página <http://www.dosimetrianumerica.org/> hospeda a atual versão do SID.

Os principais *softwares* e tecnologias embutidas utilizadas para desenvolvimento do sistema foram:

1. Microsoft:

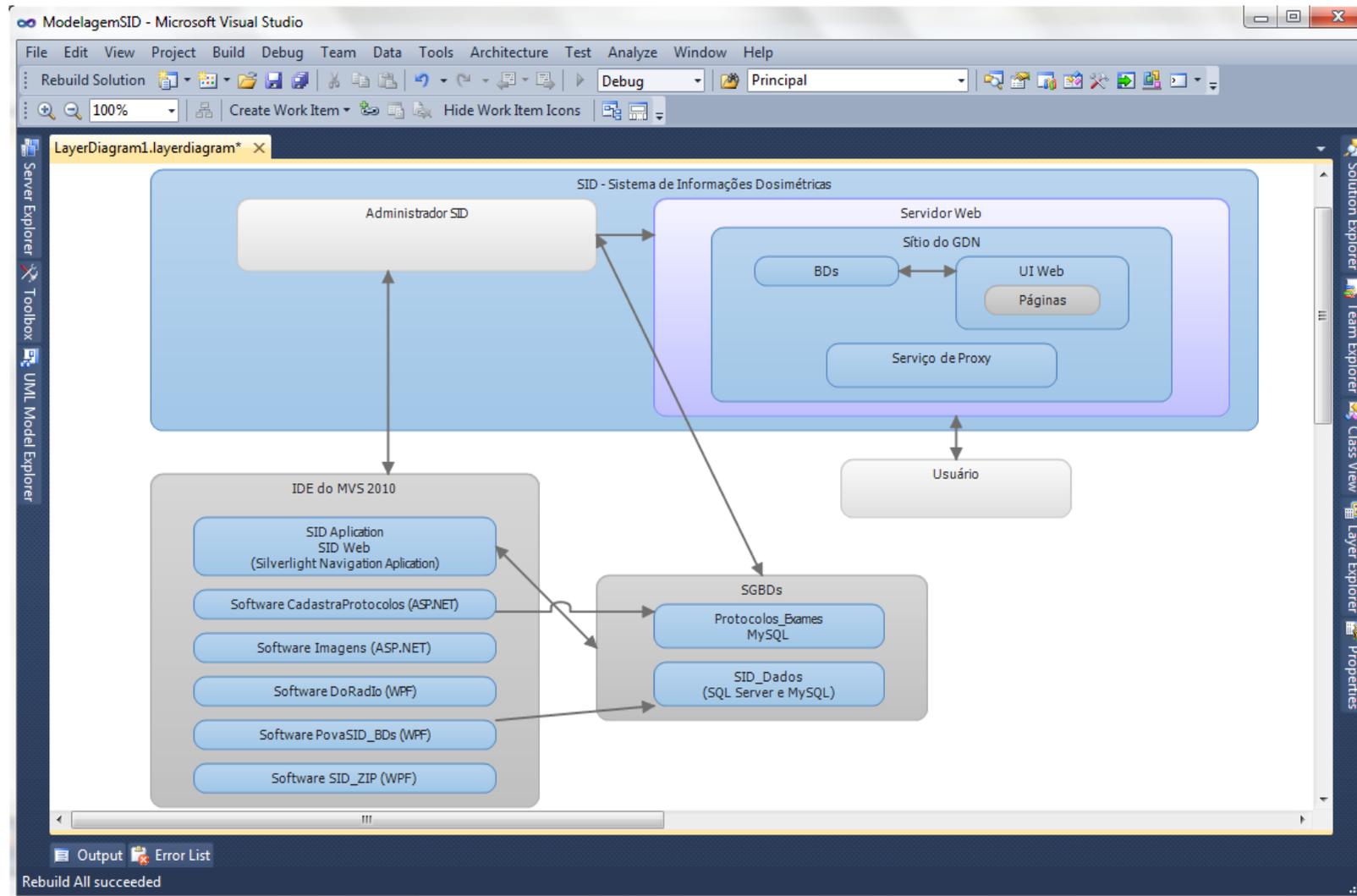
- Windows 7: Bloco de notas, *Paint*, *Prompt* de comando e *Windows Explorer*;
- Office 2007: *Word* e *Excel*;
- Visual Studio Ultimate 2010: Linguagens de programação C# e de marcação XAML; Aplicações *desktop Windows Forms Application* e *Windows Presentation Foundation* (WPF); Aplicações web *Silverlight* e *ASP.NET*;
- *Internet Information Services* (IIS);
- *Sql Server* 2008 (BD Linguagem SQL).

2. Outras:

- *XML*, *HTML* (Linguagens de Marcação);
- *MySQL* (BD Linguagem SQL);
- *EGSnrc* (Código MC) – Linguagem *Mortran/Fortran*;
- *IconLover* (Construção da logomarca do sistema);
- *DIP* (*Digital Image Processing*) (VIEIRA *et al.*, 2009); *FANTOMAS* (VIEIRA *et al.*, 2005).

Para a modelagem do sistema foi usada a Linguagem de Modelagem Unificada (*Unified Modeling Language*, UML) que faz parte do IDE do MVS 2010. O diagrama UML utilizado foi o Diagrama de Camadas (*Layer Diagram*) que mostra as intenções do sistema com os seus componentes como exibido na Figura 43. No apêndice C é exibida uma arquitetura do sistema utilizando gráficos de dependência do IDE do MVS 2010.

Figura 43 – Diagrama de camadas do SID.



Na sequência do desenvolvimento do sistema obtiveram-se arquivos que contêm os fantasmas mais atuais disponibilizados no formato RAW pelo DEN, desenvolveram-se métodos para realização de tarefas, tais como, conversão de arquivos RAW em arquivos de texto e compactação e descompactação de arquivos. Também se produziram UIs em várias camadas para realizar tarefas a partir de entradas do usuário do sistema, bem como do administrador e, finalmente, foram criados BDs para armazenar dados como exames de radiodiagnósticos e medicina nuclear, fantasmas e resultados dosimétricos.

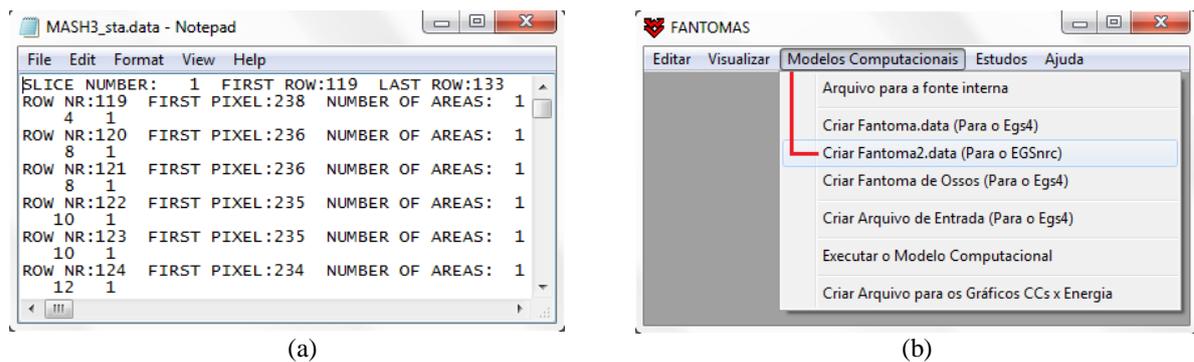
As tarefas executadas durante o desenvolvimento do trabalho são apresentadas na sequência.

3.1 Manipulação de Arquivos

Na sequência são apresentados os métodos e ações efetuadas com os principais arquivos que vão ser utilizados pelo SID. Métodos para ler e converter fantasmas do formato binário em formato de texto, compactar e descompactar arquivos .sid, converter fantasmas de voxels em fantasmas SID e compactá-los, e para a compactação de resultados dosimétricos.

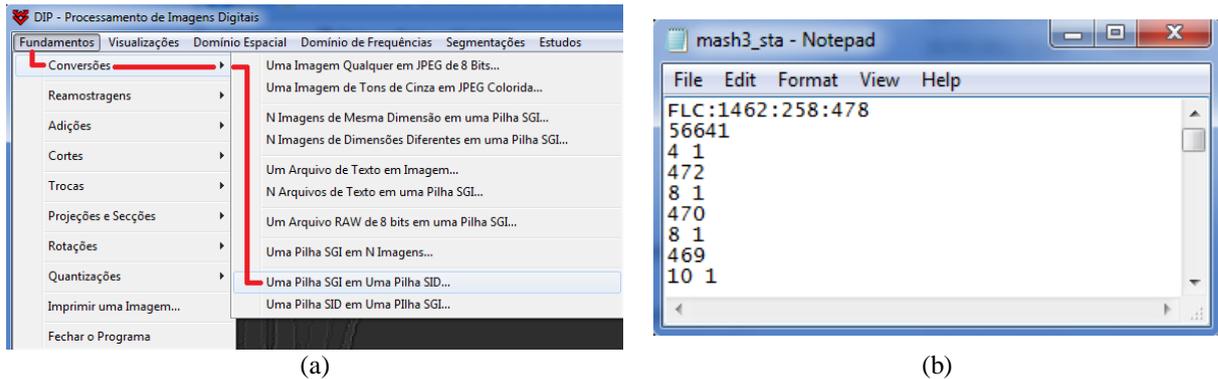
3.1.1 Ler e converter fantasmas no formato binário em formato de texto

O GDN armazena os fantasmas de voxels para edição e visualização num formato do tipo binário denominado SGI (Simulações Gráficas Interativas). Este tipo de arquivo contém um cabeçalho de 12 *bytes* para armazenamento das dimensões do fantoma como inteiro de 4 *bytes*, seguido dos dados, armazenados *byte a byte*. Estes dados são os números identificadores (IDs) dos órgãos e tecidos do fantoma e do ar que completa o paralelepípedo que o contém. Na metodologia de acoplamento utilizada, os arquivos SGI precisam ser convertidos no formato de arquivo de texto, como o *mash3_sta.data* parcialmente mostrado na Figura 44(a), para acoplamento do fantoma aos códigos MC do sistema EGS. A rotina para a conversão entre formatos SGI e texto foi incorporada ao software *FANTOMAS*. Este software é utilizado pelo Grupo para realizar diversas tarefas com fantasmas de voxels, tais como, construir, editar, visualizar e converter para determinado formato. Na Figura 44(b) é indicado o submenu onde o usuário pode realizar a conversão de arquivos.

Figura 44 – (a) Arquivo *mash3_sta.data* e (b) Janela principal do software *FANTOMAS*.

Arquivos binários como RAW ou SGI precisam de *softwares* de edição especiais para manipulação. Assim, o GDN desenvolveu um novo formato de organização dos fantomas de voxels em texto para ser utilizado em todas as tarefas necessárias, desde a sua construção, passando pela edição, visualização até o acoplamento ao código Monte Carlo. O novo formato foi denominado SID. Para converter arquivos SGI em SID, utilizou-se a técnica de estruturas repetidas (MCNP5, 2012), que consiste em realizar a varredura da matriz 3D que representa o fantoma, contando, cumulativamente, todos os voxels com mesmo ID ao longo de cada linha. A contagem começa da primeira para a última fatia e, em uma fatia, da primeira para a última linha. A Lista 3 do apêndice A mostra um fragmento do código em C# (SHARP, 2010) que cria uma lista de *string*, lê no arquivo SGI de entrada as dimensões do fantoma e as adiciona à primeira linha da lista. Na sequência, transfere os dados do SGI para a lista. É esta lista que é salva como arquivo SID.

O código completo da função que converte arquivos SGI em SID está embutido no *software* DIP. Na Figura 45(a) são indicados os submenus do DIP onde o usuário pode realizar a conversão de arquivos. A Figura 45(b) exhibe um fragmento do arquivo *mash3_sta.sid*, onde a primeira linha exhibe os números 1462 fatias, 258 linhas e 478 colunas. A segunda linha traz o primeiro agrupamento de zeros, isto é, 56641 zeros. O 4 na terceira linha, primeira coluna é o número de *voxels* com ID 1. Então, percebe-se que a partir daí toda linha com apenas uma coluna indica o total de zeros e com duas colunas o número de voxel e o ID, respectivamente. O fragmento de arquivo da Figura 45(b) corresponde ao mostrado na Figura 44(a).

Figura 45 – (a) Janela principal do software DIP e (b) Arquivo *mash3_sta.sid*.

Pode-se ver pela imagem dos dois arquivos (Figura 44(a) e Figura 45(b)) que houve uma simplificação no modo de armazenar os dados. O arquivo *mash3_sta.data* tem um tamanho de 47626 KB e o *mash3_sta.sid*, 24855 KB. Assim, com a aplicação da técnica de estruturas repetidas ocorre uma redução em torno de 52% em relação ao tamanho do arquivo armazenado no *formato.data*.

3.1.2 Compactar e descompactar arquivos manipulados no SID

O aperfeiçoamento dos fantasmas de *voxels* levou-os a um grande refinamento, conseqüentemente os arquivos cresceram bastante. Para se ter uma ideia, o primeiro fantoma masculino usado no DEN-UFPE, o MAX, tem um tamanho aproximado de 5 MB enquanto o fantoma masculino atualmente usado, o MASH3_sta, tem um tamanho aproximado de 176 MB.

O SID tem como uma de suas tarefas, o armazenamento e manipulação dos fantasmas contidos em um BD, além de resultados dosimétricos de diversas simulações onde cada arquivo de saída é da ordem de 10 MB. Portanto, fez-se necessário criar um método para a compactação e descompactação desses arquivos. A Lista 4 do apêndice A apresenta um exemplo de código para compactação e outro para descompactação, ambos escritos em C# e organizados na classe *ZipHelper*.

3.1.3 Obtenção, organização e conversão de fantasmas de voxels em fantasmas SID e ZIP

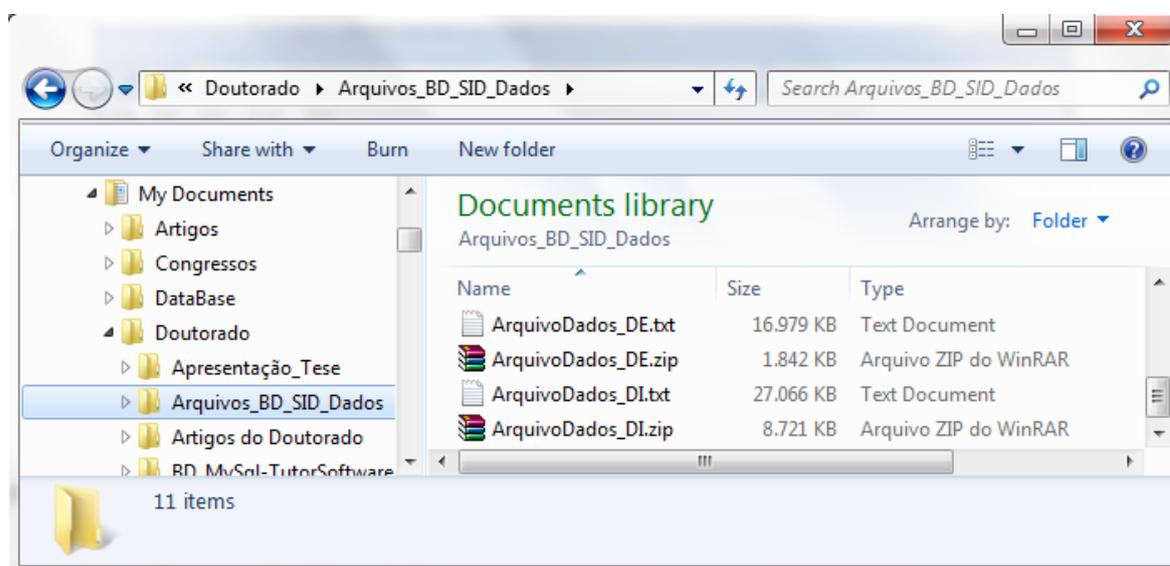
O presente trabalho utilizou quatro fantasmas de voxels: Mash3_sta, Fash3_sta, Mash3_sup e Fash3_sup, disponíveis em <http://www.caldose.org/>. Originalmente, os fantasmas são disponibilizados no formato RAW e ocupam um espaço em disco na ordem de

10² MB, o que dificulta muito seus armazenamentos e transferências via *web*. Então, eles foram convertidos de RAW para SGI. As versões SGI podem ser manipuladas nos *softwares* *DIP* e *FANTOMAS*, onde também podem ser convertidas para o formato SID. São estas versões SID dos fantomas que são compactadas (formato ZIP) e armazenadas no BD.

3.1.4 Obtenção e conversão dos resultados dosimétricos em ZIP

Este trabalho apresenta resultados de dose organizados no arquivo de dados de entrada do *software* *CALDOSE_X* (KRAMER *et al.*, 2009) e de simulações²⁴ de dosimetria interna com os MCEs disponibilizados em <http://www.caldose.org/>. Os arquivos de saída das simulações de dosimetria interna foram organizados em um único arquivo de texto similar ao arquivo de dados de entrada do *CALDOSE_X*. O arquivo de dados oriundo do *CALDOSE_X* passa a ser referenciado por *ArquivoDados_DE.txt*, enquanto o que reúne os dados de dosimetria interna é referenciado por *ArquivoDados_DI.txt*. Ambos trazem centenas de exames e outras informações, o que resulta tamanhos da ordem de 10 MB. Para otimizar o armazenamento e agilizar a transmissão via *web* eles foram compactados. A Figura 46 mostra os arquivos numa pasta do *Windows Explorer* onde é possível ver a diferença nos tamanhos dos arquivos originais e os compactados.

Figura 46 – Arquivos de saída de simulação MC no formato TXT e os correspondentes no formato ZIP.



²⁴ No apêndice B apresentam-se os passos para realização das simulações MC de dosimetria interna utilizando o MCE MSTA. Ali é mostrado como utilizar o método *BATCH* (lote) para simular sequencialmente todas as fontes, com o intuito de otimizar o tempo para a obtenção dos resultados dosimétricos.

3.2 Interfaces de Usuários

O sistema computacional aqui desenvolvido tem diversos níveis de interfaces de usuário. A UI principal é um projeto *Silverlight* que contém suas UIs secundárias. Além disso, foram desenvolvidos programas em *WPF Application* para realizar tarefas que não são suportadas pela tecnologia *Silverlight*, assim como em *Windows Forms Application* e *ASP.NET*, de acordo com a necessidade.

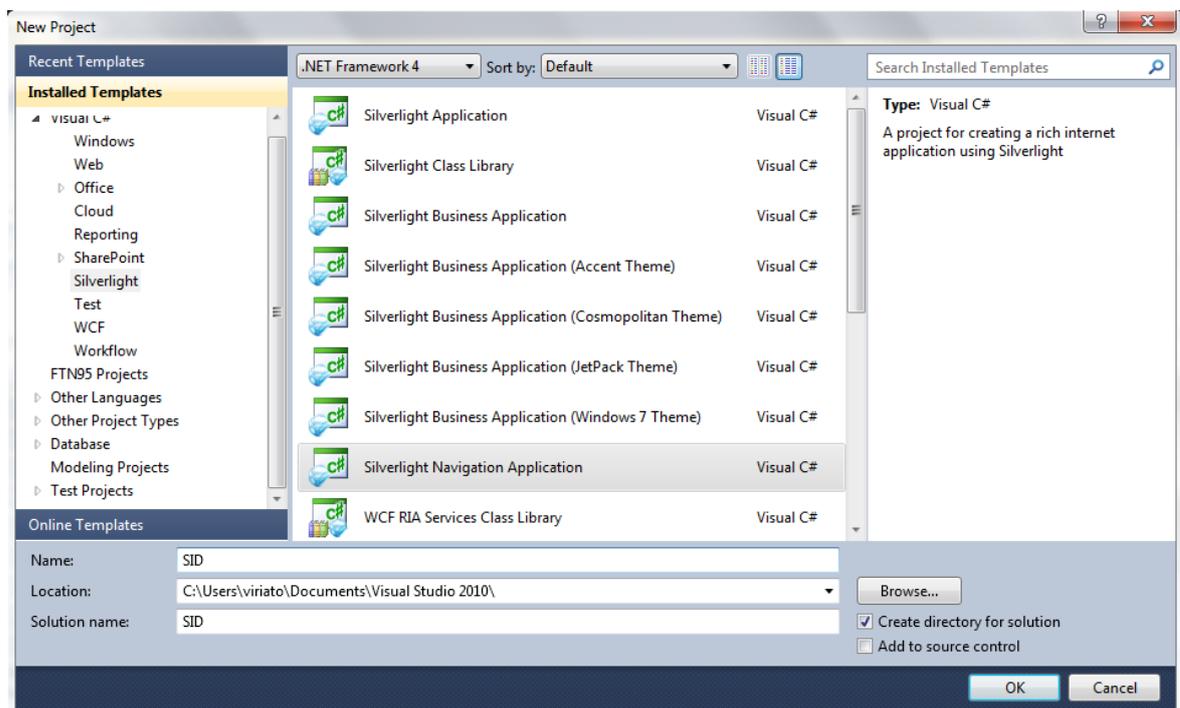
Na sequência, são apresentados detalhes do desenvolvimento da UI principal com todos os controles necessários às interações com os usuários e administradores, suas janelas-filhas, páginas *web*, etc. Também são apresentados detalhes do desenvolvimento das UIs secundárias e complementares.

3.2.1 A Interface principal do sistema

Eis os passos para a construção da principal UI do SID:

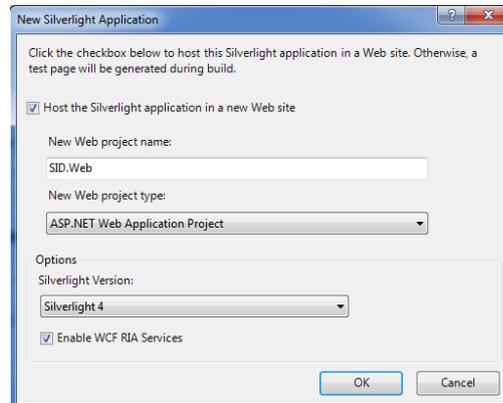
Passo 1: Na janela *New Project* do *MVS*, foi escolhido o modelo de aplicativo *Silverlight Navigation Application*, nomeado como *SID*, Figura 47.

Figura 47 – Janela *New Project* do *MVS* 2010 para criação do projeto *SID*.



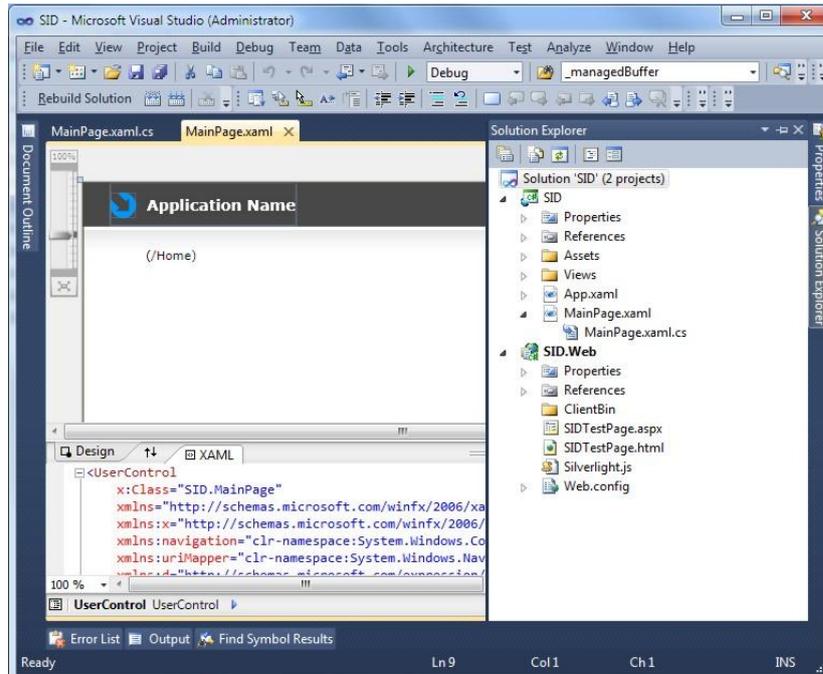
Passo 2: Após clicar OK na janela da Figura 47, o MVS mostra a janela da Figura 48. Seleciona-se *Enable WCF RIA Service* e clica-se OK.

Figura 48 – Janela para selecionar *WCF RIA Service*.

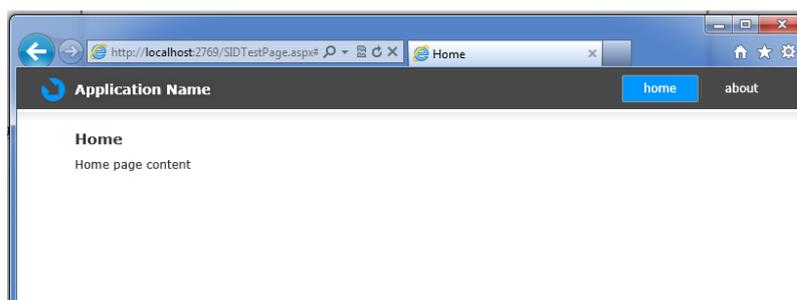


Passo 3: Surge o ambiente de desenvolvimento do SID, Figura 49, que consiste em uma solução com dois projetos: O aplicativo cliente *SID*, composto pelo ambiente de *design* (em *XAML*) e o de código (em *C#*); e o projeto *SID.Web*, para hospedagem do aplicativo cliente.

Figura 49 – Solução *SID* com seus projetos Cliente e Web.



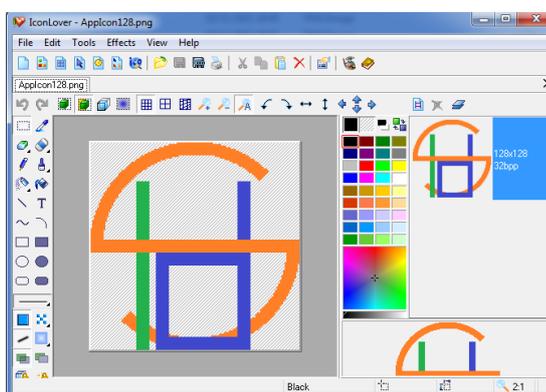
Se neste passo o desenvolvedor construir e executar o SID, verá a janela no navegador conforme a Figura 50.

Figura 50 – Janela principal do SID antes das personalizações.

Passo 4: Inicialmente foram personalizados o ícone do aplicativo, o título da janela principal e os dois controles *HiperlinkButton* com legendas padrões *home* e *about*. Os subpassos a seguir apresentam alguns detalhes sobre estas personalizações.

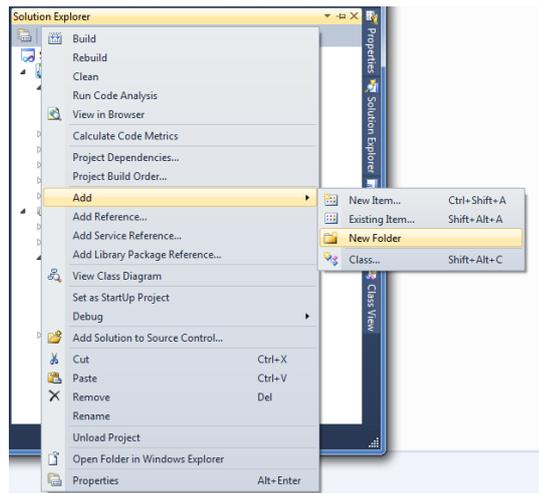
Passo 4.1: Criação e vinculação dos ícones do SID

Para a criação dos ícones foi utilizado o *software IconLover*²⁵. O ícone representa o acrônimo de Sistema de Informações Dosimétricas desenhado *pixel a pixel*. A Figura 51 apresenta a janela principal do *software* com a imagem do ícone de dimensões de 128 x 128 *pixels* desenvolvido. A mesma figura foi reamostrada para 16 x 16, 32 x 32 e 48 x 48 com o objetivo de atender às necessidades de apresentações em *desktop*, ícones de sistema, listas de executáveis do Windows e na janela de *download* do *software*.

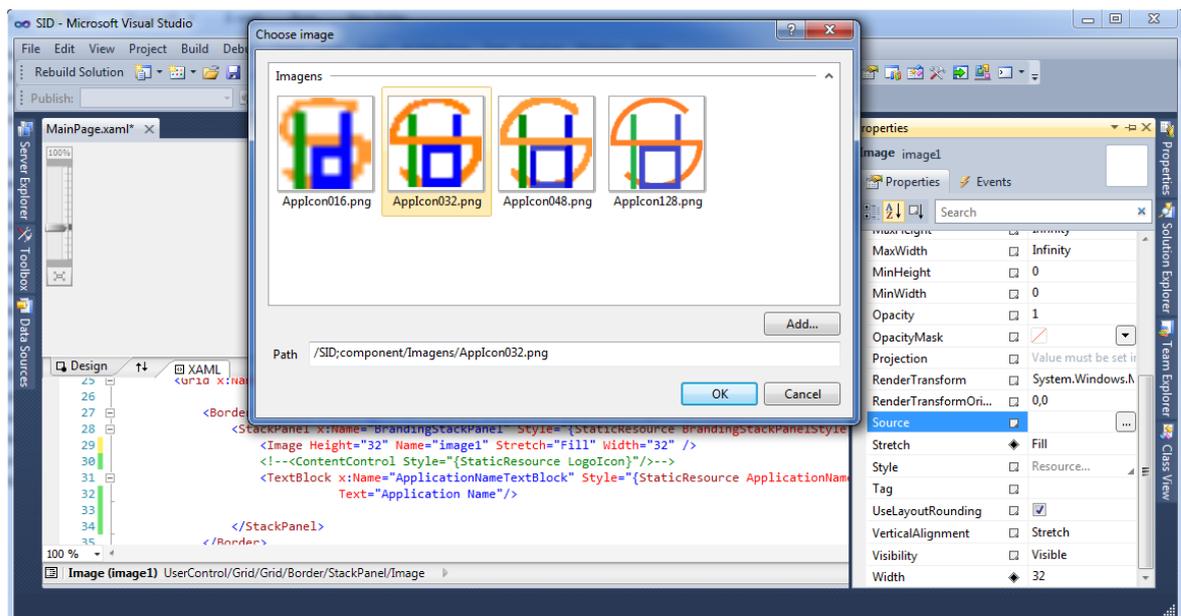
Figura 51 – Janela do *software* IconLover com o ícone do SID de 128 x 128 *pixels*.

Para vincular os ícones ao SID, foi criada a pasta *Imagens* por meio do caminho mostrado na Figura 52. A seguir, pelo Windows Explorer, os arquivos de ícones foram copiados e colados em *Imagens*. Finalmente, pelo *Solution Explorer* do MVS, foram adicionadas referências a estes arquivos.

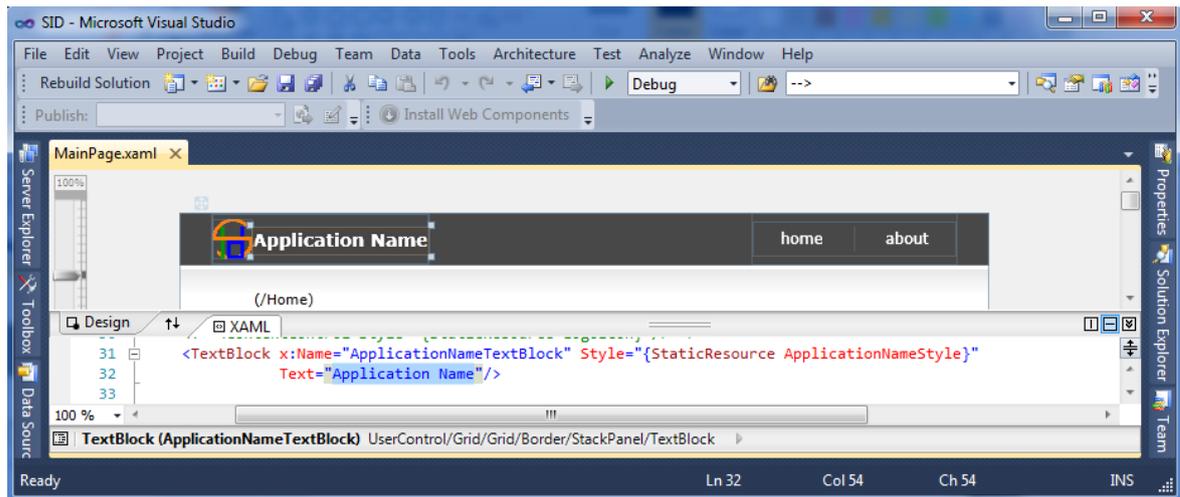
²⁵ Disponível em: <<http://www.iconlover.com/>> Acesso em: fev. 2013.

Figura 52 – Janela do *Solution Explorer* com destaque para a criação de uma nova pasta.

A primeira personalização de ícone foi feita no XAML padrão introduzido na criação da solução SID. Este XAML padrão já contém uma proposta de *layout* com um elemento-raiz *UserControl* e alguns controles-filhos. O arquivo com a imagem de 32 x 32 pixels foi atribuído à propriedade *Source* de um objeto *Image* em um destes controles, como mostrado na Figura 53.

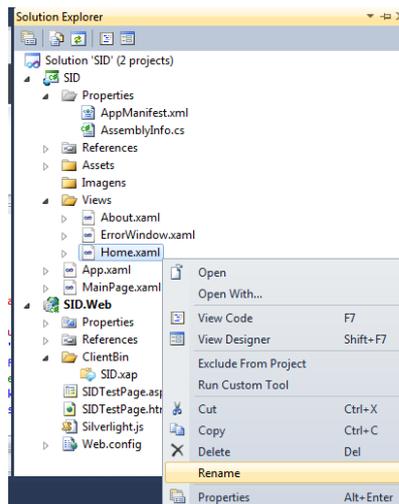
Figura 53 – Janela para escolher o ícone da interface principal do SID.

Passo 4.2: Renomeação do título padrão da janela “*Application Name*” para *Sistema de Informações Dosimétricas*. A Figura 54 apresenta parte da janela e do código em XAML para esse fim.

Figura 54 – Personalização do título da janela principal do aplicativo no ambiente de *design*.

Passo 4.3: Personalização dos botões de vínculo (*HyperlinkButton*) *home* e *about*, para *Início* e *Suporte*, respectivamente, assim como das páginas Silverlight correspondentes.

No *Solution Explorer* ---> Pasta *Views* ---> *Home* ---> botão direito do *mouse* ---> *Rename* ---> *Início*. Procedimento similar para a página *About* ---> *Suporte*. A Figura 55 exhibe parte do procedimento mencionado.

Figura 55 – *Solution Explorer* exibindo o menu *Rename*.

Após as nomeações o projeto foi reconstruído e executado apresentando como resultado a janela da Figura 56.

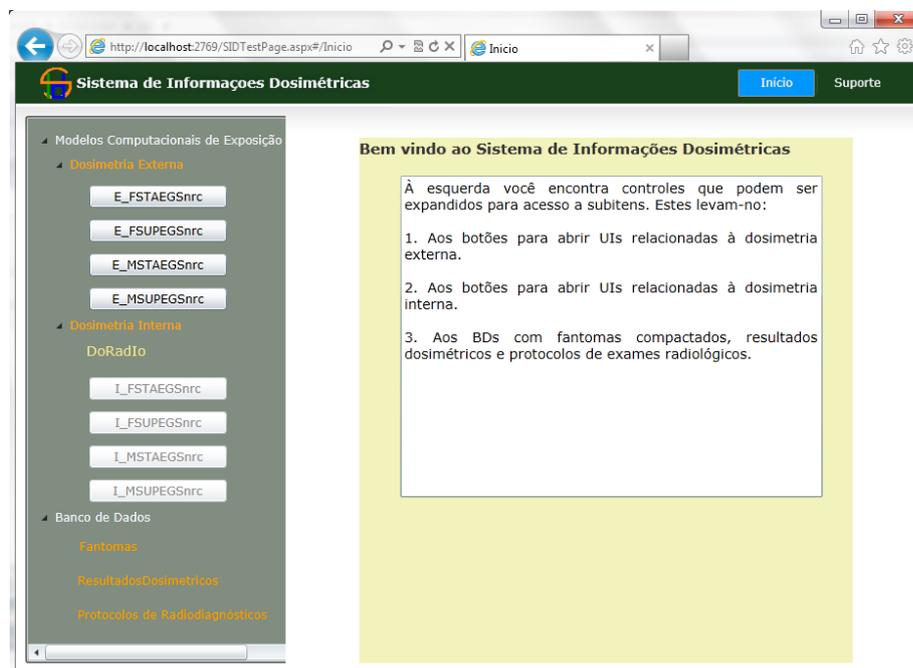
Figura 56 – Janela do SID após as personalizações iniciais.

A Lista 5 do apêndice A mostra o trecho do código em XAML referente ao Passo 4.

Passo 5: Formatação da janela principal para exibir o *layout* de controles das ações do cliente e do administrador.

Passo 5.1: Divisão do restante da janela principal (após a *NavigationGrid*) em duas colunas: a da esquerda com um controle *TreeView* e a da direita um controle *Frame* para navegação entre as páginas *Silverlight*.

Passo 5.2: Colocação de dois controles *TreeViewItem* com os cabeçalhos *Modelos Computacionais de Exposição* e *Banco de Dados*. Cada um dos *TreeView* recebe controles *Button* e/ou *HiperlinkButton* devidamente nomeados. A Figura 57 exibe a janela principal do SID após o Passo 5 e a codificação em XAML correspondente é apresentada na Lista 6 do apêndice A.

Figura 57 – Janela principal do SID apresentando seus principais controles.

Neste passo termina a construção do design da UI principal do SID. Na sequência, são apresentados os passos seguidos para a construção das interfaces secundárias.

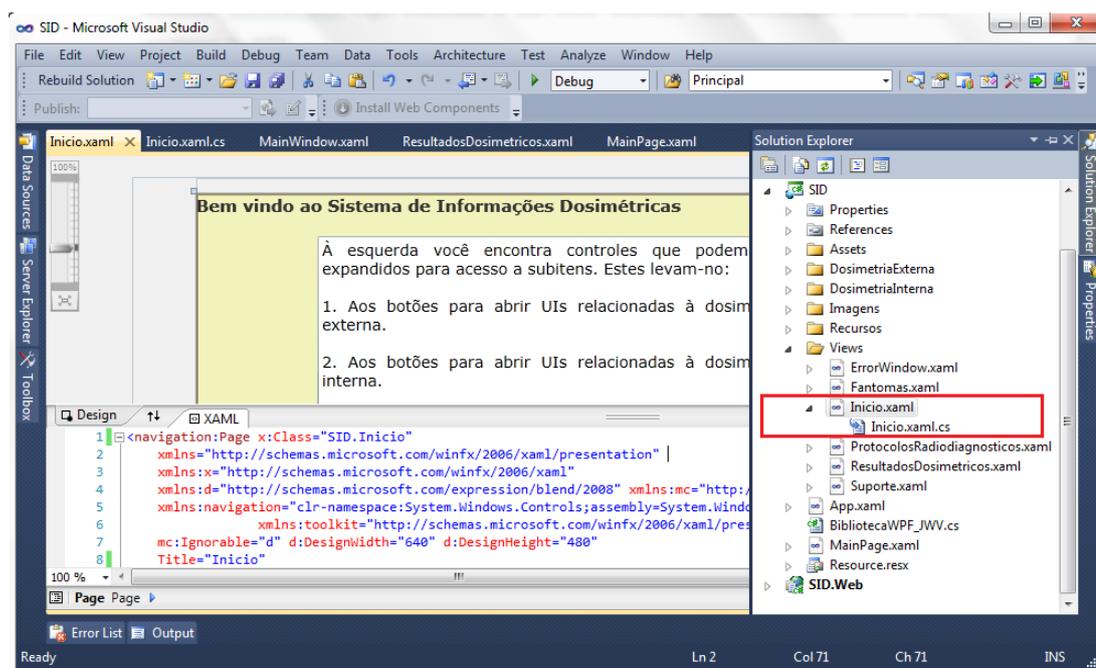
3.2.2 Interfaces Secundárias

Os itens a seguir organizam o desenvolvimento dos *layouts* e da codificação das UIs secundárias acessadas a partir dos controles mostrados na Figura 57.

3.2.2.1 Interfaces vinculadas aos controles para informações iniciais

O controle *Início*, exibido na janela principal (Figura 57), está vinculado à página²⁶ *Silverlight Início*. Dando-se um duplo clique em *Inicio.xaml* na janela do *Solution Explorer*, surge a janela secundária *Início*. A Figura 58 mostra a localização do *Inicio.xaml* no projeto do aplicativo e o ambiente de design do mesmo. Na janela foi colocado um controle *RichTextBox* cujo conteúdo é um texto trazendo uma orientação inicial aos usuários do SID.

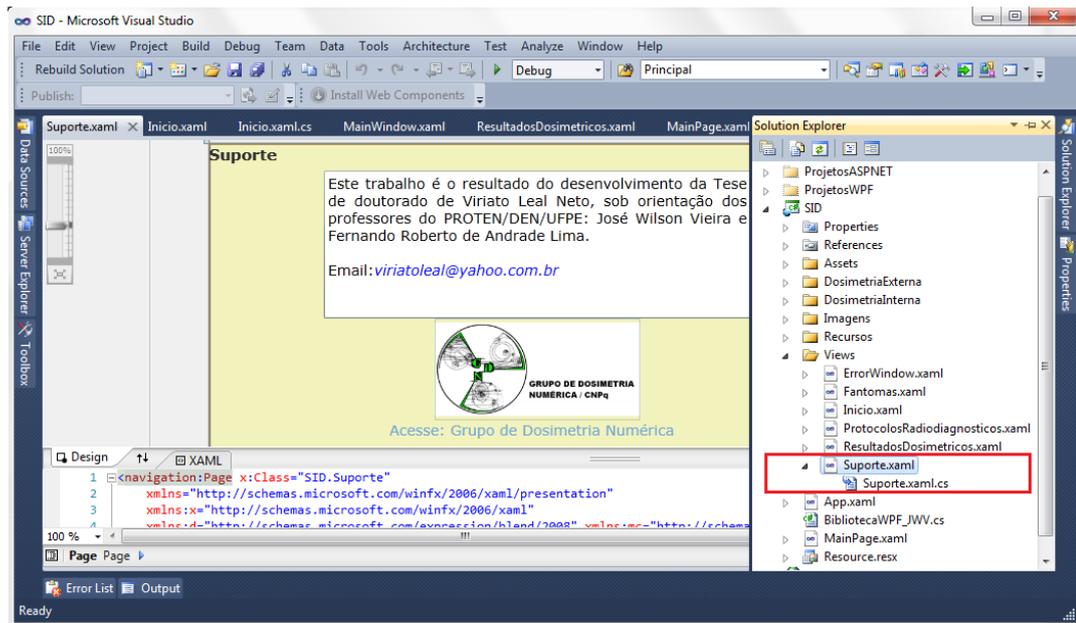
Figura 58 – Ambiente de *design* da página *Início* e do *Solution Explorer* com destaque para *Inicio.xaml*.



²⁶ Neste trabalho as páginas Silverlight são chamadas de janelas secundárias ou simplesmente janelas.

De modo similar à *Inicio*, a janela secundária *Suporte* também tem ambiente de marcação e código e mostra informações sobre o desenvolvimento do aplicativo. Além disso, a janela mostra uma logomarca e um *link* para acesso ao sítio do GDN. Na Figura 59 encontram-se a localização da janela no *Solution Explorer* e parte das informações da página *Suporte*.

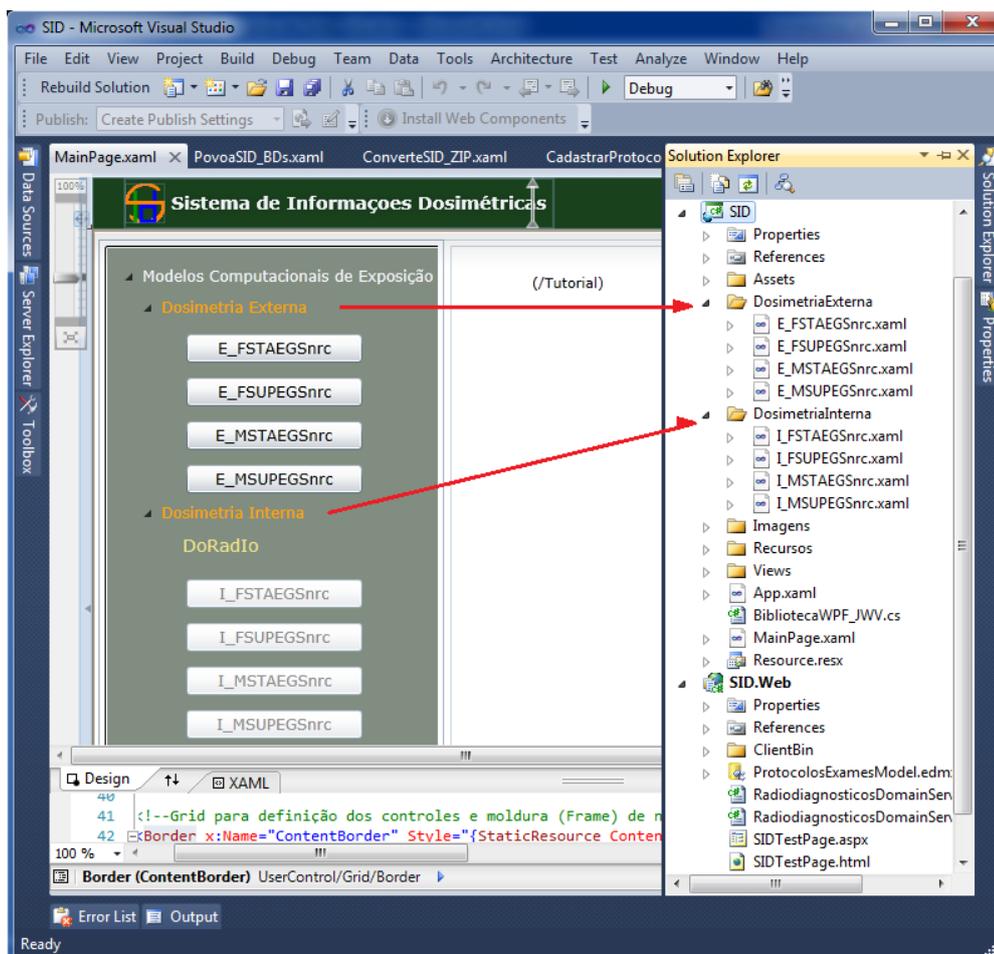
Figura 59 – Ambiente de *design* da página *Suporte* e do *Solution Explorer* com destaque para *Suporte.xaml*.



3.2.2.2 Interfaces de usuário vinculadas aos MCEs

A árvore *Modelos Computacionais de Exposição* está dividida em dois itens: *DosimetriaExterna* e *DosimetriaInterna*. Cada item possui quatro controles *Button*. Para fins de facilitar a programação desta árvore, foram criadas as duas pastas (Figura 60).

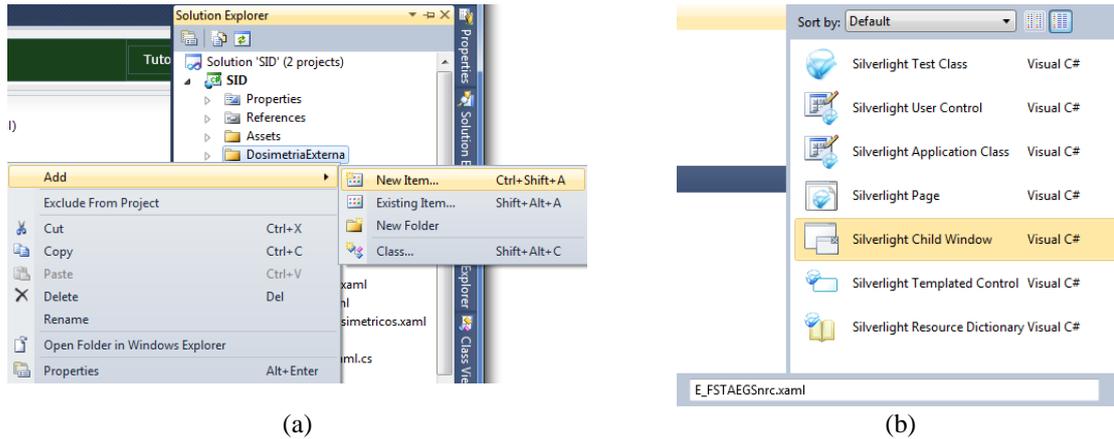
Figura 60 – Janela do aplicativo SID mostrando a localização das pastas *DosimetriaExterna* e *DosimetriaInterna*.



A pasta *DosimetriaExterna* contém quatro janelas-filhas para manipular os MCEs disponíveis para este trabalho. Para estas janelas usou-se o controle *Silverlight Child Window*²⁷. As Figura 61 (a) e Figura 61 (b) exibem o caminho seguido para a criação da janela secundária *E_FSTAEGSnrc* (E = Externa; FSTA = *Fash Standing*; EGSnrc é o código Monte Carlo).

²⁷ Neste trabalho, similarmente às páginas *Silverlight*, as *ChildWindow* são chamadas de janelas secundárias ou simplesmente janelas.

Figura 61 – (a) Fragmento do *Solution Explorer* para adição de um novo item *Silverlight Child Window* e (b) Fragmento da janela *Add New Item* com a nomeação da *UI E_FSTAEGSrc*.



A Figura 62 exibe o ambiente de *design* da *UI E_FSTAEGSrc* com seus controles e a Figura 63 o ambiente de código em C# correspondente.

Figura 62 – Ambiente de *design* da *UI E_FSTAEGSrc.xaml* mostrando seus controles.

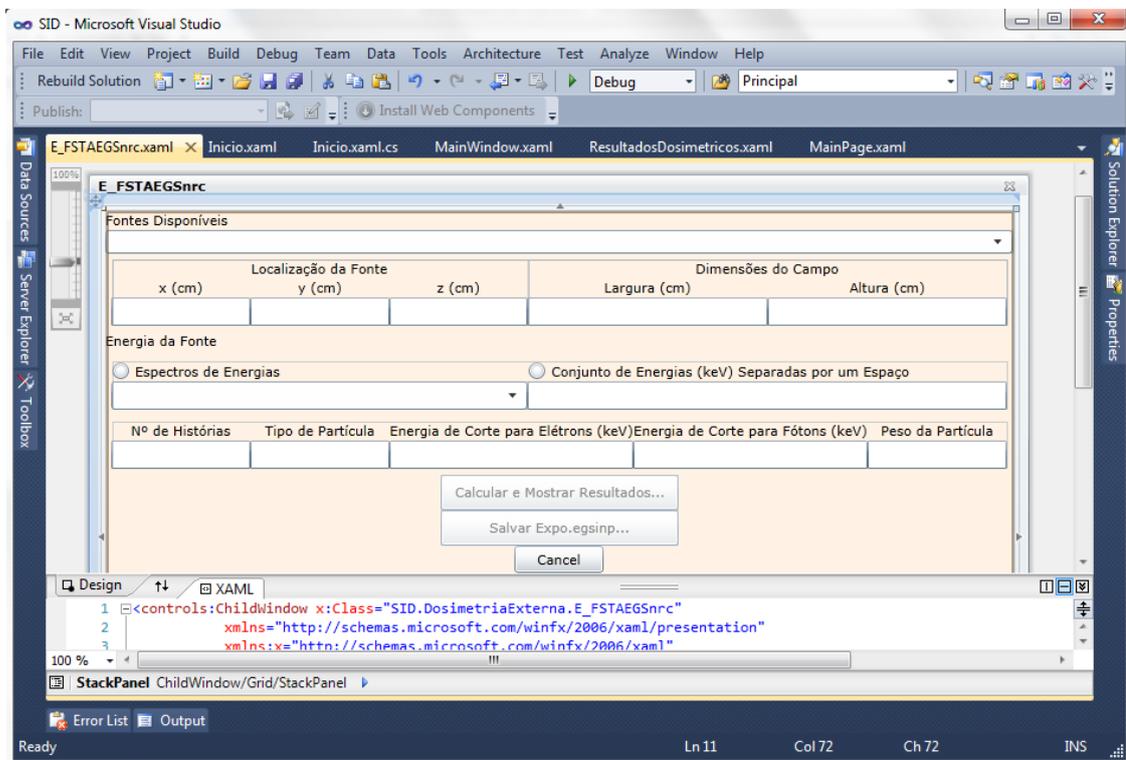
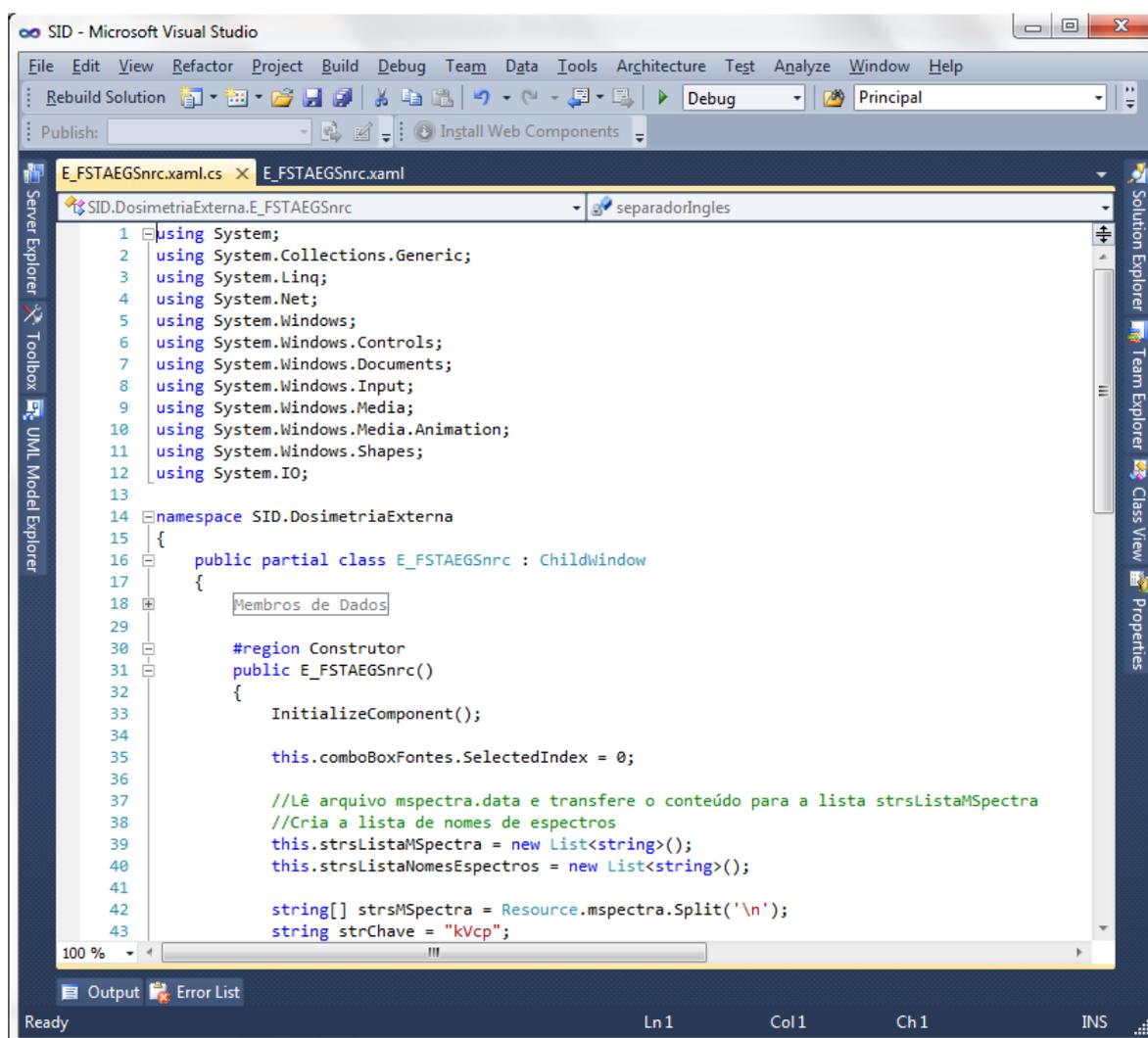


Figura 63 – Códigos C# da UIE_DosimetriaExterna.xaml.cs embutidos em regiões.


```

1  using System;
2  using System.Collections.Generic;
3  using System.Linq;
4  using System.Net;
5  using System.Windows;
6  using System.Windows.Controls;
7  using System.Windows.Documents;
8  using System.Windows.Input;
9  using System.Windows.Media;
10 using System.Windows.Media.Animation;
11 using System.Windows.Shapes;
12 using System.IO;
13
14 namespace SID.DosimetriaExterna
15 {
16     public partial class E_FSTAEGSnrc : ChildWindow
17     {
18         Membros de Dados
19
20         #region Construtor
21         public E_FSTAEGSnrc()
22         {
23             InitializeComponent();
24
25             this.comboBoxFontes.SelectedIndex = 0;
26
27             //Lê arquivo mspectra.data e transfere o conteúdo para a lista strListaMSpectra
28             //Cria a lista de nomes de espectros
29             this.strListaMSpectra = new List<string>();
30             this.strListaNomesEspectros = new List<string>();
31
32             string[] strMSpectra = Resource.mspectra.Split('\n');
33             string strChave = "kVcp";
34         }
35     }
36 }

```

A construção da janela para dosimetria externa é similar para os quatro modelos e é apresentada a seguir, em passos, para o modelo *E_FSTAEGSnrc*.

Passo 1: Todos os controles foram organizados em uma *Grid* principal com um *StackPanel*. Os primeiros controles são um *TextBlock*, nomeado como *Fontes Disponíveis*, e uma *ComboBox*, com uma lista das fontes disponíveis para o modelo. A Lista 7 do apêndice A apresenta parte dos controles e suas respectivas marcações em XAML.

Passo 2: Os próximos controles estão organizados em células de uma *Grid* secundária e são: oito *TextBlock* e seis *TextBox* que estão relacionados a parâmetros da fonte, tais como, *Localização* e *Dimensões*. Para a fonte 13, *Isotrópica num Plano Circular*, o raio do círculo deve ser digitado pelo usuário e os demais dados são preenchidos automaticamente com a definição da fonte. A Lista 8 do apêndice A traz os controles e suas marcações em XAML.

Passo 3: Os controles disponibilizados na sequência são um *TextBlock*, para o texto *Energia da Fonte*; um *RadioButton* junto com uma *ComboBox*, para selecionar o espectro de energias a partir do arquivo de texto *mspectra.txt*²⁸; e mais um *RadioButton* junto com uma *TextBox*, para o caso do usuário preferir definir um ou vários valores de energia. A Lista 9 do apêndice A exibe os controles e o correspondente código em XAML.

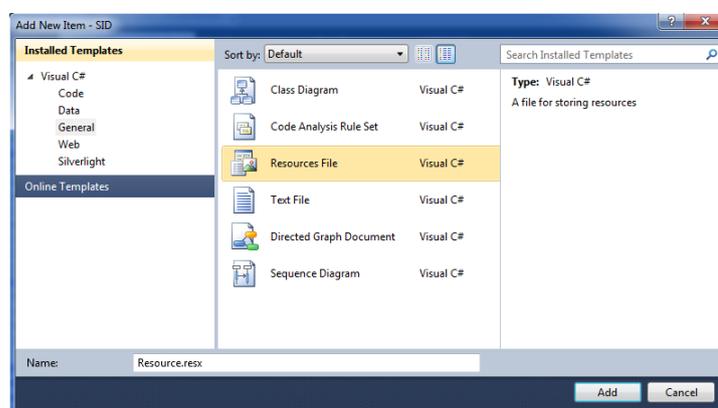
Passo 4: Para definição do número de histórias da simulação, tipo da partícula, energia de corte para elétrons, energia de corte para fótons e peso da partícula, foram usadas dez células de uma *Grid* secundária, cinco com *TextBlock* junto com cinco *TextBox*. A Lista 10 do apêndice A mostra os controles e o correspondente código em XAML.

Passo 5: Para finalizar o *design* da janela foram adicionados os três controles *Button* mostrados na Lista 11 do apêndice A.

Alguns arquivos usados para realizar tarefas específicas com os MCEs precisam ser localizados no SID. São eles, o arquivo de texto *mspectra.txt* que traz espectros de energias utilizados em diversas simulações, o *ArquivoDados_DE.txt* com resultados de simulações em dosimetria externa e o *ArquivoDados_DI.txt* com resultados de simulações em dosimetria interna.

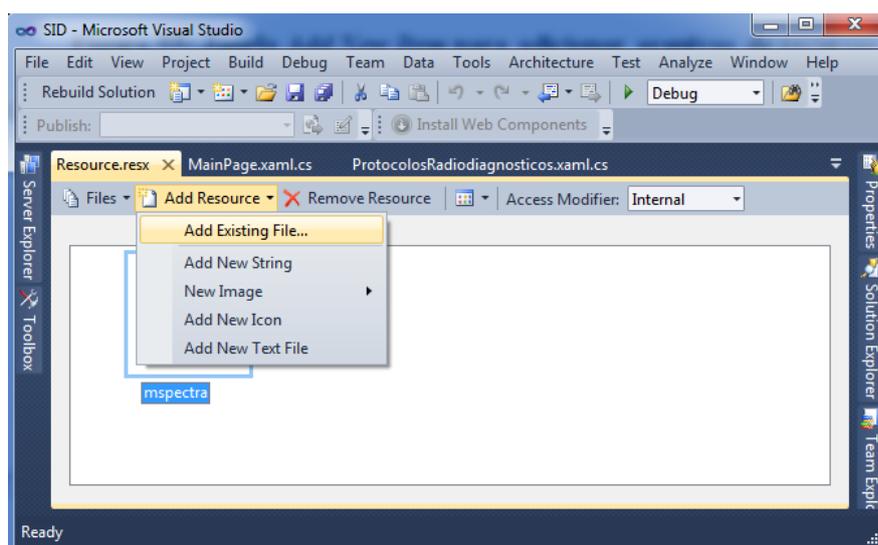
O arquivo *mspectra.txt* foi adicionado ao projeto SID como um arquivo *Resource.resx*, seguindo-se os procedimentos já apresentados para a adição de outros itens. A Figura 64 apresenta a janela *Add New Item* com o item *Resources File* e seu nome para o projeto.

Figura 64 – Janela *Add New Item* para adicionar arquivos de recursos.



Clicando no botão *Add* na Figura 64 apresenta-se a janela *Resource.resx* da Figura 65, onde se vê o caminho seguido para adicionar o arquivo *mspectra.txt*.

²⁸ Este arquivo de texto contém um catálogo com os espectros de energia (valores de energia ponderados) correspondentes a parâmetros de máquinas de raios-X mais comumente utilizados.

Figura 65 – Janela *Resource.resx* com o caminho para a adição do arquivo *mspectra.txt*.

Os Arquivos *ArquivoDados_DE.txt* e *ArquivoDados_DI.txt* foram compactados e suas versões *zip* foram localizadas em dois lugares distintos: em campos de uma tabela do *BD SID_Dados* e no sítio do GDN através de *links*.

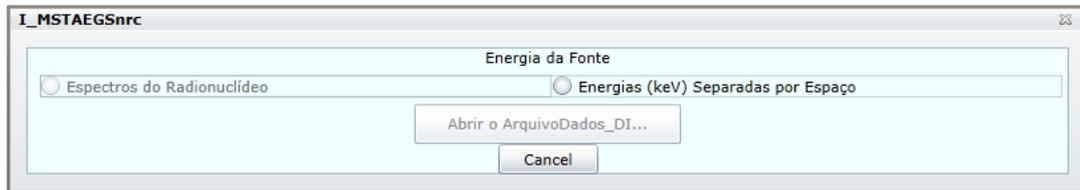
Para dar ação a todos os controles adicionados nos passos anteriores é preciso fazer a codificação em C# no arquivo *E_FSTAEGSnrc.xaml.cs* (ver o código completo na Lista 12 do apêndice A). Este arquivo contém a parte do *namespace SID.DosimetriaExterna* que define a classe *E_FSTAEGSnrc*, por sua vez separada em quatro regiões:

- *Membros de dados*: Define diversas variáveis privadas para manipular as ações da classe.
- *Construtor*: Nesta função são realizadas ações: de inicialização do *layout* da janela; transferência dos conteúdos dos arquivos adicionados ao aplicativo como recursos para variáveis internas; preenchimento da caixa *combo* reservada para os espectros de raios-X com as linhas contidas nos cabeçalhos de cada bloco de dados do arquivo *mspectra.txt*; preenchimento da caixa de texto reservada para a lista de valores de energia com uma lista padrão contendo 19 valores de energia entre 10 e 10000 keV.
- *Funções de Eventos*: Aqui são definidas as funções manipuladoras dos eventos de marcação (*Checked*), de mudança de seleção (*SelectionChanged*) e de clique (*Click*).
- *Função Auxiliar*: Nesta região é definida a função privada *CriaSalvaArquivoExpoInput* que utiliza os dados carregados nos recursos e as informações passadas pelo usuário para criar o arquivo de texto que é parte dos dados de entrada no MCE *E_FSTAEGSnrc*.

Similarmente à pasta *DosimetriaExterna*, a pasta *DosimetriaInterna* possui quatro janelas-filhas para manipular os MCEs disponíveis. Também para construção destas janelas usou-se o controle *Silverlight Child Window* com diferenças nos controles e ações que serão

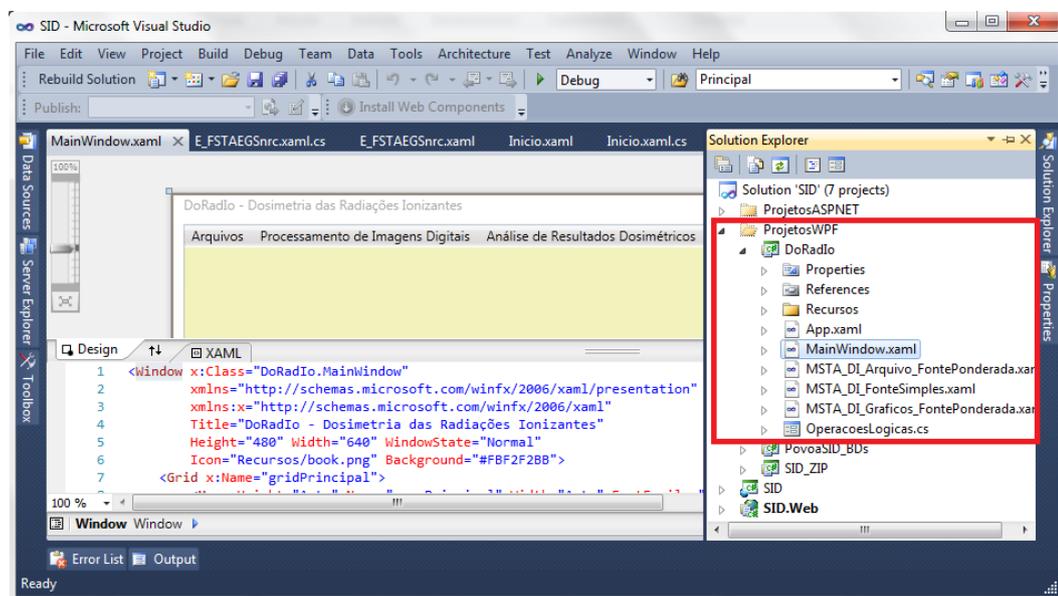
requeridos. A Figura 66 exibe o ambiente de *design* da janela *I_MSTAEGSnrc* (I significa Interna, MSTA significa *Mash Standing* e EGSnrc, o código Monte Carlo) com seus controles.

Figura 66 – Ambiente de *design* e marcação da janela *I_MSTAEGSnrc*.



Os resultados apresentados para ilustrar o modo como o usuário do SID deve proceder para obter dados dosimétricos são baseados em dosimetria interna, mais especificamente, no *I_MSTAEGSnrc*. A ilustração já está completamente implementada em *WPF Application*, um tipo de projeto no MVS 2010 para *desktop* que utiliza classes de listas genéricas e classes para compactação e descompactação de arquivos, necessárias nas manipulações de entrada e saída de dados do sistema. Algumas dessas classes ainda não estão incorporadas a projetos *Silverlight 4.0*. Assim, os botões que dão acesso às UIs relacionadas com dosimetria interna ficarão desabilitados e o usuário poderá acessar uma interface complementar, desenvolvida em *WPF Application* denominada *DoRadIo*, cujo projeto foi adicionado ao *Solution Explorer* do SID. A Figura 67 mostra o ambiente de *design* alternativo WPF incorporado ao SID.

Figura 67 – Ambiente de *design* e marcação da janela WPF da UI *DoRadIo*.



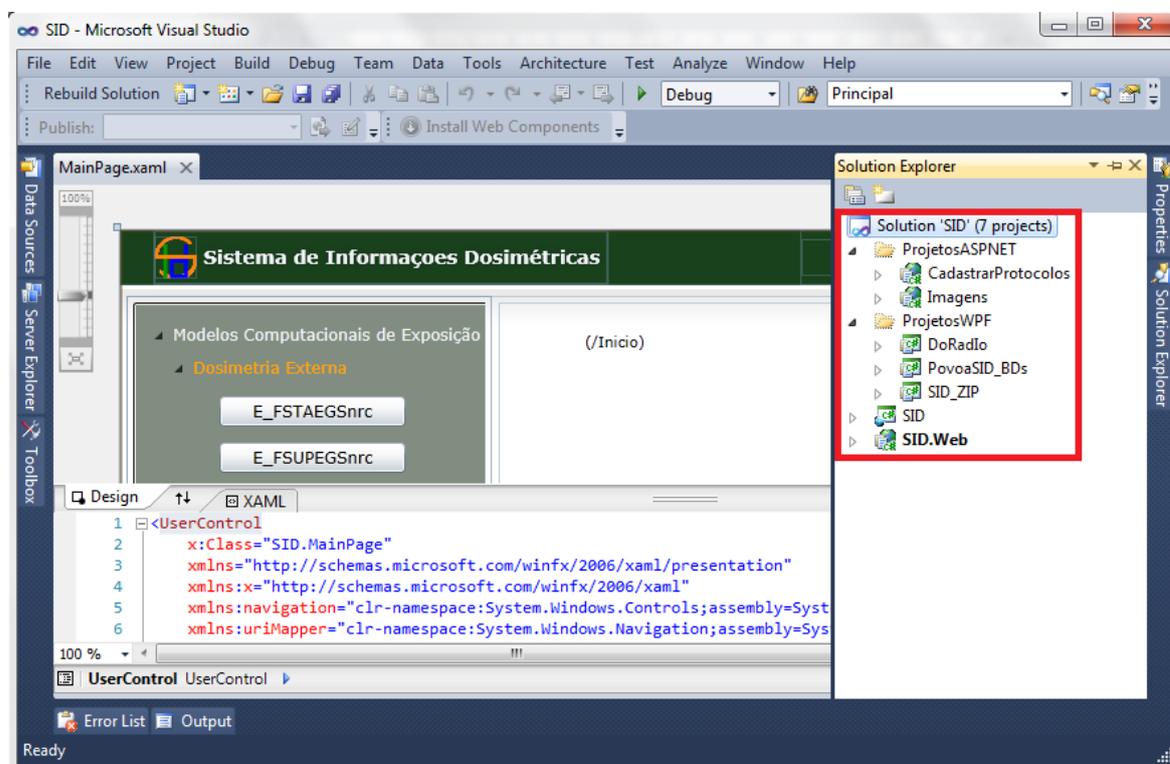
A janela principal do SID²⁹ traz um *link* para baixar a interface *DoRadio*.

3.2.3 Interfaces complementares

UIs complementares, tais como a *DoRadio*, foram implementadas de acordo com as necessidades do SID, algumas diretamente como um novo projeto na solução SID e outras desenvolvidas com outros tipos de solução e depois adicionadas ao sistema. Estas UIs foram desenvolvidas tanto em WPF quanto ASP.NET. Na Figura 68, a solução destaca 7 projetos: 3 projetos *WPF Application*, colocados na pasta *ProjetosWPF*, e 2 ASP.NET, colocados na pasta *ProjetosASPNET*, além dos projetos SID e SID.Web.

Na sequência, cada uma das UIs complementares é apresentada.

Figura 68 – Ambiente de desenvolvimento do SID com destaque para os 7 projetos da solução SID.

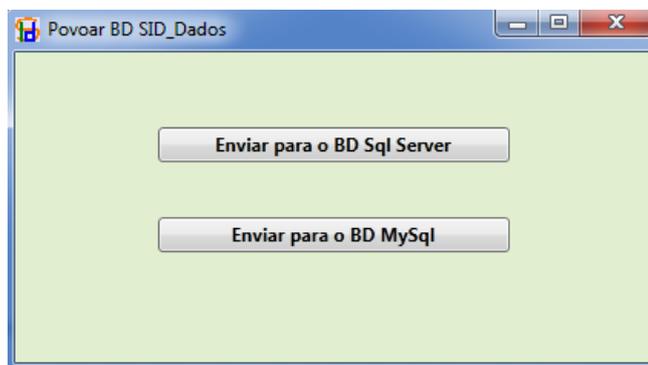


²⁹ Disponível em: <<http://www.dosimetrianumerica.org/software>> Acesso em: fev. 2013.

3.2.3.1 PovoasID_BDs

PovoasID_BDs é uma UI desenvolvida com o modelo de aplicativo MVS *WPF Application* para povoar as tabelas do BD *SID_Dados*. Com se vê na Figura 69, esta UI tem apenas dois botões: um para povoar o *SID_Dados* do SQL Server e o outro para o *SID_Dados* no MySQL.

Figura 69 – UI *PovoasID_BDs*.

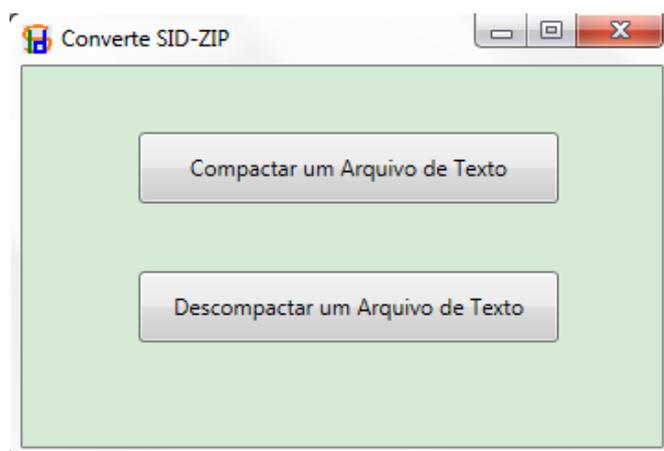


Um clique em um dos botões dispara um evento *click* que, no MySQL (*Enviar para o BD MySQL*), é codificado de acordo com a Lista 13 do apêndice A.

Nas funções manipuladoras do evento *Click* associadas aos botões da Figura 69 é realizada a conexão com o BD específico, a autenticação do usuário e o envio do arquivo de dados para a tabela a este relacionada.

3.2.3.2 SID_ZIP

A Figura 70 exibe a janela principal desta UI que está incorporada ao SID. Ela foi desenvolvida com as funções de compactação e descompactação transportadas do *software* DIP. Com esta transposição de códigos, as tarefas de compactação e descompactação são realizadas dentro do próprio ambiente SID. A Lista 14 do apêndice A exibe os códigos dos eventos *Click* associados aos botões *Compactar um Arquivo de Texto* e *Descompactar um Arquivo de Texto*.

Figura 70 – Janela principal da UI SID_ZIP.

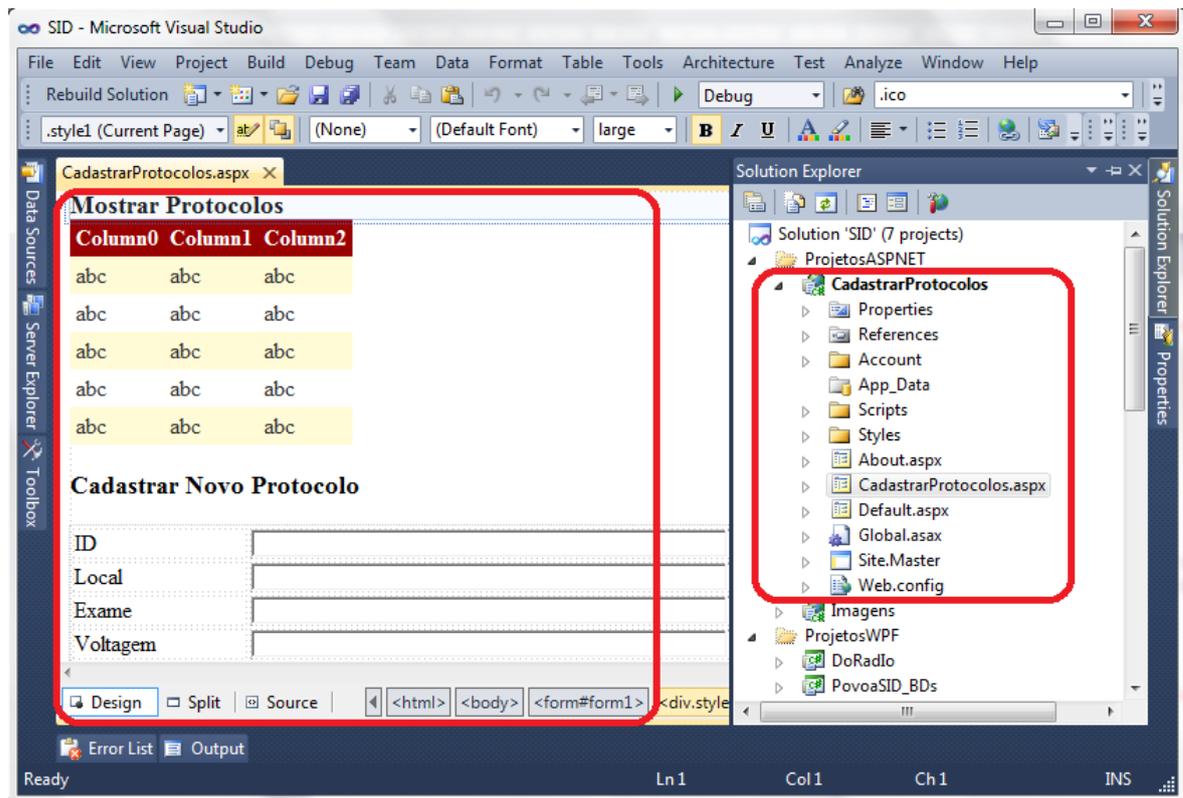
Ao clicar em um dos botões da Figura 70, a função manipuladora do evento *Click* a ele associada abre uma caixa de diálogo Windows para acesso ao respectivo arquivo, txt ou ZIP, realizando a compactação (ou descompactação), e salvando o arquivo resultante em um local do disco escolhido pelo usuário.

3.2.3.3 Cadastrar Protocolos

A UI *CadastrarProtocolos* é uma das opções para cadastrar informações sobre exames de radiodiagnóstico de tórax e abdome de diversos locais (LEAL NETO, 2007) no BD *Protocolos_Exames*. No item banco de dados deste trabalho é mostrado como foi construído este BD. A UI denominada *CadastrarProtocolos* foi contruída com o modelo de aplicativo do MVS ASP.NET. Ela pode ser hospedada no lado do servidor e fazer conexão com o BD *Protocolos_Exames*. Os dados estão numa tabela do BD denominada *Radiodiagnosticos*. A Figura 71 mostra o ambiente de *design* destacando os controles *GridView* (com a propriedade *autogeneratecolumn = true*) e *Table* (já personalizada) usados para inserir um novo exame.

Projetos similares ao da UI *CadastrarProtocolos* podem ser desenvolvidos para cadastrar informações sobre medicina nuclear, acidentes radioativos, etc.

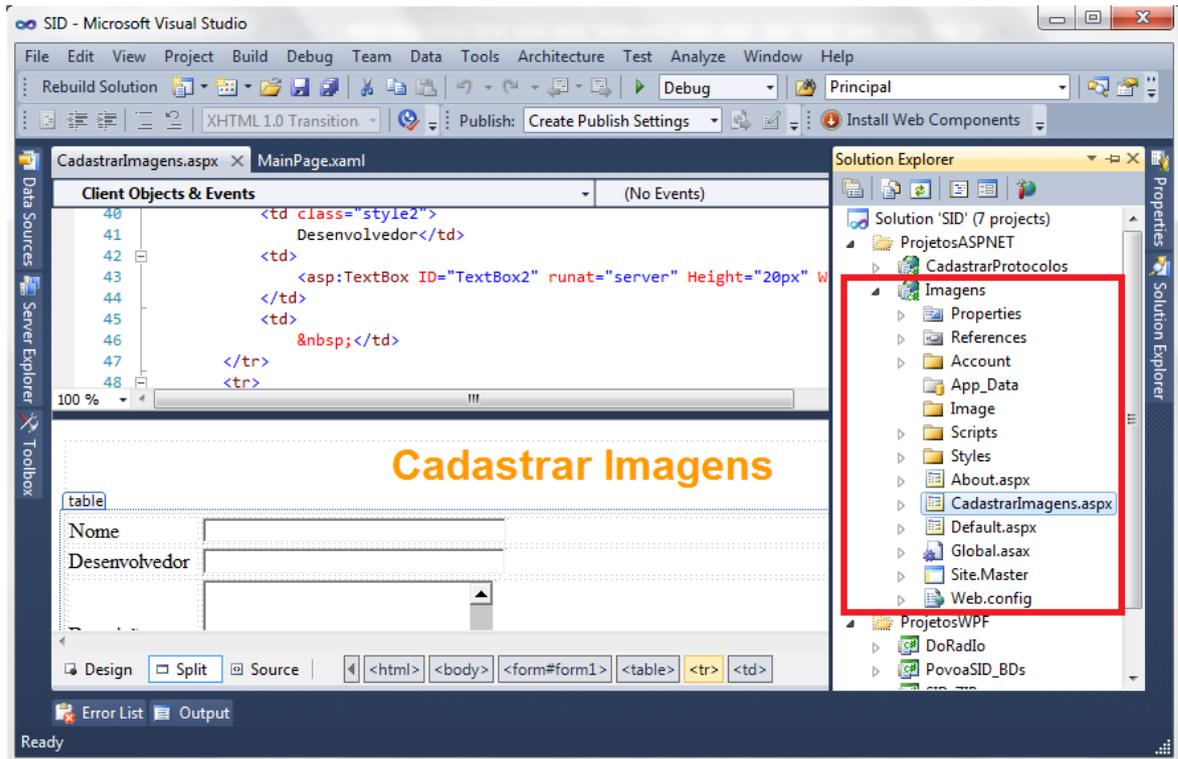
Figura 71 – Ambiente de *design* ASP.NET e na solução ‘SID’ destaque para o projeto *CadastrarProtocolos*.



3.2.3.4 Imagens

A UI *Imagem*, desenvolvida em ASP.NET, permite o armazenamento *online* de imagens de interesse para a dosimetria. As imagens são armazenadas em uma pasta hospedada no sítio do GDN. Assim, o usuário pode acessar, visualizar e baixar imagens de seu interesse. A Figura 72 apresenta o ambiente de desenvolvimento da UI *Imagens*.

Figura 72 – Ambiente de *design* e marcação ASP.NET. Na solução ‘SID’, destaque para o projeto Imagens.

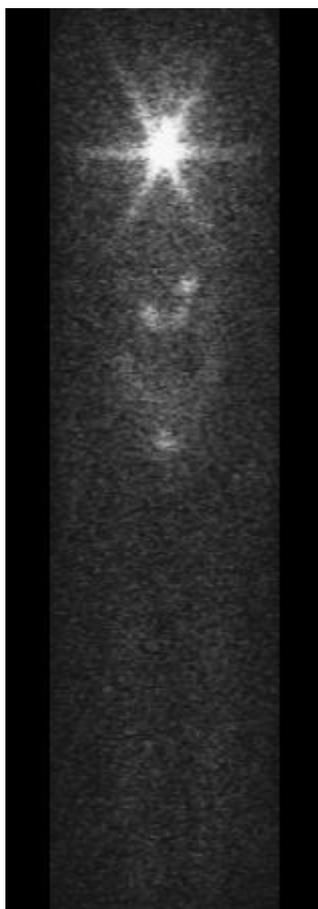


3.2.3.5 DoRadIo

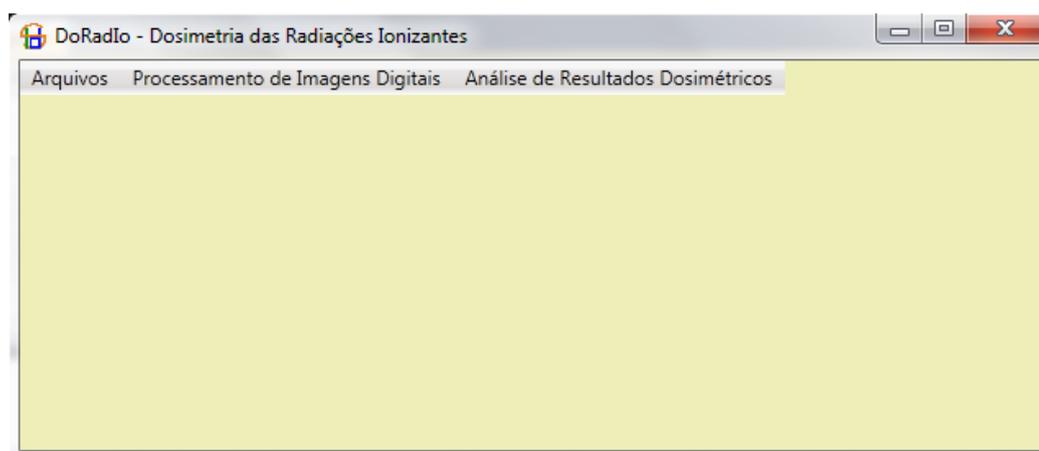
A UI *DoRadIo*, desenvolvida em *WPF Application*, organiza em *menus* e controles opções para realizar as tarefas relacionadas às estimativas da dose recebida de emissores gama internos. A barra de *menus* da janela principal possui três itens: *Arquivo*, *Processamento de Imagens Digitais* e *Análise de Resultados Dosimétricos*. O primeiro item contém as diversas tarefas computacionais relacionadas com a leitura e escrita de arquivos de texto, bem como a compactação/descompactação de arquivos. O item de processamento de imagens possui subitens que permitem realizar tarefas de seleção de regiões de interesse (*Region Of Interest - ROI*) em uma imagem e contagem de intensidade de *pixels* na ROI selecionada. O terceiro item de *menu* possui subitens relacionados com MCEs (na versão atual, apenas o MCE MSTa – conjunto de ferramentas disponíveis em <http://www.caldose.org/> e constituído por um fantoma de *voxels* (CASSOLA, 2010) representando um adulto masculino em posição ortostática acoplado ao EGSnrc – está habilitado). No subitem MSTa é possível realizar duas tarefas: uma para exibir resultados numéricos e gráficos quando os fótons são emitidos de um único órgão (fonte simples) e outra que exibe resultados similares, porém utilizando mais de uma fonte e ponderando os resultados (fonte ponderada). Para a preparação da fonte

ponderada utilizam-se imagens de medicina nuclear, por exemplo, Figura 73. De posse da imagem, definem-se ROIs onde são quantificados os pesos normalizados das fontes simuladas. Estes pesos são usados para criar o arquivo com os resultados dosimétricos ponderados a partir dos dados para as fontes simples. Em trabalho anterior (LOPES FILHO, 2007), as frações eram aplicadas ao número de histórias durante a simulação, o que resultava em erros estatísticos significativos para órgãos importantes. Por exemplo, considerando 10^7 histórias um número razoável para simulações desta natureza e supondo que haja 5 órgãos-fontes com percentuais iguais de histórias (2×10^6) é muito provável que nesta simulação ocorressem sérios erros estatísticos.

Figura 73 – Imagem de medicina nuclear (LOPES FILHO, 2007).



A Figura 74 exibe a janela principal da interface com seus menus principais.

Figura 74 – Janela principal da UI complementar *DoRadIo*.

3.3 Bancos de Dados

O SID possui 3 BDs. Dois deles são idênticos com o nome *SID_Dados*: um construído no Microsoft SQL Server 2008, para facilitar o acoplamento a ferramentas do MVS 2010, e outro construído com o MySQL, para oferecer mais uma opção de hospedagem em um provedor de internet. O *SID_Dados* possui duas tabelas denominadas *FantomasZIP* e *ResultadosDosimetricosZIP*. O terceiro BD com o nome *Protocolos_Exames* possui apenas uma tabela denominada *Radiodiagnosticos* e foi construído no MySQL. Na sequência, apresentam-se as construções dos BDs do SID e suas tabelas.

3.3.1 Construção dos BDs *SID_Dados*

No *SID_Dados* a tabela *FantomasZIP* armazena, em formato compactado, as versões mais atuais dos fantasmas adultos do DEN-UFPE: *mash3_sta.sid*; *fash3_sta.sid*; *mash3_sup.sid* e *fash3_sup.sid*. A tabela *ResultadosDosimétricosZIP* armazena resultados de simulações de dosimetria externa já produzidos pelo DEN-UFPE. Também armazena, de modo similar, resultados de dosimetria interna produzidos neste trabalho. Assim, os dados foram separados em dois campos da tabela com os nomes *ArquivoDados_DE* (Dosimetria Externa) e *ArquivoDados_DI* (Dosimetria Interna).

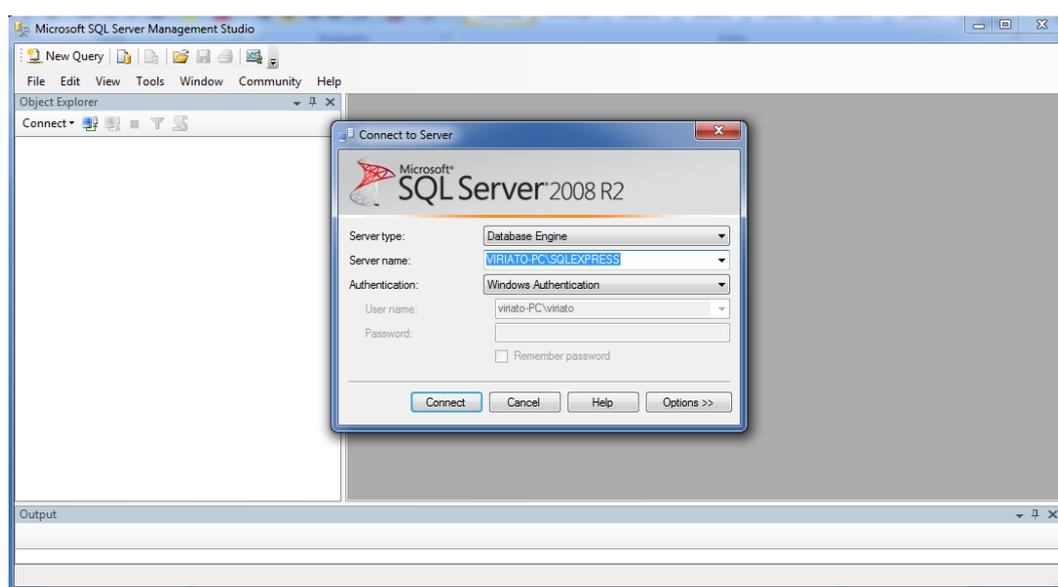
Neste trabalho a soma dos tamanhos de todos os arquivos armazenados no BD *SID_Dados* é de cerca de 30 MB. Caso não houvesse a compactação antes do armazenamento seriam necessários cerca de 690 MB.

A seguir, os itens que trazem a construção e povoamento dos BDs *SID_Dados*.

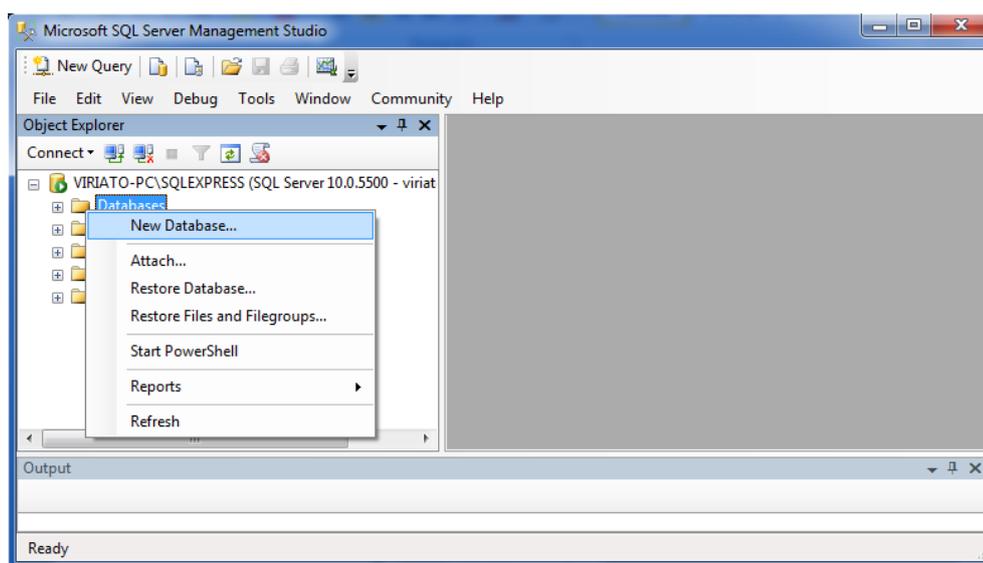
3.3.1.1 SID_Dados no MS SQL Server 2008

O primeiro passo para construção de um BD no *SQL Server* é abrir o SSMS. Feito isso é oferecida a janela secundária “*Connect to Server*” que traz algumas opções de configurações para acesso a um determinado BD. No exemplo mostrado na Figura 75, foi escolhido como tipo de servidor o *Database Engine*, instanciado em *VIRIATO-PC\SQLEXPRESS* e autenticado com *Windows Authentication*.

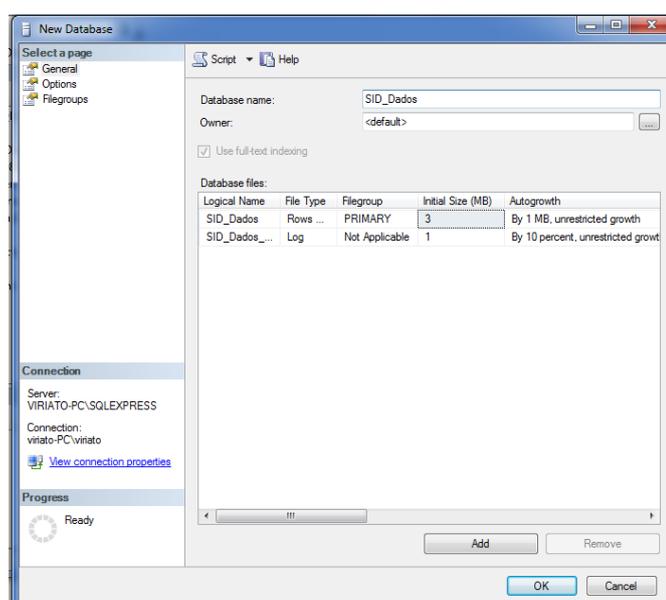
Figura 75 – Janela principal do *MSSQL Server Management Studio*.



Ao clicar no botão *Connect*, a janela apresentada na Figura 76 é carregada com a instância escolhida. Clica-se com o botão direito do *mouse* em *Databases* e seleciona-se *New Database*.

Figura 76 – Janela do *Microsoft SQL Server Management Studio* com a instância carregada.

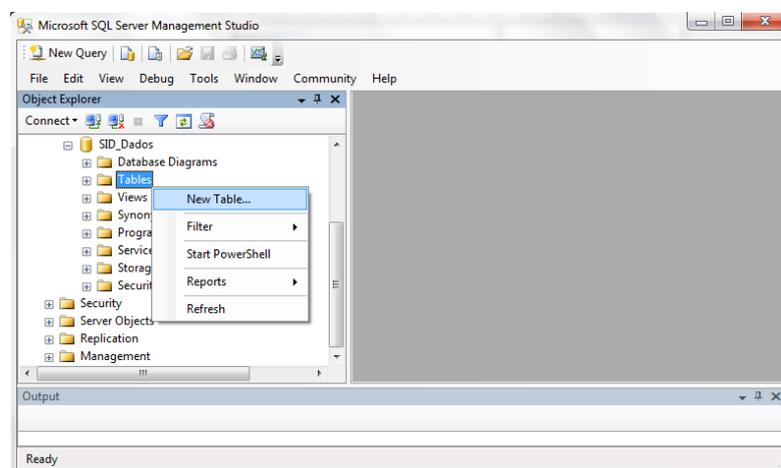
A Figura 77 apresenta a janela *New Database* onde é atribuído o nome *SID_Dados* ao BD. O padrão para o tamanho inicial do BD *SQL Server 2008* é 3 MB, com um crescimento³⁰ irrestrito de 1 MB. Portanto, não é necessário alterar o tamanho do BD, uma vez que ele crescerá de acordo com as adições de novos dados até um limite de 4 GB. Aceitam-se as configurações padrões ao clicar OK.

Figura 77 – Janela *New Database* para nomear e configurar o BD.

³⁰ Quando o mecanismo de armazenamento do *SQL Server* detecta que está ocorrendo execução fora do espaço livre do arquivo, ele aumenta automaticamente o tamanho do arquivo de acordo com a especificação *FILEGROWTH*.

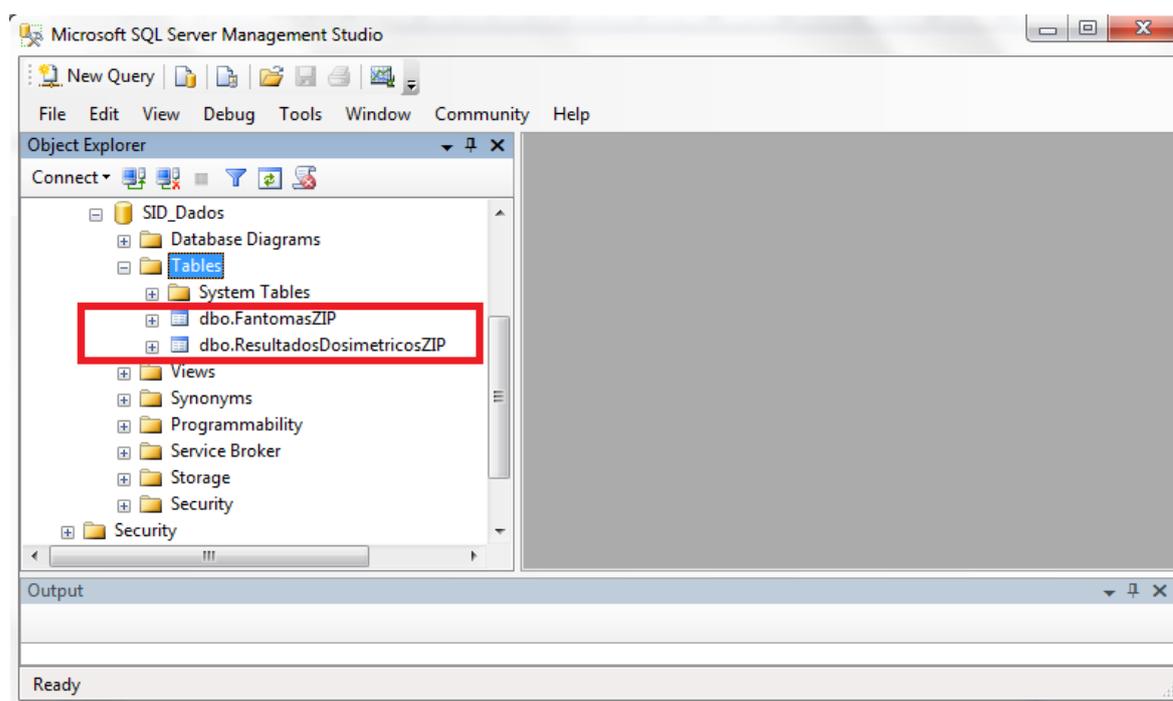
Após clicar OK aparece a janela da Figura 78. A partir desse ponto podem-se criar as tabelas do BD *SID_Dados* com os nomes e definições dos diversos campos. Clica-se com o botão direito do mouse sobre *Tables* e clica-se em *New Table*.

Figura 78 – Janela do *MS SQL Server Management Studio* com destaque para *New Table*.



Assim, foram inseridas no *SID_Dados* as duas tabelas necessárias para este trabalho: *FantomasZIP* e *ResultadosDosimetricosZIP*, destacadas na Figura 79.

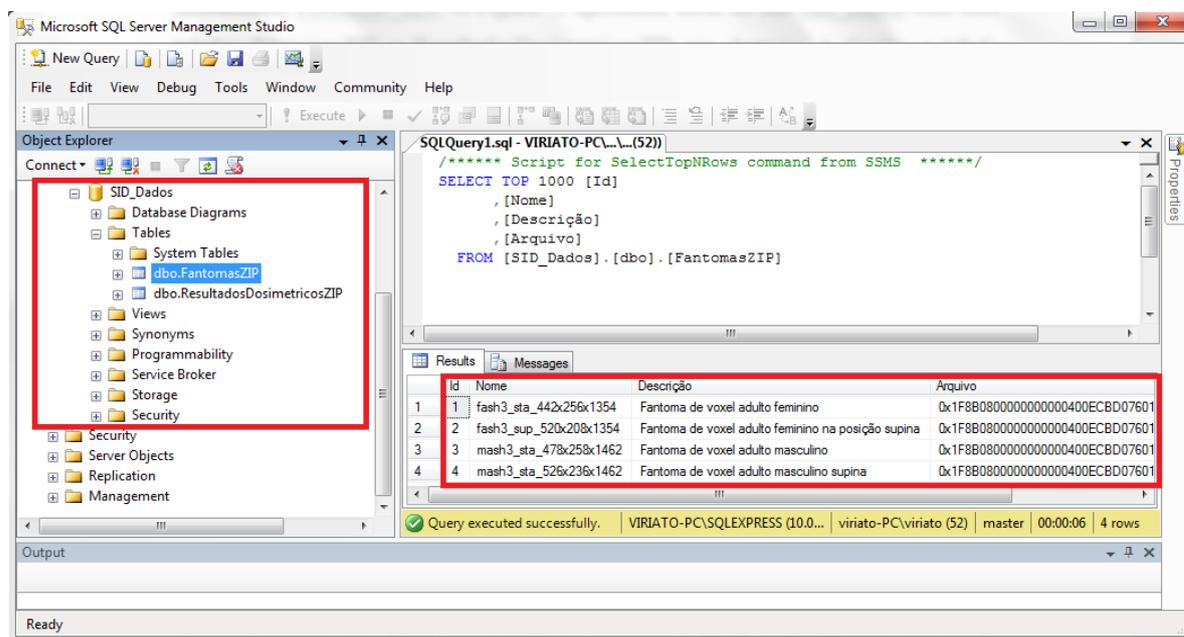
Figura 79 – Tabelas *FantomasZIP* e *ResultadosDosimetricosZIP* contidas no BD *SID_Dados*.



O povoamento das tabelas foi feito utilizando-se um software desenvolvido em WPF denominado *PovoaSID_BDs*. A Figura 80 exhibe, em destaque à esquerda, a árvore

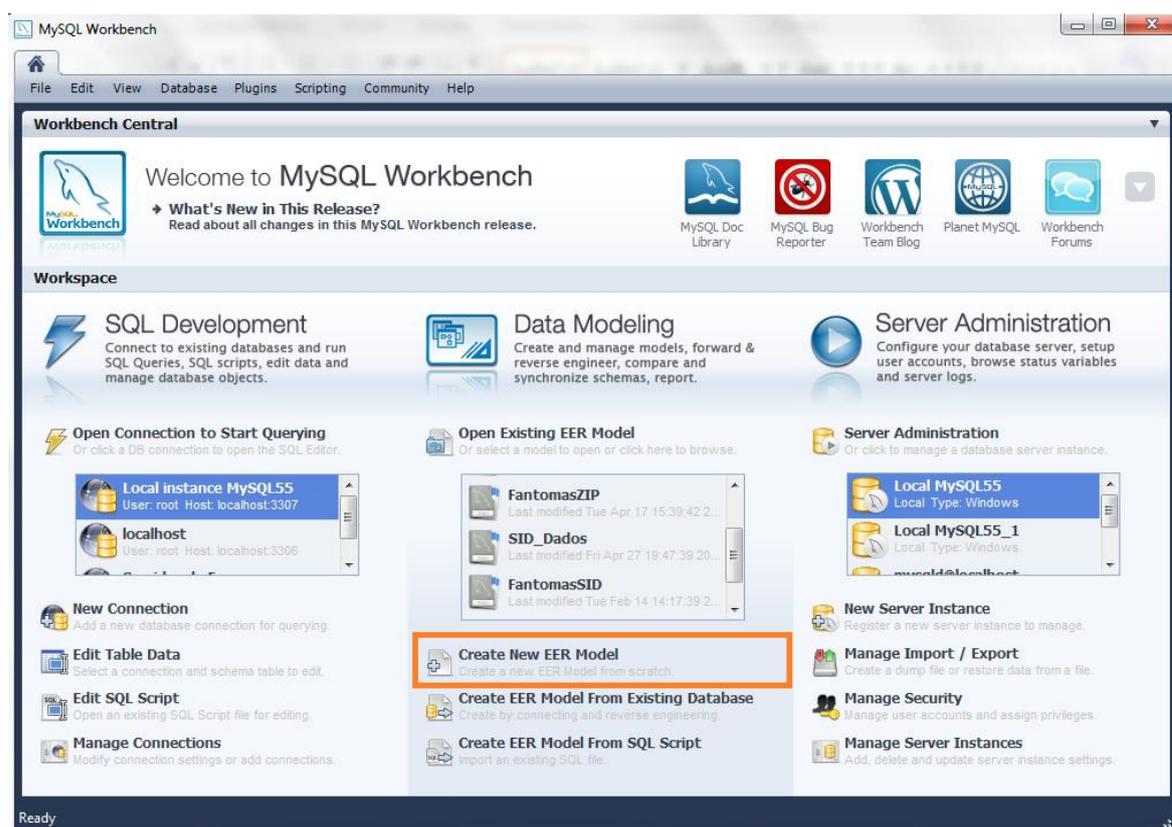
SID_Dados, com suas tabelas *FantomasZIP* e *ResultadosDosimetricosZIP*. À direita o conteúdo da tabela *FatomasZIP* é destacado.

Figura 80 – O SSMS exibindo o BD *SID_Dados* e a tabela *FantomasZIP* povoada.

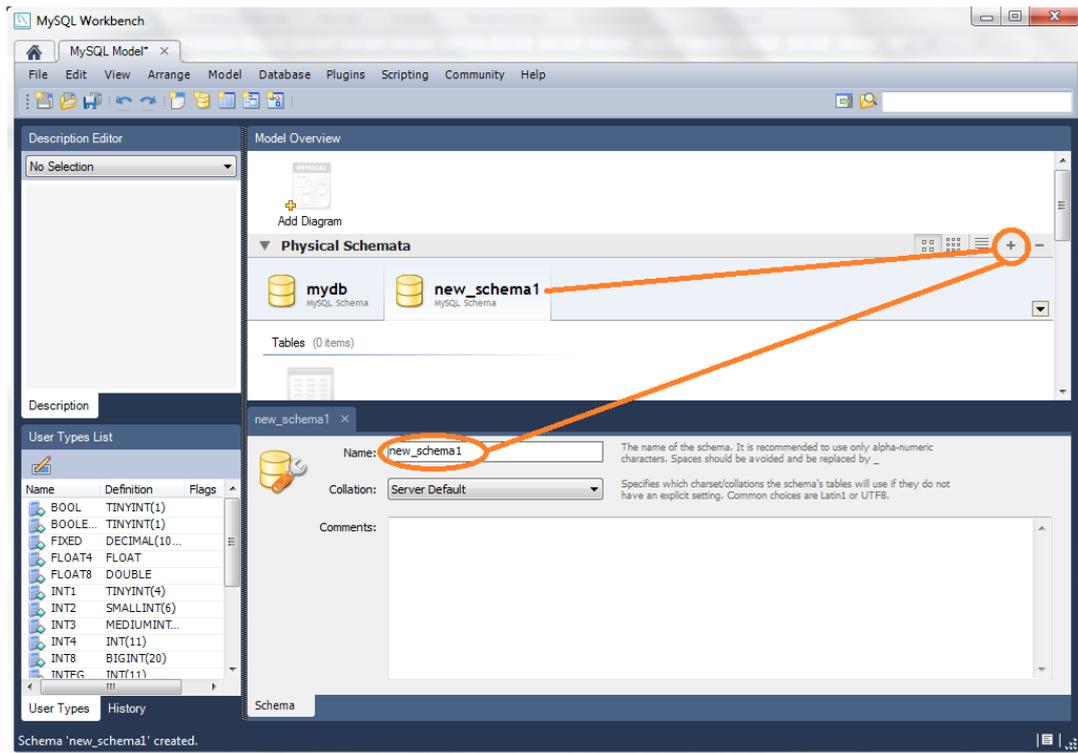


3.3.1.2 SID_Dados no MySQL

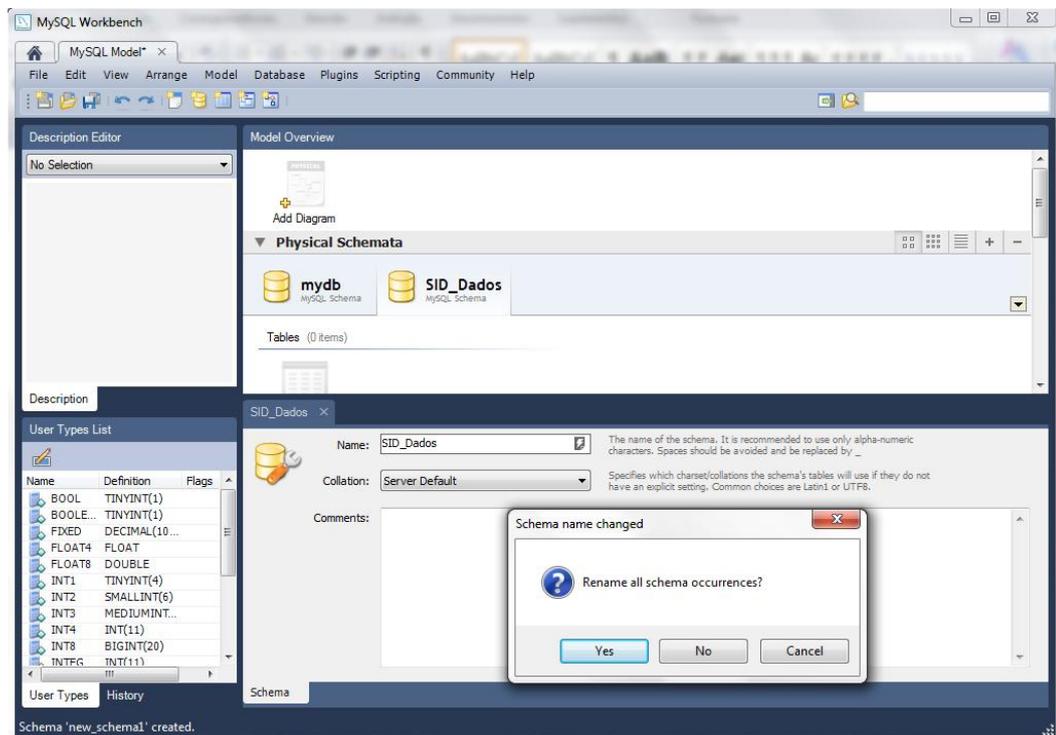
A construção do *SID_Dados* no MySQL foi similar à do *SQL Server 2008*. Para o desenvolvimento, foi utilizada a interface denominada *MySQL Workbench*, cuja janela principal é a exibida na Figura 81, obtida na página web www.MySql.com. A interface apresenta ferramentas visuais para criar, executar e otimizar consultas SQL. O painel para execução do banco de dados permite aos desenvolvedores gerenciar as conexões.

Figura 81 – Janela principal da interface do SGBD MySQL Workbench.

De modo diferente do SSMS, que antes do acesso o administrador / usuário deve definir uma instância, o *Workbench* permite o acesso e a criação do BD para só então solicitar a instanciação, que pode ser em uma instância existente ou em uma nova a ser configurada. Para iniciar a criação de um BD clica-se em “*Create New EER Model*”, em destaque na Figura 81. Como consequência desta ação surge a janela da Figura 82, onde um clique no “+” possibilita a nomeação do *SID_Dados*.

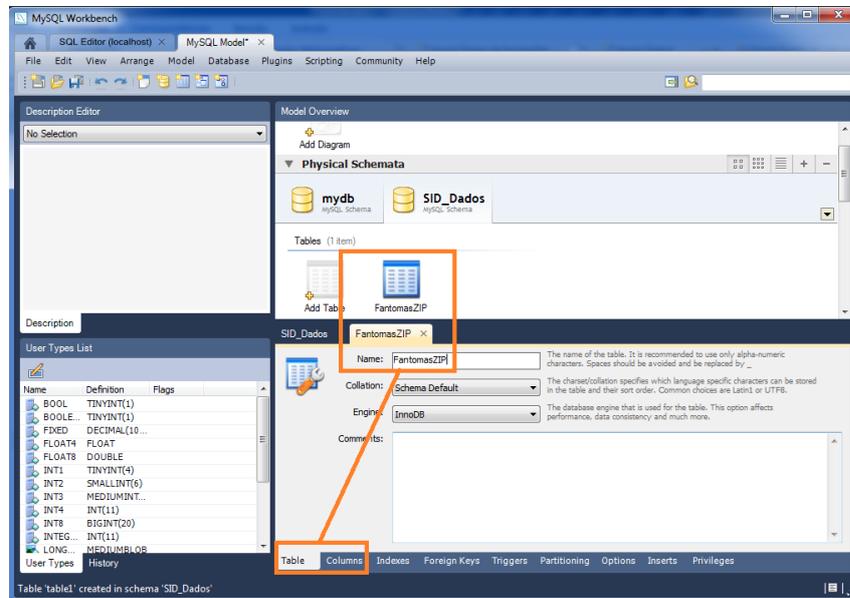
Figura 82 – Janela MySQL Model para a criação do BD *SID_Dados*.

Após a renomeação surge a janela de confirmação, Figura 83.

Figura 83 – Janela MySQL Model com a sobreposição da janela de confirmação da renomeação do BD.

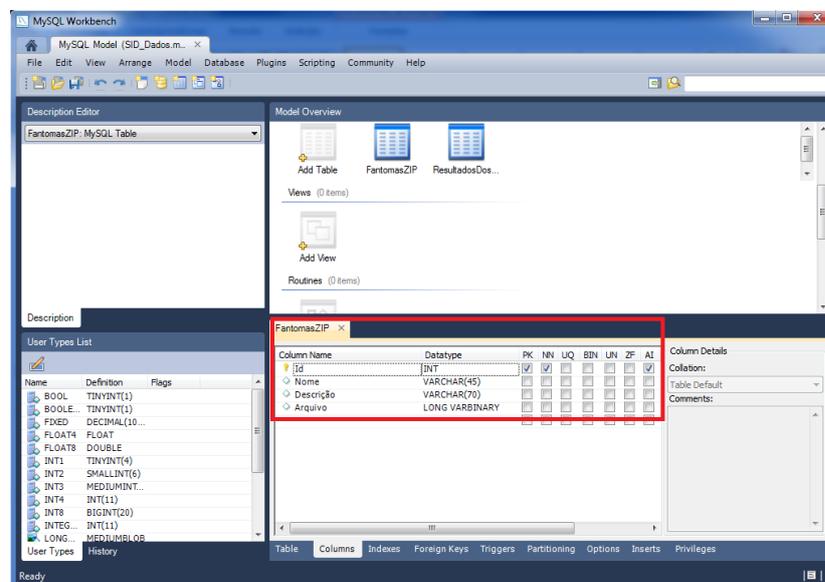
Em seguida, com a confirmação “Yes”, surge uma nova aba para as configurações das tabelas (Figura 84). Inicialmente foi configurada a tabela *FantomasZIP*.

Figura 84 – Janela MySQL Model com a nomeação da tabela *FantomasZIP*.



Depois de nomear a tabela, configuram-se suas colunas iniciando-se com um clique na aba *columns* e preenchendo os nomes, tipos, etc., (Figura 85).

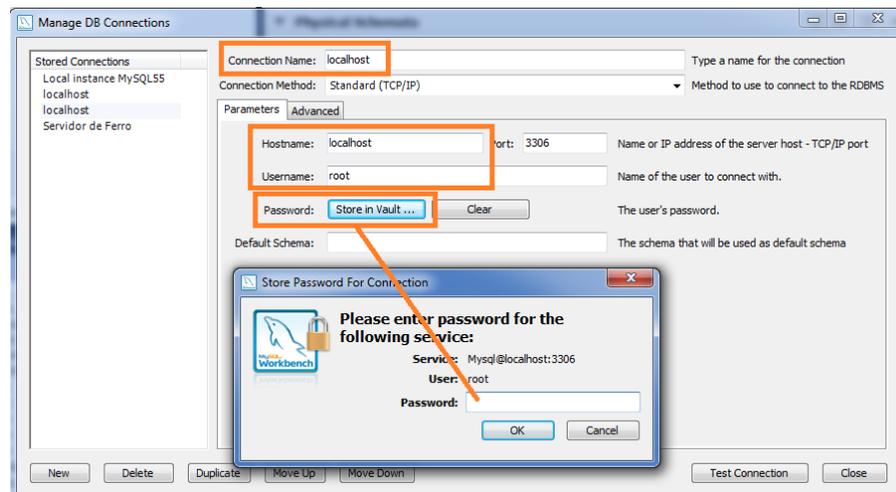
Figura 85 – Janela com destaque para a aba *columns*.



Agora o modelo é salvo e sincronizado com o servidor de BDs. Para conectar o *Workbench* ao servidor seleciona-se *Database ---> Manage Connections*. Surge a janela da

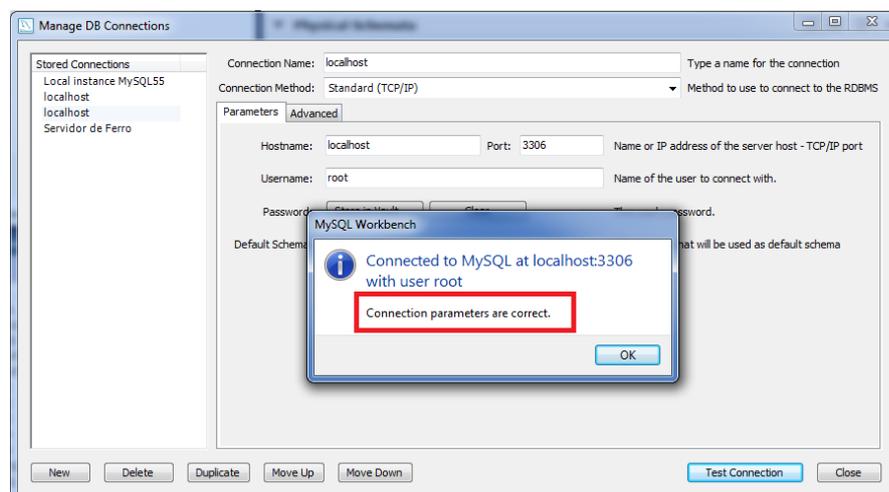
Figura 86. Na janela é possível criar uma nova instância (servidor) ou, no caso aqui, utilizar uma existente. Em destaque, na figura, os nomes da conexão, do servidor e do usuário. Clicando em “*Store in vault*” é possível colocar a senha caso o servidor assim o exija.

Figura 86 – Janela *Manage DB Connections* para as configurações de conexão com o *SID_Dados*.



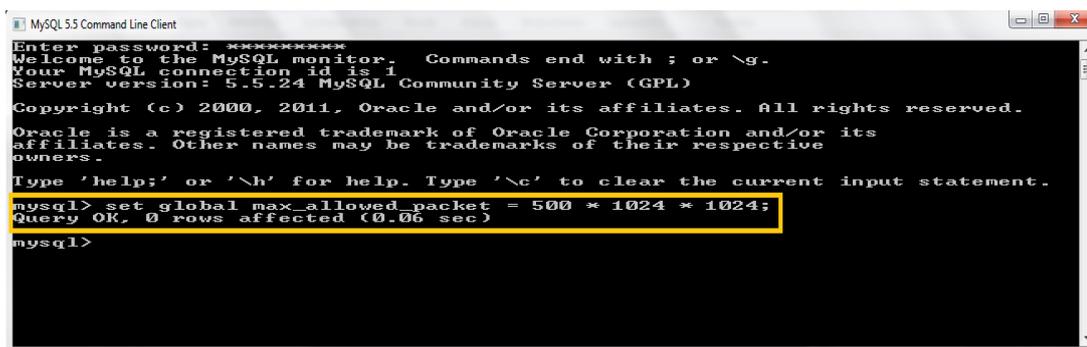
Após as configurações clica-se em *Test Connection*. Surgindo assim, a janela da Figura 87 confirmando que os parâmetros de conexão estão corretos.

Figura 87 – Janela do *MySQL Workbench* confirmando a correção dos parâmetros de conexão.



O tamanho padrão de um BD construído com a interface *MySQL Workbench* é de 1 MB. Para configurar o BD para um tamanho que possa atender às perspectivas de aumento do *SID_Dados*, configurou-se o MySQL para suportar um BD com o tamanho de 500 MB e para isso executou-se no prompt de comando do MySQL a instrução em destaque na Figura 88.

Figura 88 – Prompt de comando do MySQL com instrução para aumento de armazenamento para 500 MB.



```

MySQL 5.5 Command Line Client
Enter password: *****
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 1
Server version: 5.5.24 MySQL Community Server (GPL)

Copyright (c) 2000, 2011, Oracle and/or its affiliates. All rights reserved.

Oracle is a registered trademark of Oracle Corporation and/or its
affiliates. Other names may be trademarks of their respective
owners.

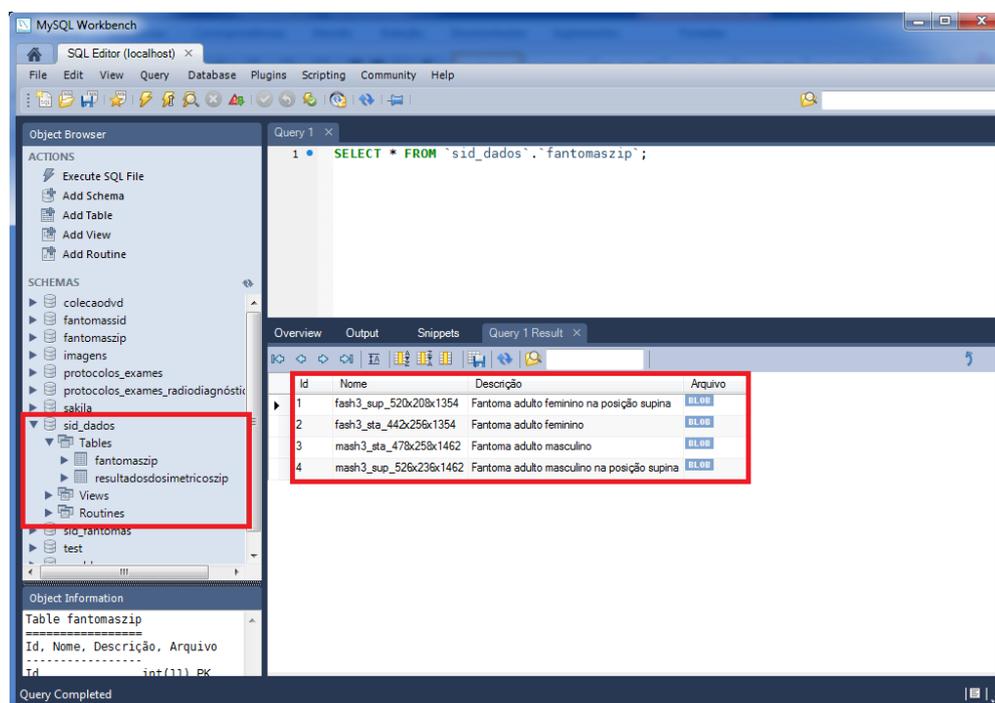
Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

mysql> set global max_allowed_packet = 500 * 1024 * 1024;
Query OK, 0 rows affected (0.06 sec)

mysql>
  
```

Assim, foram inseridas as duas tabelas necessárias para este trabalho: *FantomasZIP* e *ResultadosDosimetricosZIP*. A Figura 89 exhibe, à esquerda, as tabelas, e, à direita, o conteúdo da tabela *FantomasZIP*.

Figura 89 – BD *SID_Dados* com as tabelas *FantomasZIP* e *ResultadosDosimetricos*. Destaque para o conteúdo da tabela *FantomasZIP*.



The screenshot shows the MySQL Workbench interface. On the left, the Object Browser displays the database structure, with the 'sid_dados' database selected and its tables listed. The 'fantomaszip' table is highlighted. In the center, the SQL Editor shows the query: `SELECT * FROM 'sid_dados'.'fantomaszip';`. On the right, the Query Results pane displays the following data:

Id	Nome	Descrição	Arquivo
1	fash3_sup_520x208x1354	Fantoma adulto feminino na posição supina	BL08
2	fash3_sta_442x256x1354	Fantoma adulto feminino	BL08
3	mash3_sta_478x258x1462	Fantoma adulto masculino	BL08
4	mash3_sup_526x236x1462	Fantoma adulto masculino na posição supina	BL08

3.3.2 Construção do BD *Protocolos_Exames*

Como já foi destacado, o BD *Protocolos_Exames* foi construído apenas no MySQL e também utilizou-se o software *MySQL Workbench*. A Figura 90 apresenta o BD *Protocolos_Exames* e a tabela *Radiodiagnosticos*. A tabela está preenchida com resultados de

pesquisas para parâmetros de exames de radiodiagnóstico no documento elaborado pelo projeto *DIMOND III* da *European Commission* (DIMOND, 2013) e com dados coletados por Leal Neto (2007).

Figura 90 – BD *Protocolos_Exames* com a tabela *Radiodiagnosticos*. Destaque para o conteúdo da tabela.

Query 1 Result:

Id	Local	Exame	Tensão (kV)	Foco (mm)	Filtragem Total (mm Al)	DistFocoFilme (cm)	IntDistFocoFilme (cm)	ControleAutomExposição	TempoExposição (ms)
1	EUA	Abdome	90	1.50	3	116	100	Exposição Central ou Lateral	200
2	BKT (Ábânia)/Trier (Alemanha)	Abdome	85	1.00	3	115	115	Exposição Central ou Lateral	200
3	Innsbruck (Austria)	Abdome	90	2.00	3	120	100	Exposição Central e Lateral	NULL
4	Atenas (Grécia)	Abdome	75	2.00	3	110	25	Três Exposições	200
5	Madrid (Espanha)	Abdome	64	1.00	NULL	NULL	90	Três Exposições	200
6	Limerk (Irlanda)	Abdome	77	NULL	1	100	NULL	Exposição Central ou Lateral	83
7	NewCastle (UK)	Abdome	80	1.00	1	100	100	Ambas as Exposições Laterais	200
8	Recife (Brasil)	Abdome	110	2.00	3	120	100	Três Exposições	150

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foram desenvolvidos e implementados métodos que permitiram a execução de MCEs, a organização e apresentação de dados relacionados tanto à dosimetria externa quanto interna. Artigo publicado sobre a fonte externa planar (LEAL NETO, 2008) foi apresentado na revisão da literatura. No caso da dosimetria interna apresenta-se o *software DoRadio* que traz resultados gráficos e numéricos obtidos de simulações MC e ponderados para diversos órgãos-fontes. Além disso, o trabalho buscou utilizar diversas ferramentas computacionais de última geração para oferecer aos usuários, que lidam com as radiações ionizantes, facilidade na obtenção dos conhecimentos produzidos e disponibilizados.

O sistema de informações dosimétricas apresenta diversos dados importantes para a dosimetria numérica (textos, fantasmas, imagens, tabelas). Também foram desenvolvidos e implementados diversos métodos referentes às estimativas de dose externa e interna.

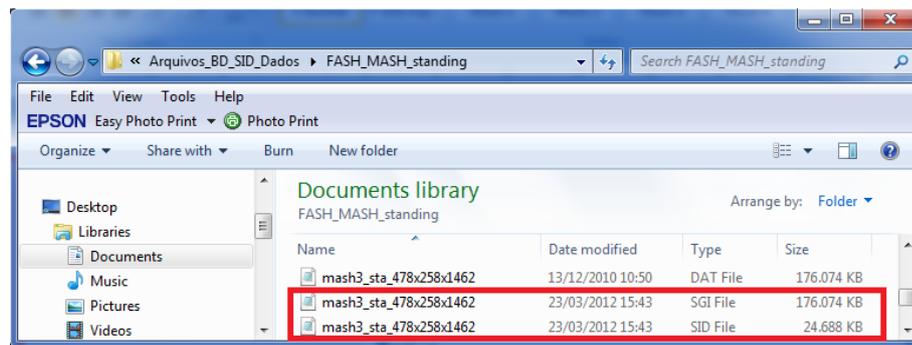
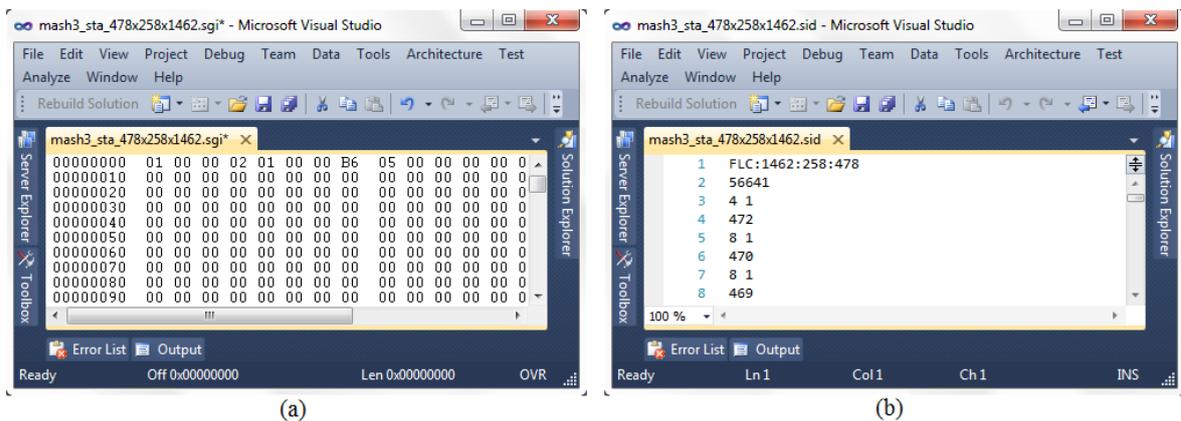
Nos itens e subitens a seguir apresentam-se diversos resultados relevantes obtidos, acompanhados dos devidos comentários. Inicia-se com os relativos às leituras e conversões de arquivos, suas compactações e descompactações, seguindo-se pelas funcionalidades e ferramentas da UI principal, continuando com as funcionalidades e ferramentas das UI complementares e, finalmente, com os BDs disponibilizados.

4.1 Conversão, tamanho e formato de arquivos

Neste subitem são descritas as conversões, compactações e descompactações de arquivos.

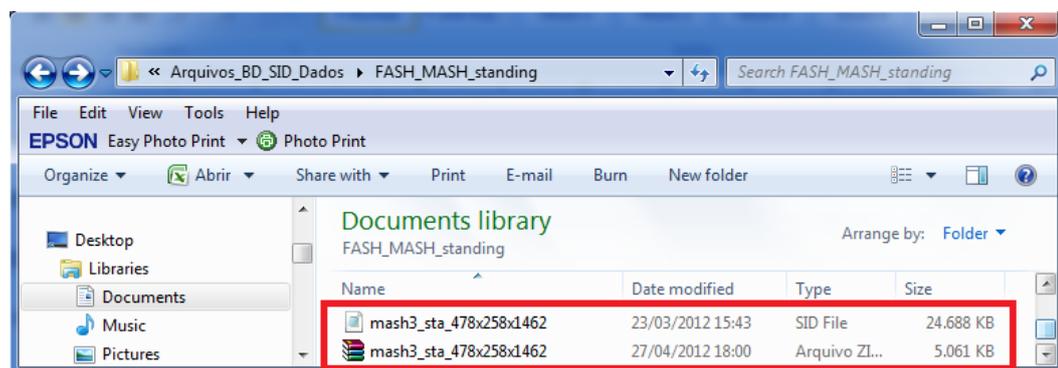
4.1.1 A Conversão RAW para SID

As contribuições da conversão de arquivos RAW para SID produz arquivos menores no que diz respeito ao armazenamento em disco, além de tornar possível o entendimento do seu interior pelo usuário, uma vez que é do tipo texto. A Figura 91 apresenta em destaque a diferença de tamanho do formato SGI (binário) para o formato SID (texto), ou seja, 176074 KB contra 24668 KB. A Figura 92(a) apresenta o interior do arquivo *MASH3_sta.SGI* e a Figura 92(b) o *MASH3_sta.SID*.

Figura 91 – Tamanhos dos arquivos do fantoma *MASH3_sta* nos formatos SGI e SID.**Figura 92 – (a) Fragmento do arquivo *MASH3_sta.SGI* e (b) Fragmento do arquivo *MASH3_sta.SID*.**

4.1.2 Compactação e descompactação

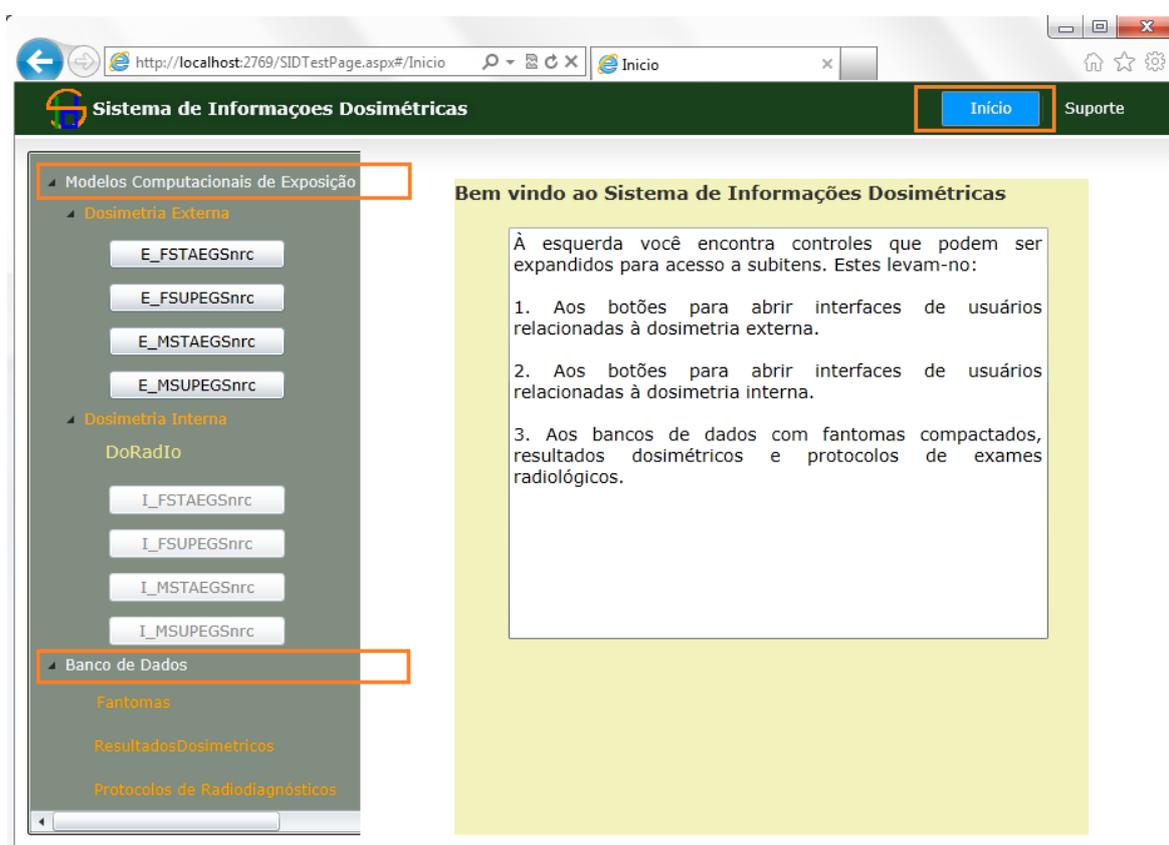
Mesmo com a considerável redução do tamanho dos arquivos dos fantasmas que foi implementada com as mudanças do formato RAW para TXT, também se pensou na compactação como mais uma contribuição para o armazenamento, transporte e manipulação destes arquivos. A Figura 93 destaca o arquivo *MASH3_sta.SID* com um tamanho de 24.688 KB e o *MASH3_sta.ZIP* com 5.061 KB.

Figura 93 – Arquivos do fantoma *MASH3_sta* nos formatos SID e ZIP.

4.2 Ferramentas disponibilizadas na interface principal do SID

Este subitem apresenta e comenta as funcionalidades e resultados obtidos com o uso dos controles contidos na interface principal do SID. A Figura 94 exibe a UI com destaque para o *menu Início*, que traz uma saudação ao usuário e orientação para acesso a controles e conteúdos. A interface apresenta dois controles principais destacados: um denominado *Modelos Computacionais de Exposição*, que contém dois controles, *Dosimetria Externa* e *Dosimetria Interna*; outro, denominado *Banco de Dados*, que contém três controles, *Fantomas*, *Resultados Dosimétricos* e *Protocolos de Radiodiagnósticos*. Na sequência, os resultados e a discussão são apresentados.

Figura 94 – Interface principal do SID.



4.2.1 Modelos computacionais de exposição

Os MCEs utilizados para produzir os dados armazenados nos BDs do SID foram desenvolvidos no DEN-UFPE para dosimetria externa e/ou interna. Alguns destes foram modificados para o presente trabalho. O SID também possui ferramentas computacionais para automatizar a criação de alguns arquivos de entrada dos MCEs. Na sequência deste tópico, é

apresentado o modo como produzir um destes arquivos de entrada para dosimetria externa. No *software DoRadIo*, também apresentado em detalhe neste capítulo, foram concentradas algumas ferramentas úteis para dosimetria interna.

A interface mostrada na Figura 95 é usada para criar um dos arquivos de entrada mais importantes para o usuário que realiza simulações de dosimetria externa. Para acessá-la, clica-se no botão *E_FSTAEGSnrc*, contido na árvore *Dosimetria Externa*. Nela é possível escolher uma das 13 fontes disponíveis, no caso do exemplo a fonte foi a número 2. Ao escolher a fonte, várias caixas de texto da UI são preenchidas com valores padrões. Em seguida, têm duas opções para a energia da fonte: uma para escolher entre 44 espectros de radiodiagnóstico disponíveis e outra para um espectro teórico de n valores de energias, onde o usuário poderá aceitar a lista padrão exibida na Figura ou digitar valores personalizados. Para o número de histórias, tipo de partícula, energia de corte para elétrons, energia de corte para fótons e peso da partícula, deixou-se o padrão. Ao clicar seguidamente em *Calcular e Mostrar Resultado*, e *Salvar Expo.egsinp*. Obtém-se o arquivo exibido na Figura 96.

Figura 95 – Janela para criar o input do MCE FASH/EGSnrc.

Localização da Fonte			Dimensões do Campo	
x (cm)	y (cm)	z (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)
26,64	10000,00	81,36	53,28	162,72

Energia da Fonte

Espectros de Energias Conjunto de Energias (keV) Separadas por um Espaço

10 15 20 30 40 50 60 70 80 100 150 200 300 500 1000 2000 3000 6000

Nº de Histórias	Tipo de Partícula	Energia de Corte para Elétrons (keV)	Energia de Corte para Fótons (keV)	Peso da Partícula
1E7	0	20	2	1

Calcular e Mostrar Resultados...
 Salvar Expo.egsinp...
 Cancel

Figura 96 – Arquivo .egsinp para entrada de uma simulação exemplo.

```

ExpoInput_FASH_PA - Notepad
File Edit Format View Help
Dados de entrada para o MCE EGSNRC/FSTA_MICR0160 em exposições externas com o campo centrado no eixo da fonte
micro
Dimensoes dos voxels (cm): 0.12 0.12 0.12
19
Fonte usada: Paralela, Posterior_Anterior
XS,YS,ZS,FW, FH,RQ,YIQ : 26.64 10000.00 81.36 53.28 162.72 2000.00 1.00
NTIM,IGE,NSPEC,EIN,NG,NUM: 10000000 2 0 10 5 8 3 8 1 88 1 1 0 1
IQ,ECT,PCT,WT,EC6,7,10,11: 0 20 2 1.00 5 5 5 5 5 0.60 0.70 0.25 0.48 0.38 35.0
Resultados no arquivo :FSTA_1E7

Fonte usada: Paralela, Posterior_Anterior
XS,YS,ZS,FW, FH,RQ,YIQ : 26.64 10000.00 81.36 53.28 162.72 2000.00 1.00
NTIM,IGE,NSPEC,EIN,NG,NUM: 10000000 2 0 15 5 8 3 8 1 88 1 1 0 1
IQ,ECT,PCT,WT,EC6,7,10,11: 0 20 2 1.00 5 5 5 5 5 0.60 0.70 0.25 0.48 0.38 35.0
Resultados no arquivo :FSTA_1E7

Fonte usada: Paralela, Posterior_Anterior
XS,YS,ZS,FW, FH,RQ,YIQ : 26.64 10000.00 81.36 53.28 162.72 2000.00 1.00
NTIM,IGE,NSPEC,EIN,NG,NUM: 10000000 2 0 20 5 8 3 8 1 88 1 1 0 1
IQ,ECT,PCT,WT,EC6,7,10,11: 0 20 2 1.00 5 5 5 5 5 0.60 0.70 0.25 0.48 0.38 35.0
Resultados no arquivo :FSTA_1E7

```

A Figura 96 apresenta, parcialmente, um dos arquivos de usuário necessários para se realizar uma simulação com um MCE Fantoma/EGSnrc. No caso do fragmento, o fantoma é o FASH e é possível visualizar, em destaque, o total de energias simuladas (19) e três destas energias: 10, 15 e 20 keV.

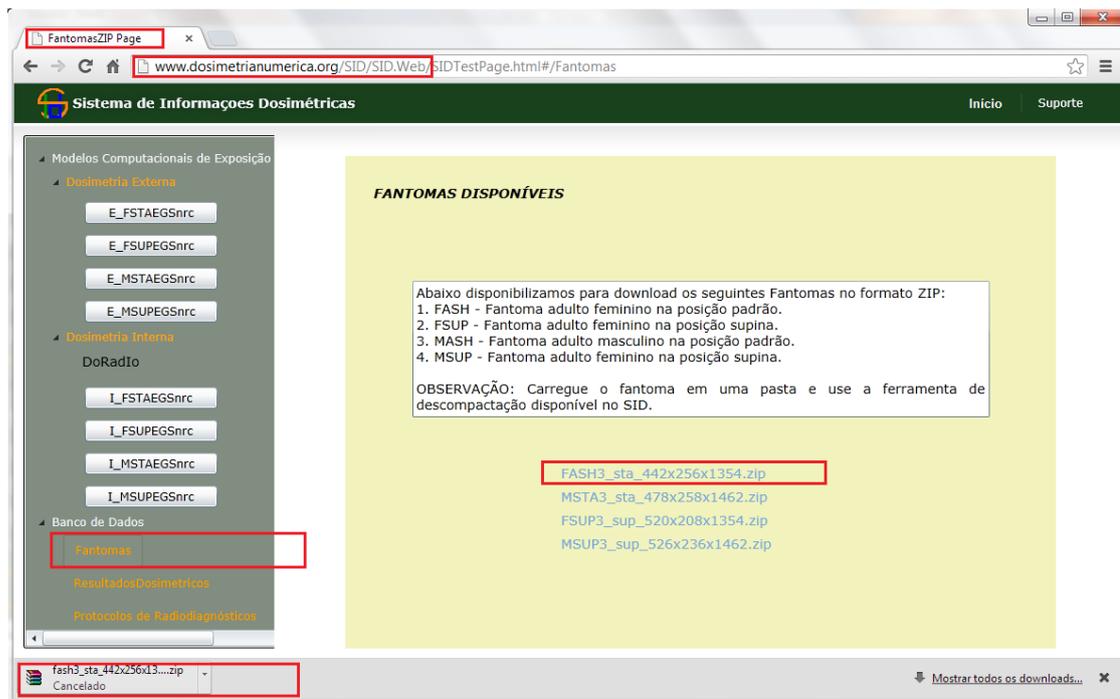
O usuário pode definir todos os parâmetros de entrada, tanto para novas simulações com o MCE FASH/EGSnrc, quanto para os outros MCE disponibilizados nos demais botões da árvore da Figura 94.

4.2.2 Bancos de dados

Neste item, apresentam-se os resultados relativos aos BDs SID_Dados e Protocolos de Radiodiagnóstico que o usuário pode obter *online* utilizando a interface do SID.

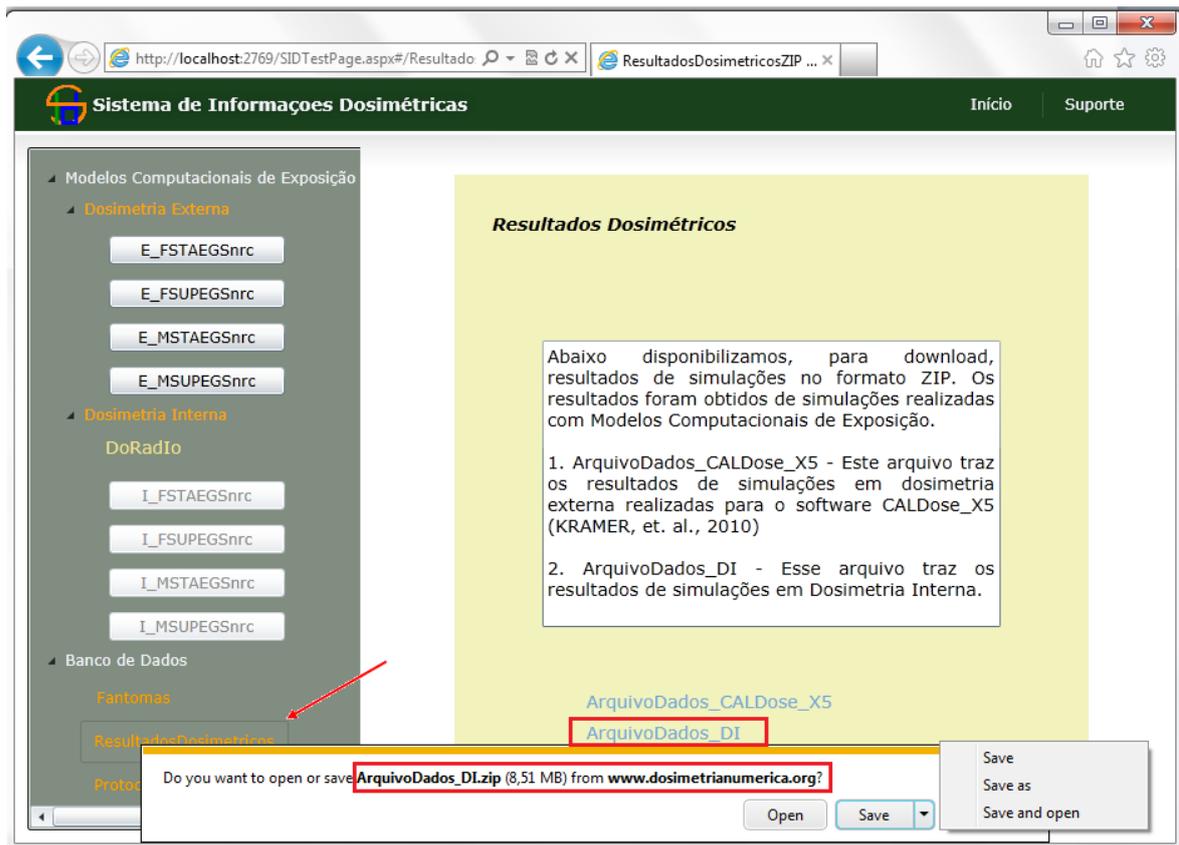
4.2.2.1 Fantomas

O controle *Fantomas* é um *HiperlinkButton*. Ao clicar sobre ele, é carregada uma *Silverlight Page* com o título *FantomasZIP*, Figura 97, que permite selecionar e baixar arquivos compactados de fantomas. Para baixar, por exemplo, o *FASH3_sta_442x256x1354.zip*, dá-se um clique sobre o arquivo e a conclusão da tarefa é realizada pelo navegador utilizado, que no caso da Figura 97 foi o *Chrome*.

Figura 97 – Janela FANTOMAS DISPONÍVEIS para baixar fantomas compactados.

4.2.2.2 Resultados Dosimétricos

O controle *Resultados Dosimétricos* também é um *HiperlinkButton*. Ao clicar sobre ele, é carregada uma *Silverlight Page* com o título *ResultadosDosimetricos.ZIP*, Figura 98, que permite selecionar e baixar resultados dosimétricos em arquivos de texto compactados. Para baixar, por exemplo, o arquivo *ArquivoDados_DI* dá-se um clique sobre o arquivo e no rodapé da janela (navegador *Internet Explorer*) é possível visualizar o arquivo e seu tamanho em MB. Do modo como está, o usuário terá acesso a todo o conteúdo dos arquivos. Porém a intenção é que os *hiperlinks* da Figura 98 dêem acesso a uma janela secundária onde o usuário terá de especificar os parâmetros da simulação que lhe interessa.

Figura 98 – Janela com resultados dosimétricos disponíveis em arquivos de texto compactados.

4.2.2.3 Protocolos de radiodiagnóstico

Para o BD *Protocolos de Radiodiagnóstico* planejaram-se diversas tabelas com protocolos de exames de radiodiagnóstico e medicina nuclear. Aqui é apresentada a tabela *Radiodiagnosticos*, com dados obtidos do documento elaborado pelo projeto *DIMOND III* da *European Commission* (DIMOND, 2013) e outros dados obtidos de clínicas e hospitais de Recife-PE (LEAL NETO, 2007). A Figura 99 apresenta a tabela disponibilizada ao usuário do sistema.

Figura 99 – Janela com a tabela *Radiodiagnosticos* que traz parâmetros de exames de tórax e abdome.

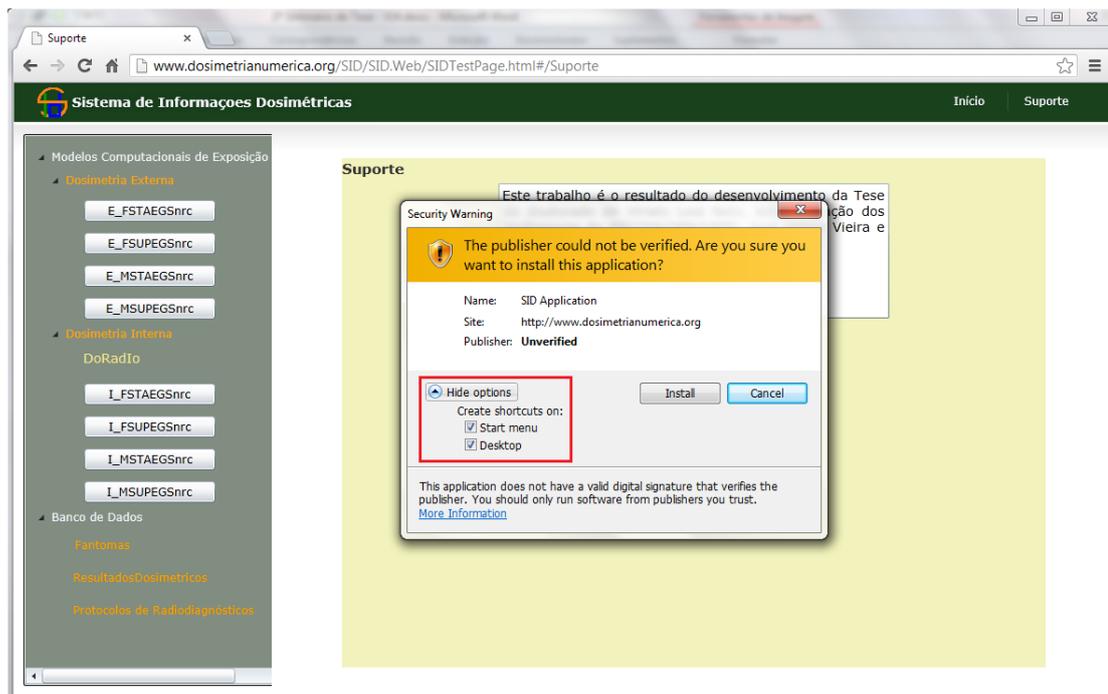
The screenshot displays the 'Sistema de Informações Dosimétricas' web application. The left sidebar contains navigation options under 'Modelos Computacionais de Exposição', including 'Dosimetria Externa' (E_FSTAEGSnrc, E_FSUPEGSnrc, E_MSTAEGSnrc, E_MSUPEGSnrc) and 'Dosimetria Interna' (DoRadio: I_FSTAEGSnrc, I_FSUPEGSnrc, I_MSTAEGSnrc, I_MSUPEGSnrc). The 'Banco de Dados' section includes 'Funções' and 'Consultas/Consultas', with 'Protocolos de Radiodiagnóstico' highlighted by a red rectangle.

The main content area, titled 'Parâmetros de exames de radiodiagnóstico', contains a table with the following data:

Id	Local	Exame	Tensão (kV)	Foco (mm)	Filtragem Total (mm Al)	Dist Foco Filme (cm)	Int Dis
1	EUA	Abdome	90	1.50	3	116	100
2	BKT (Albânia)/Trier (Alemanha)	Abdome	85	1.00	3	115	115
3	Innsbruck (Austria)	Abdome	90	2.00	3	120	100
4	Atenas (Grécia)	Abdome	75	2.00	3	110	25
5	Madrid (Espanha)	Abdome	64	1.00			90
6	Limerik (Irlanda)	Abdome	77		1	100	
7	New Castle (UK)	Abdome	80	1.00	1	100	100

4.2.2.4 SID no desktop

Todas as funcionalidades da UI principal do SID apresentadas na Figura 94, acessada diretamente no sítio do GDN, podem ser carregadas pelo usuário para o *desktop*. Para isso, o usuário deve clicar com o botão direito do mouse sobre a janela e clicar em “*Install SID Application onto this computer*” para receber do sistema a janela *Security Warning* com as opções de instalar um atalho no *menu* Iniciar e/ou no *Desktop*. A Figura 100 apresenta, em destaque, essas opções.

Figura 100 – Janela *Security Warning* com as opções para atalhos no *Start menu* e no *Desktop*.

Ao clicar em *Install* na Figura 100 é carregada a janela principal do SID como exibido na Figura 101. Os ícones para os atalhos são instanciados automaticamente no *menu* Iniciar e *desktop* e exibidos nas (Figura 102(a) e Figura 102(b)), respectivamente.

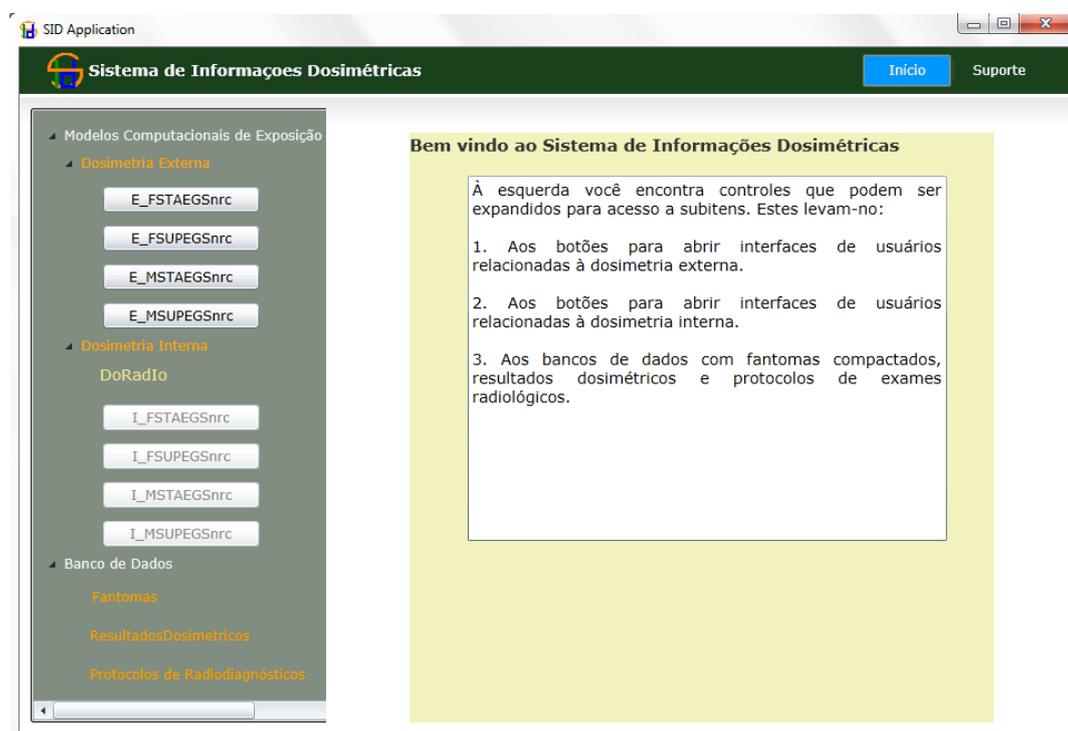
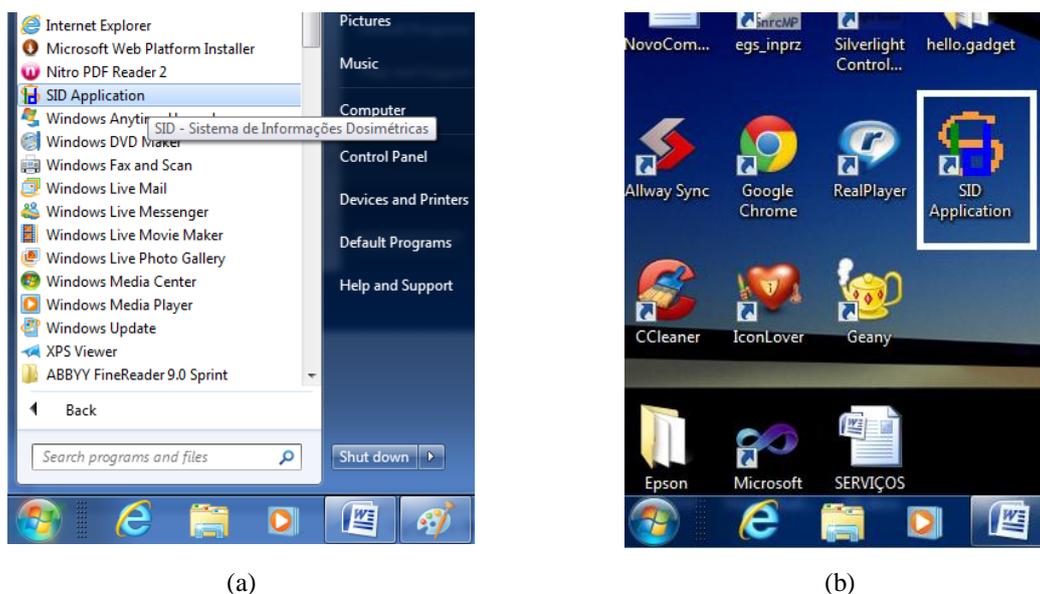
Figura 101 – Janela apresentada pelo SID na instalação *Desktop*.

Figura 102 – Ícone do SID dos atalhos no *menu Iniciar* (a) e no *Desktop* (b).

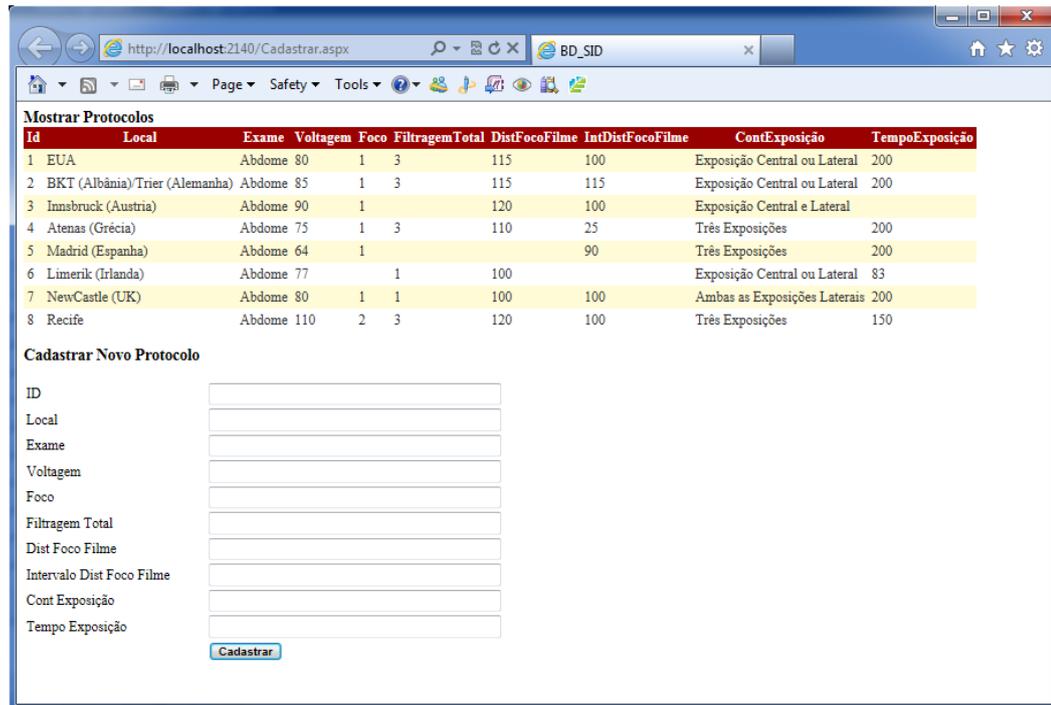
4.3 Funcionalidades das Interfaces Complementares

O sistema conta com 5 UIs complementares. As UIs *PovoarSID_BDs* e *SID_ZIP* apresentaram suas funcionalidades em resultados relativos a itens anteriores. Portanto, aqui são apresentados os resultados das UIs *CadastrarProtocolos*, *Imagens* e *DoRadio*.

4.3.1 Cadastrar protocolos

A UI *CadastrarProtocolos*, desenvolvida em ASP.NET, permite ao administrador do SID povoar *on line* a tabela *Radiodiagnosticos* do BD *ProtocolosExames*. A Figura 103, mostra a janela principal para cadastrar um protocolo de um novo local pelo administrador do sistema.

Figura 103 – Janela disponibilizada ao administrador para atualizações da tabela Radiodiagnósticos.



The screenshot shows a web browser window with the URL `http://localhost:2140/Cadastrar.aspx`. The page title is "BD_SID". The main content area is divided into two sections:

Mostrar Protocolos

Id	Local	Exame	Voltagem	Foco	Filtragem Total	DistFocoFilme	IntDistFocoFilme	ContExposição	TempoExposição
1	EUA	Abdome 80	1	3	115	100	100	Exposição Central ou Lateral	200
2	BKT (Albânia) Trier (Alemanha)	Abdome 85	1	3	115	115	115	Exposição Central ou Lateral	200
3	Innsbruck (Austria)	Abdome 90	1		120	100	100	Exposição Central e Lateral	
4	Atenas (Grécia)	Abdome 75	1	3	110	25	25	Três Exposições	200
5	Madrid (Espanha)	Abdome 64	1		90	90	90	Três Exposições	200
6	Limerik (Irlanda)	Abdome 77		1	100			Exposição Central ou Lateral	83
7	NewCastle (UK)	Abdome 80	1	1	100	100	100	Ambas as Exposições Laterais	200
8	Recife	Abdome 110	2	3	120	100	100	Três Exposições	150

Cadastrar Novo Protocolo

The form contains the following fields:

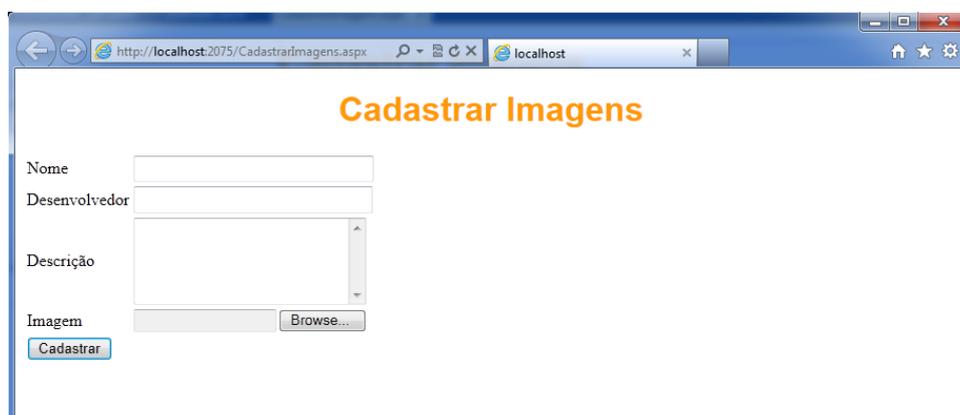
- ID
- Local
- Exame
- Voltagem
- Foco
- Filtragem Total
- Dist Foco Filme
- Intervalo Dist Foco Filme
- Cont Exposição
- Tempo Exposição

A "Cadastrar" button is located at the bottom of the form.

4.3.2 Imagens

Na UI *Imagens* o administrador cadastra imagens em uma pasta para ser disponibilizada aos usuários do SID. A Figura 104 apresenta os campos a serem preenchidos: Nome, Desenvolvedor, Descrição. Também apresenta dois botões: *Browse* e *Cadastrar*.

Figura 104 – Janela oferecida pela UI *Imagens*.



The screenshot shows a web browser window with the URL `http://localhost:2075/CadastrarImagens.aspx`. The page title is "localhost". The main content area is titled "Cadastrar Imagens" in orange text. The form contains the following fields:

- Nome
- Desenvolvedor
- Descrição
- Imagem

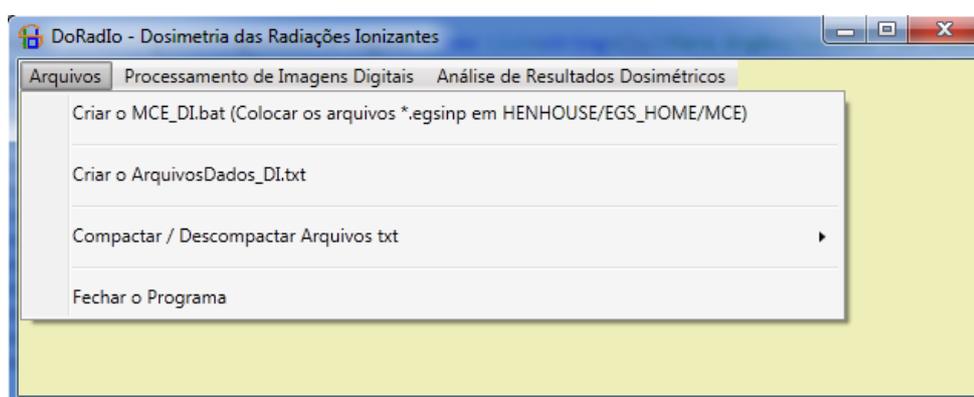
There is a "Browse..." button next to the "Imagem" field and a "Cadastrar" button at the bottom of the form.

4.3.3 DoRadIo

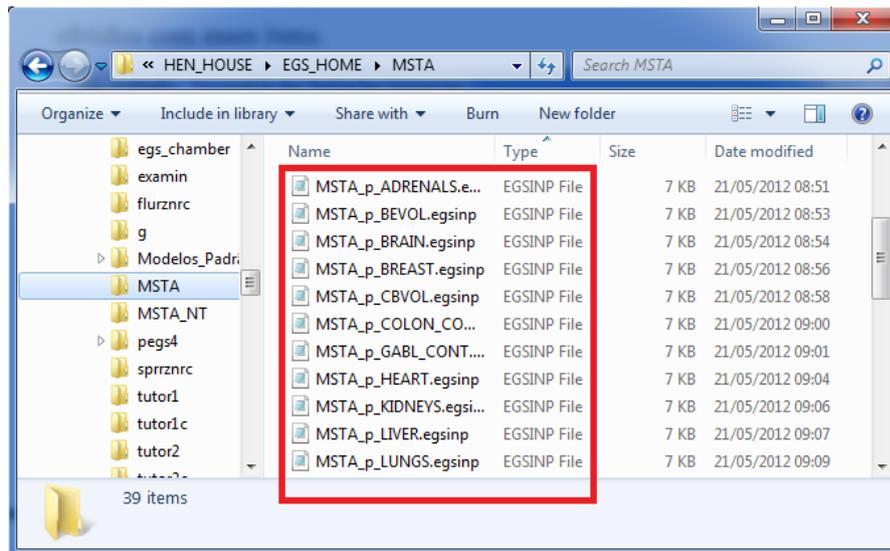
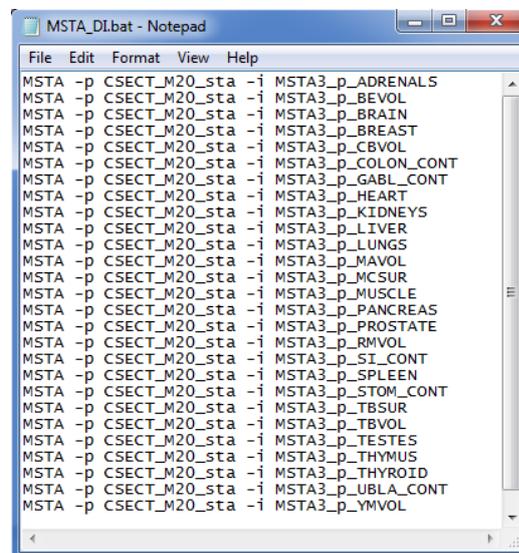
A seguir, detalham-se todos os possíveis resultados que podem ser obtidos a partir do acesso aos três *menus* principais dessa UI.

- O *menu Arquivo*, exibido na Figura 105, foi desenvolvido para realizar tarefas computacionais relacionadas com leitura e escrita de arquivos de texto, bem como a compactação/descompactação de arquivos. Ele possui três itens de *menu*: *Criar o MCE_DI.bat*, *Criar o ArquivosDados_DI.txt* e *Compactar / Descompactar Arquivos txt*. Na sequência, são exibidos resultados obtidos com esses itens.

Figura 105 – UI complementar *DoRadIo* com destaque para o *menu Arquivos*.



O item de menu *Criar o MCE_DI.bat* foi desenvolvido para organizar em um lote os comandos para executar cada uma das 27 entradas dependentes dos arquivos dos órgãos-fontes disponíveis. Este procedimento otimiza a execução de um MCE, pois apenas uma simulação é realizada ao invés de 27. Assim, nas simulações realizadas com o MSTA utilizaram-se 27 órgãos-fontes para energias de 10 keV a 4000 keV e 10^8 histórias para cada órgão-fonte/energia. O tempo gasto para a simulação foi em torno de 30 dias em PC do LDN. A Figura 106 apresenta a janela do *Windows Explorer* com 11 das 27 fontes utilizadas e a Figura 107 exhibe um fragmento do arquivo *MSTA_DI.BAT* com o lote de arquivos relativos aos órgãos-fontes em ordem alfabética.

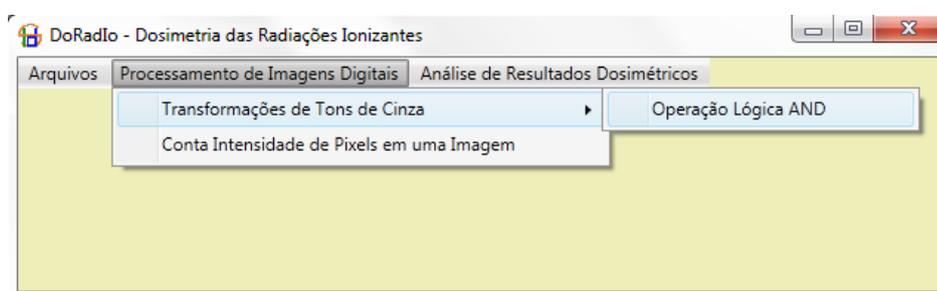
Figura 106 – Janela do Windows Explorer apresentando parte dos órgãos-fontes.**Figura 107 – Arquivo contendo o lote dos órgãos-fontes a serem simulados.**

Os itens de menu *Criar o ArquivoDados_DI.txt* e *Compactar / Descompactar Arquivos txt* são usados, respectivamente, para organizar os arquivos de saída da simulação em um único arquivo e compactar/descompactar arquivos.

- O menu *Processamento de Imagens Digitais*, exibido na Figura 108, foi desenvolvido para resolver as questões relacionadas com as seleções das regiões de interesse (ROIs) nas imagens de medicina nuclear, assim como, na determinação do fator de ponderação de cada ROI. Estes fatores são usados para ponderar resultados dosimétricos em situações onde haja emissão de mais de um órgão-fonte. Consiste de duas ferramentas: uma para selecionar e

salvar as imagens das ROI (*Transformações de Tons de Cinza* ---> *Operação Lógica AND*) e outra para fazer a contagem total de intensidades de pixels das imagens salvas (*Conta Intensidade de Pixels em uma Imagem*) e, assim, determinar os fatores de ponderação correspondentes.

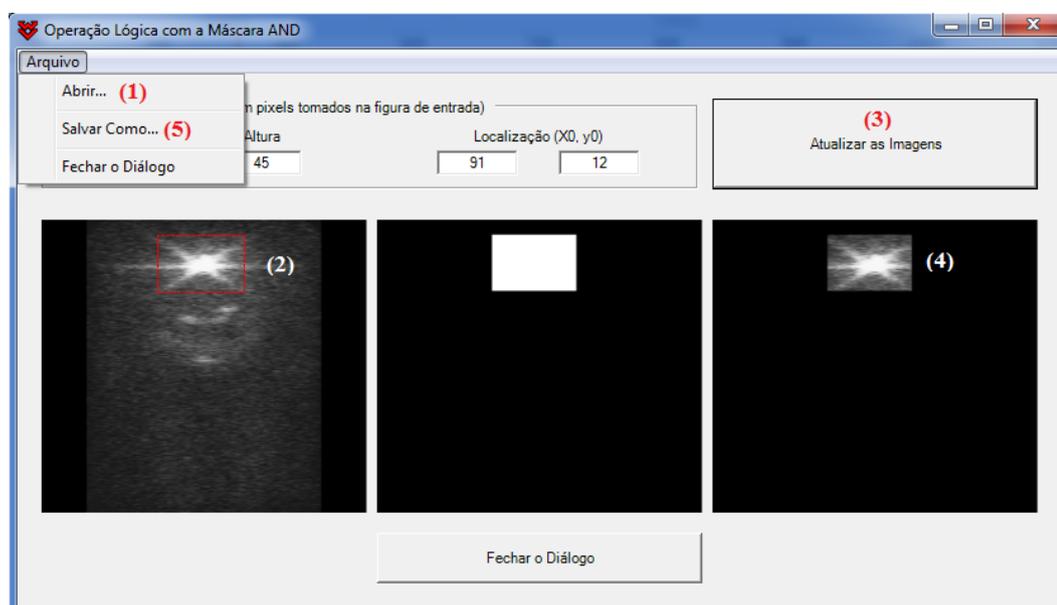
Figura 108 – O menu *Processamento de Imagens Digitais* com seu dois submenus.



– Item de *menu Transformações de Tons de Cinza* ---> *Operação Lógica AND* aciona a operação lógica *AND*, que é uma operação básica usada no processamento de imagens binárias. Esta operação é realizada *pixel a pixel* e o resultado em qualquer posição de uma imagem resultante é 1 apenas se os *pixels* correspondentes nas duas imagens de entrada forem 1; caso contrário será 0 (zero) (GONZALEZ; WOODS, 2002). A seguir, apresenta-se o passo a passo do uso desta operação.

Passo 1: Ao clicar em *Operação Lógica AND* é carregada a forma (interface) *Operação Lógica com a Máscara AND*, Figura 109.

Figura 109 – Interface com a imagem de medicina nuclear (2) e a ROI (máscara) selecionada (4).



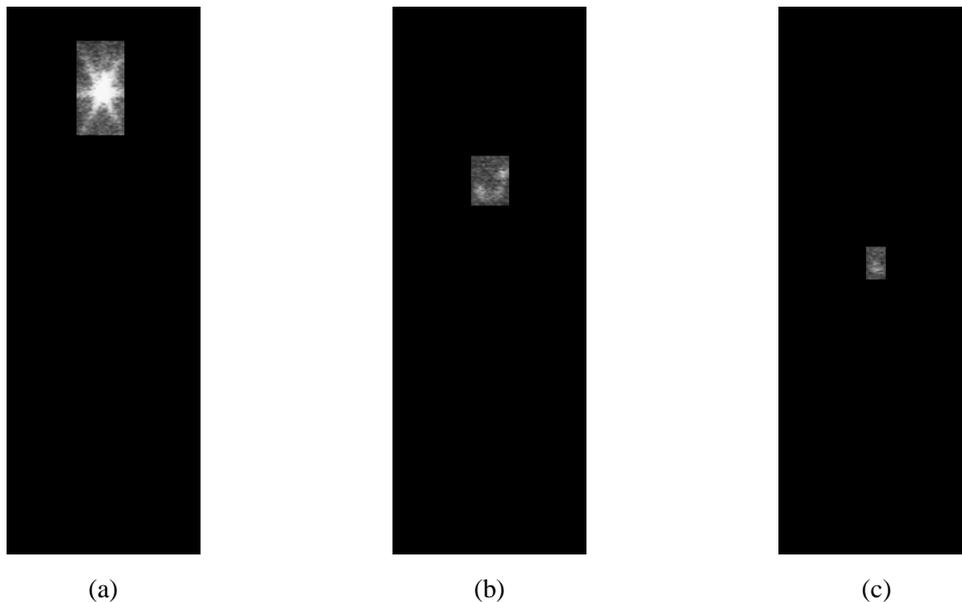
Passo 2: Na interface da Figura 109, clica-se em (1) para abrir uma imagem. Neste passo a imagem utilizada para exemplificar é a da Figura 73, ajustada para exibição no panel à esquerda. Na imagem podem ser observadas três ROIs: uma na região do pescoço, outra na região dos intestinos e uma última na região da bexiga.

Passo 3: Seleciona-se a 1ª ROI (região do pescoço) com um clique no botão esquerdo do *mouse* e, na sequência, outro no botão direito do mouse de modo a formar um retângulo (2), depois em (3) para atualizar a imagem. Neste ponto é carregada a máscara (ROI) selecionada (4).

Passo 4: Finalmente, clica-se em (5) para salvar a máscara e, na sequência, a imagem resultante da aplicação da operação *AND*.

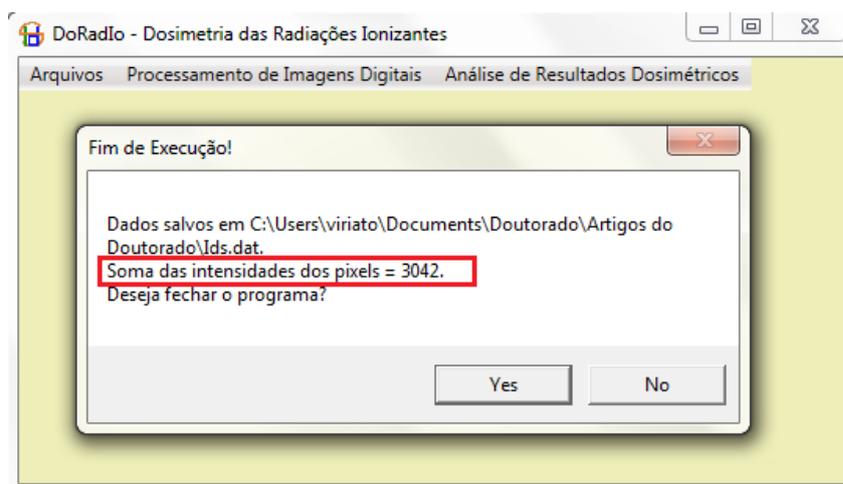
Passo 5: Repetem-se os passos 3 e 4 para selecionar as outras duas regiões. A Figura 110 apresenta os resultados obtidos da aplicação da ferramenta nas três regiões, com as respectivas imagens ROIs salvas.

Figura 110 – (a) Região do pescoço (Tireóide), (b) Região do intestino e (c) Região da Bexiga.



– Item de *menu Conta Intensidade de Pixels em uma Imagem*: clicando sobre ele é exibida uma janela para a busca de imagens. Escolhida a imagem, dá-se um duplo clique sobre ela para realizar o cálculo do seu número total de tons de cinza. A Figura 111 apresenta a janela que exhibe o resultado da soma das intensidades dos pixels da imagem da Figura 110(a).

Figura 111 – Janela apresentando o resultado da soma das intensidades dos pixels da ROI da Figura 110 (a).

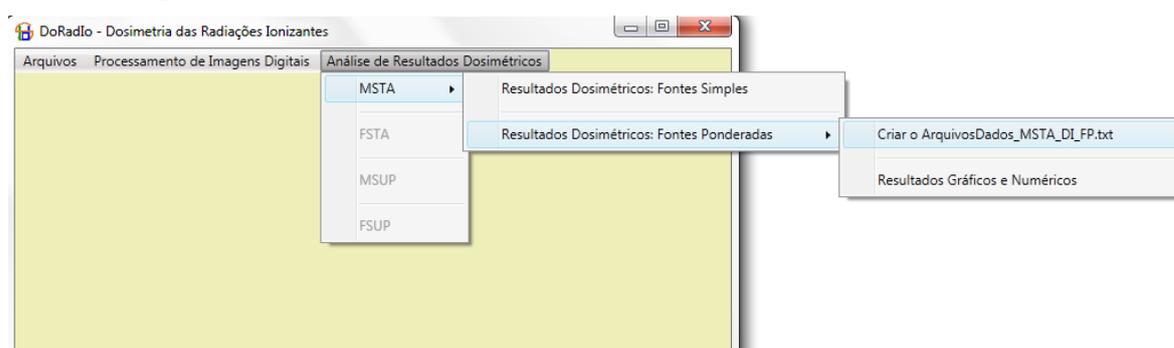


Repetem-se os procedimentos para determinar a soma das intensidades dos pixels das ROIs das imagens restantes (Figura 110(b) e Figura 110(c)). Com isso, obtêm-se as somas das intensidades de *pixels* 3042, 1271 e 432 para as imagens da Figura 110, respectivamente. Estes valores divididos pela soma total são usados como fatores de ponderação. Para obter uma distribuição de dose realística advinda de fótons emitidos de várias fontes, esta contagem é imprescindível já que os totais de intensidades nas três ROIs são proporcionais às quantidades de fótons cujas histórias iniciam nestas regiões. Assim, as razões entre os totais de intensidades em cada ROI, mostradas na Figura 110, e o total na imagem são, respectivamente, os pesos normalizados das fontes simuladas 0,641, 0,268 e 0,091. Estes pesos são usados apenas nos resultados dosimétricos. Cada simulação é sempre monoenergética e os fótons emergem de um único órgão-fonte. No início de cada história de uma simulação, a posição de largada do fóton e sua direção inicial de voo são FDPs uniformes no paralelepípedo contendo o órgão-fonte, como na formulação MIRD (ZAIDI; SGOUROS, 2003). Uma das vantagens de usar este procedimento é diminuir os erros estatísticos, uma vez que todas as simulações são realizadas com o mesmo número de histórias e a ponderação é feita sobre os resultados dosimétricos obtidos com as fontes simples. Os resultados da ponderação são salvos em um arquivo.

- O menu *Análise de Resultados Dosimétricos* foi desenvolvido para fazer análise de resultados dosimétricos a partir de simulações MC. Ele contém quatro itens de *menu*, um para cada MCE, que, por sua vez, traz dois *submenus*: um que lê os resultados dosimétricos diretamente do *ArquivoDados_DI.txt*, considerando um órgão-fonte sobre um órgão-alvo da escolha do usuário, sendo chamado de *Resultados Dosimétricos: Fontes Simples*, e outro,

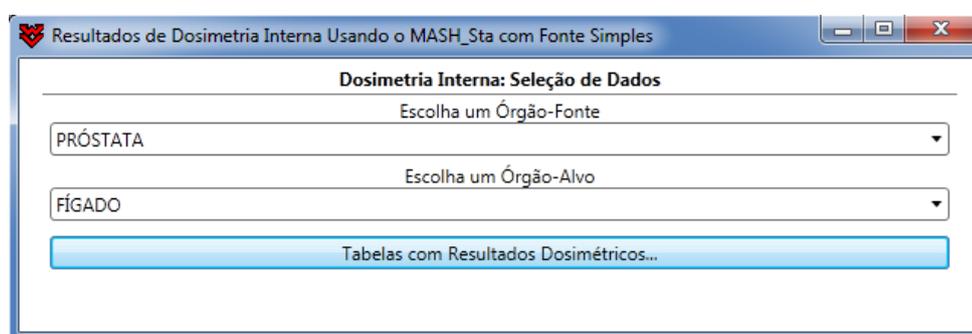
chamado de *Resultados Dosimétricos: Fontes Ponderadas*, que, utilizando os dados de *pixels* em ROIs obtidos no item anterior, pondera os resultados contidos no *ArquivoDados_DI.txt* de acordo com esses dados e, apresenta os resultados gráficos e numéricos. Este *submenu* contém dois submenus: Criar o *ArquivoDados_MSTA_DI_FP.txt* e *Resultados Gráficos e Numéricos*. A Figura 112 exibe o menu principal e os *submenus* citados. Na sequência, a construção e aplicação desses *submenus*.

Figura 112 – O menu *Análise de Resultados Dosimétricos* e seus *submenus*.



– O item de *menu Resultados Dosimétricos: Fontes Simples*: é acionado quando o usuário quer obter resultados numéricos e gráficos da ação de determinado órgão-fonte sobre determinado órgão-alvo. Um clique neste *submenu* dispara a interface da Figura 113, onde o usuário pode acessar duas *ComboBox* (caixa de combinação), de cima para baixo, para escolha do órgão-fonte e órgão-alvo, respectivamente.

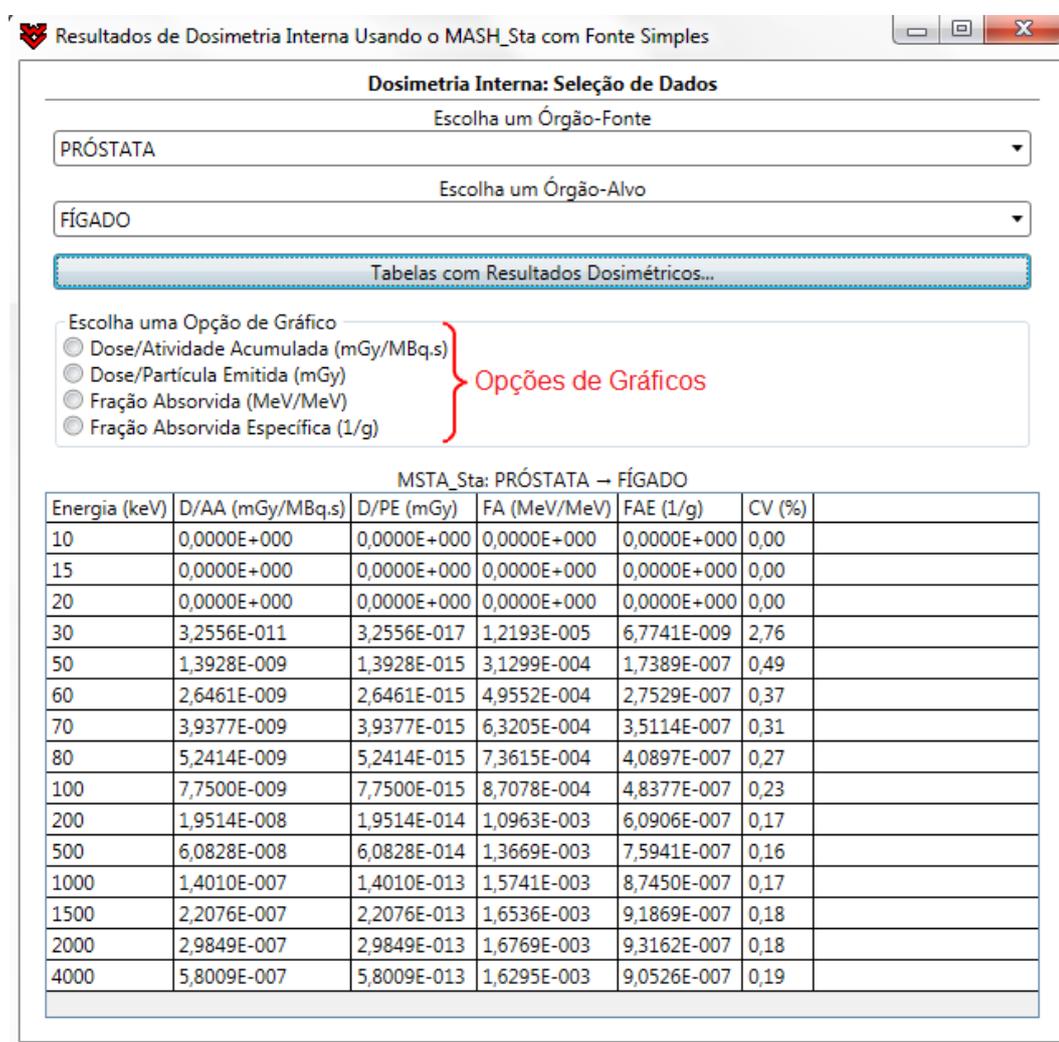
Figura 113 – Janela para escolha dos órgãos fonte e alvo em uma análise de resultados.



Com as *ComboBox* preenchidas, clica-se no botão *Tabelas com Resultados Dosimétricos*, carregando assim, a Tabela exibida na Figura 114, que traz os valores dos coeficientes de conversão (CCs), dose/atividade acumulada, dose/partícula emitida, fração

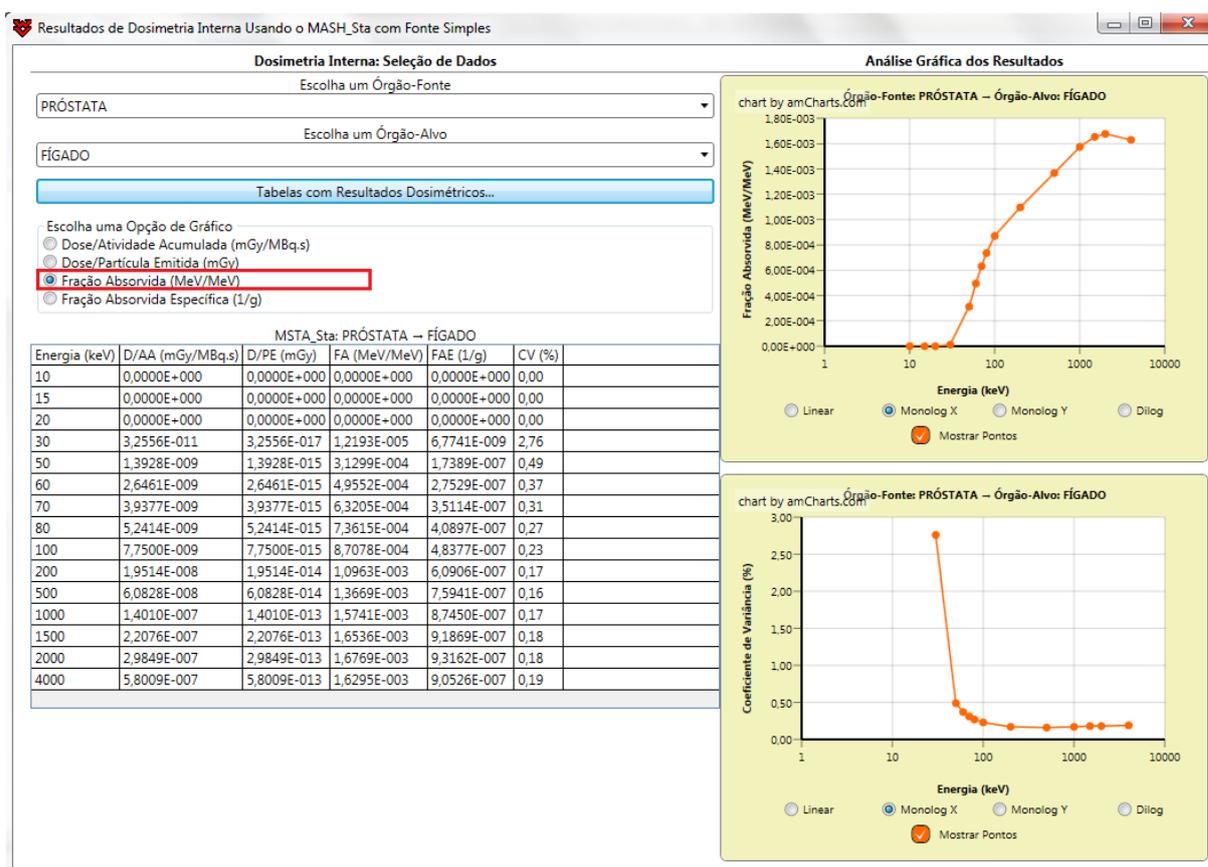
absorvida (FA) e fração absorvida específica (FAE), em função de cada uma das 15 energias simuladas.

Figura 114 – Janela com resultados dosimétricos a partir de uma fonte simples.



Para as análises gráficas, basta selecionar uma das opções em destaque na Figura 114. Na Figura 115 o gráfico resultante da seleção do *RadioButton*, Fração Absorvida (FA).

Figura 115 – Janela resultante do submenu *Resultados Dosimétricos: Fonte Simples*, com um exemplo de escolha do usuário.



– Item de menu *Resultados Dosimétricos: Fontes Ponderadas*: é acionado quando o usuário pretende analisar resultados com a atividade acumulada em mais de um órgão-fonte sobre um órgão-alvo. Aqui, esses resultados são obtidos da análise de imagens de medicina nuclear da forma descrita anteriormente neste artigo. Este submenu é composto dos submenus: *Criar o ArquivoDados_MSTA_DI_FP.txt* e *Resultados Gráficos e Numéricos*. Na sequência, descrevem-se estes menus que podem ser visualizados na Figura 112.

- ✓ *Submenu Criar o ArquivoDados_MSTA_DI_FP.txt*: dá acesso à interface da Figura 116, onde se definem pesos normalizados correspondentes a cada órgão-fonte. Para este exemplo utilizaram-se os dados obtidos com as imagens da Figura 110 e clicou-se no botão *Salvar o ArquivoDados_MSTA_DI_FP.txt*.

Figura 116 – Interface para a definição dos órgãos-fontes com seus respectivos pesos normalizados.

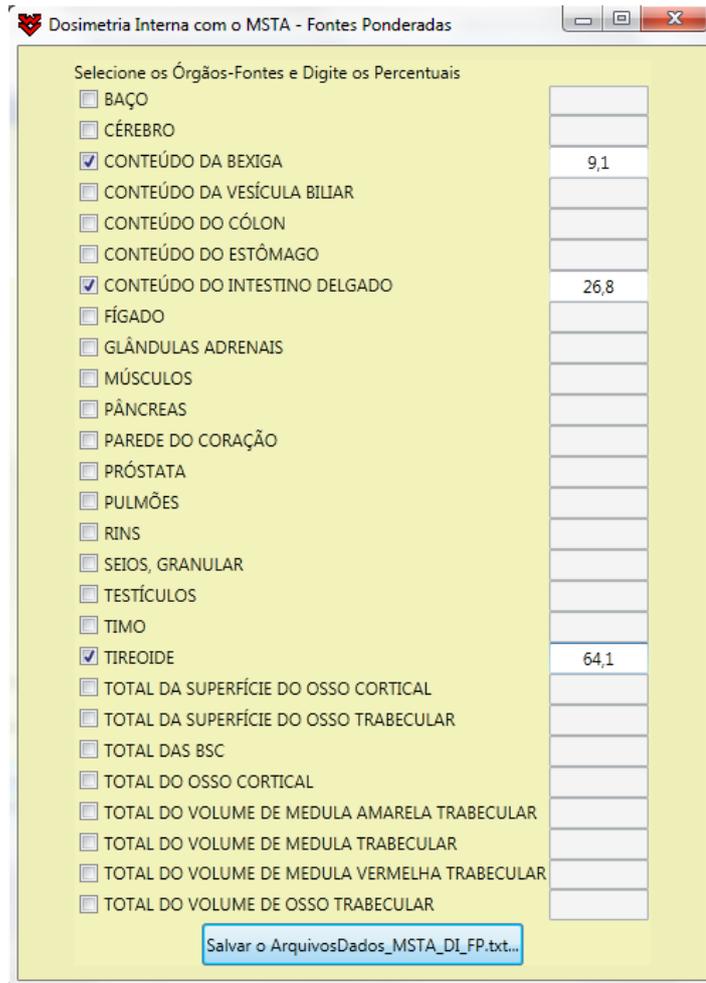
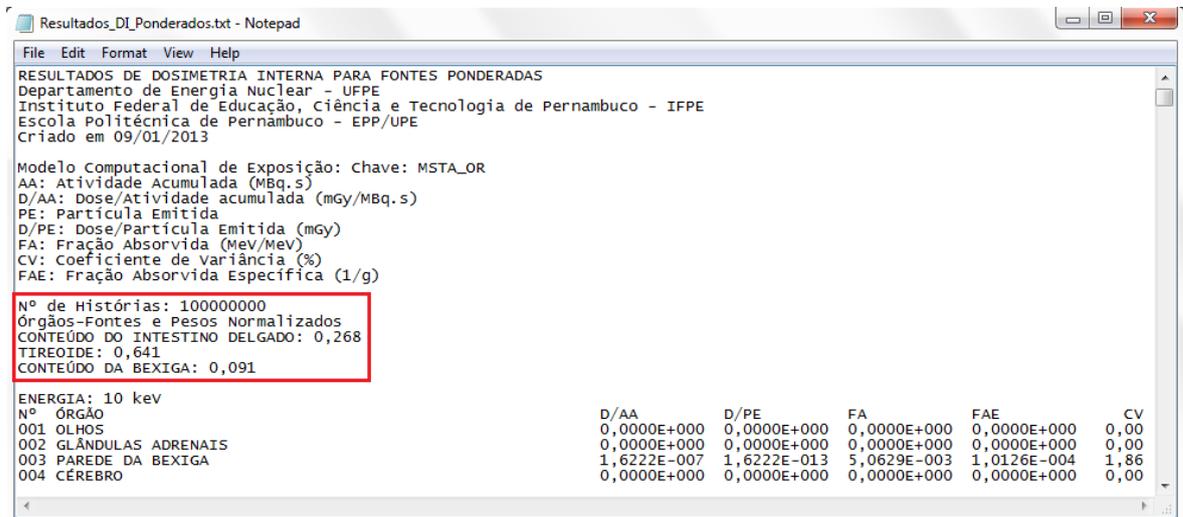


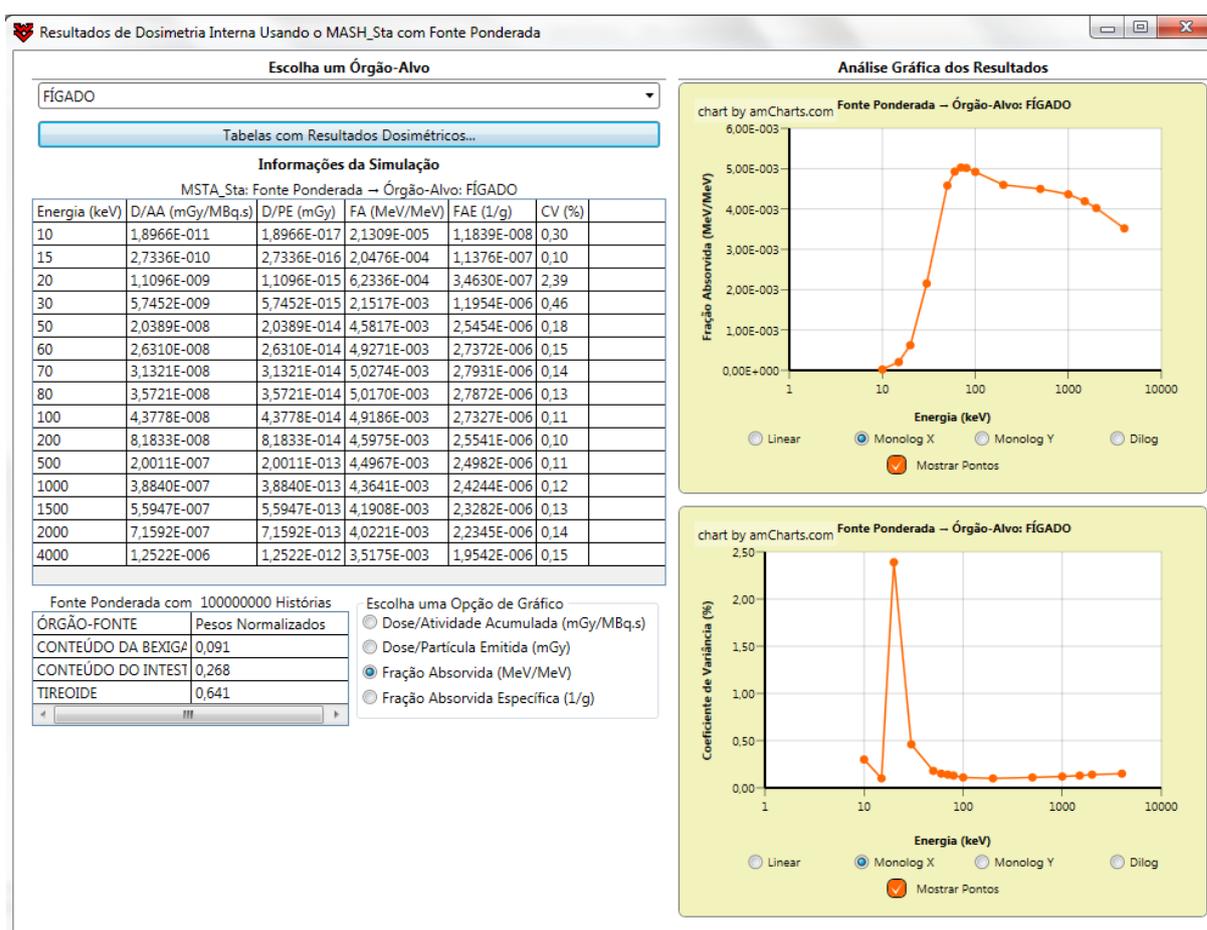
Figura 117 – Conteúdo do arquivo Resultados_DI_Ponderados.txt obtido.



Em uma breve análise do conteúdo do arquivo da Figura 117, são destacados o número de histórias, os órgãos-fontes e os respectivos pesos normalizados. Também é possível percorrer o arquivo e visualizar os coeficientes de conversão dose/atividade acumulada, dose/partícula emitida, fração absorvida, fração absorvida específica e o coeficiente de variância em todos os órgãos e tecidos para todas as energias simuladas para o MSTA.

✓ Submenu *Resultados Gráficos e Numéricos*: com ele é possível obter os resultados gráficos e numéricos em um órgão-alvo. Um clique neste *submenu* carrega a interface da Figura 118, onde é possível escolher um órgão-alvo (por exemplo, fígado) e clicar no botão *Tabela com Resultados Dosimétricos*, carregando assim a tabela com os coeficientes de conversão e coeficiente de variância para o órgão-alvo escolhido. Caso o usuário queira analisar o coeficiente em função da energia em *keV*, seleciona o botão de rádio correspondente.

Figura 118 – Interface para obter os resultados gráficos e numéricos com a atuação da fonte ponderada em um órgão-alvo.



O passo-a-passo apresentado sobre o *software DoRadIo* é importante para estudantes e pesquisadores em dosimetria das radiações ionizantes. A UI desenvolvida facilita as estimativas de dose absorvida de fontes internas, possibilitando ao interessado conhecer os passos que vão desde a preparação das simulações MC até a análise dos resultados dosimétricos. O interessado pode utilizar a UI para:

- Preparar arquivos do tipo *Batch*, que facilitam e otimizam as simulações MC com os MCE apresentados;
- Juntar em um único arquivo todos os resultados obtidos em simulações MC;
- Compactar e descompactar arquivos do tipo TXT;
- Selecionar e salvar ROIs em uma imagem de medicina nuclear;
- Contar a intensidade dos *pixels* em uma imagem qualquer;
- Analisar resultados dosimétricos usando apenas um órgão-fonte versus um órgão-alvo ou da ponderação de diversos órgãos-fontes em um órgão-alvo.

5 CONCLUSÕES

O sistema computacional para gerenciamento de informações dosimétricas sobre as radiações ionizantes foi desenvolvido com tecnologias de última geração e apresenta diversas ferramentas importantes para estudantes e pesquisadores na área da dosimetria das radiações, além de permitir a obtenção de diversos resultados gráficos e numéricos. A maior parte das ferramentas implementadas foi desenvolvida, desde a formulação dos seus algoritmos, para este trabalho. O sistema é composto da interface principal, que pode ser acessada via *web* ou baixada para uso no *desktop*, além de interfaces secundárias e complementares para a realização de diversas tarefas fundamentais para usuários e administradores. Portanto, o SID constitui uma versátil inovação em termos de gestão de informações para dosimetria das radiações ionizantes.

A partir da UI principal é possível acessar o sítio do GDN, construir arquivos de entrada para simulação MC em radiodiagnóstico com os MCEs, converter arquivos do tipo *raw* para *sid*, converter arquivos do tipo *sid* para *zip*, acessar arquivos de dados dos fantomas *.zip*, resultados dosimétricos e o BD protocolos de radiodiagnóstico. Além disso, é possível acessar e baixar o *software* para avaliações em dosimetria interna – *DoRadIo* – que permite, entre outras coisas, preparar o arquivo de fontes ponderadas baseadas em imagens de medicina nuclear.

Utilizando as UIs complementares, os administradores do SID podem realizar diversas tarefas importantes como conversões, compactações, armazenamentos de diversos tipos de arquivos nas pastas e BDs do sistema. Destaque para a conversão de fantomas no formato binário para um novo tipo de armazenamento de arquivo 3D.

6 PERSPECTIVAS

Como perspectivas, estão planejadas as seguintes tarefas envolvendo o SID:

- ✓ Disponibilizar para acesso pela UI principal do SID as publicações mais relevantes do GDN;
- ✓ Utilizar arquivos SID em todas as tarefas computacionais, inclusive nos MCEs;
- ✓ Incorporar o *software DoRadlo*;
- ✓ Ampliar o número de fantasmas e resultados dosimétricos disponibilizados, bem como os dados dos protocolos de exames de dosimetria externa;
- ✓ Criar um BD nos moldes do protocolo de exames para dosimetria interna;
- ✓ Criar um BD com partes anatômicas específicas (objetos 3D) para construção de fantasmas com graus de refinamento em função da aplicação;
- ✓ Viabilizar um *link* para sugestões dos usuários de modo a tornar a interface mais intuitiva;
- ✓ Desenvolver um menu de ajuda;
- ✓ Criar uma versão em inglês do sistema.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. K. S. **Avaliação dosimétrica em braquiterapia permanente de baixa taxa de dose para tratamento de câncer de Próstata**, Dissertação de Mestrado, UFPE DEN, Recife-PE, 2010.
- BIRAL, A. R. **Radiações ionizantes para médicos, físicos e leigos**. Florianópolis, Insular, 2002.
- BROWN, P. **Silverlight 4 in action**. Manning Publication Co., Philadelphia, USA, 2010.
- BULGER B.; GREENSPAN J.; WALL D. **MySQL®/PHP database applications**. 2ª ed., Wiley Publishing, inc, Indiana – EUA, 2004.
- CASSOLA, V. F. **Acoplamento dos fantasmas tomográficos fax06 e max06 ao código monte carlo geant4**, Dissertação de Mestrado, UFPE-DEN, Recife-PE, 2007.
- CASSOLA, V. F.; LIMA, V. J. M.; KRAMER, R.; KHOURY, H. J. “FASH and MASH: female and male adult human phantoms based on polygon mesh surfaces: I. Development of the anatomy,” **Phys. Med. Biol.**, 55, pp. 133-162, 2010.
- CASSOLA, V. F. **Desenvolvimento de fantasmas humanos computacionais usando malhas poligonais em função da postura, massa e altura**, Tese de Doutorado, DEN-UFPE, Recife-PE, Brasil, 2011.
- CEMBER, H.; JOHNSON, T. E. **Introduction to health physics**, 4rd edition, McGraw-Hill, 2009.
- CLEEREN, G.; DOCKX, K., **Microsoft Silverlight 4 data and services cookbook**, 1rd edition, Packt Publishing Ltd, UK, 2010.
- COLLINS, P.J.; GORBATKOV, D.; SHULTZ, F.W. **A graphical user interface diagnostic radiology dosimetry using Monte Carlo (MCNP) simulation**, 10th International Congress of the International Radiation Protection Association, IRPA, Hiroshima, Japan, 14-19 May, 2000.
- COSTA, R. K. F. **Radiografias digitais sintéticas utilizando modelos computacionais de exposição do tipo fantasmas de voxels/EGS4**, Dissertação de Mestrado, UFPE-DEN, Recife-PE, 2008.

COSTA, K. S. S. **Desenvolvimento de modelos antropomórficos patológicos usando técnicas de modelagem 3d para dosimetria numérica**, Dissertação de Mestrado, UFPE DEN, Recife-PE, 2011.

CRISTY, M.; ECKERMAN, K. F. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources, part vii: adult male, Report n. ORNL/TM-8381/V7, **Oak Ridge National Laboratory**, Oak Ridge, Tenn., USA, 1987.

DIMOND III. Disponível em <http://suomenrontgenhoitajaliitto.fi/doc/diamond_III.pdf>. Acesso em: mai. 2013.

DIMBYLOW, P. J. **The development of realistic voxel phantoms for electromagnetic field dosimetry**, In: Proceedings of an International Workshop on Voxel Phantom Development held at the National Radiological Protection Board, Chilton, UK, 6-7 July, 1995.

FILEINFO. Disponível em: <<http://www.fileinfo.com/>> Acesso em: nov. de 2011.

GEANT 4. Disponível em: <<http://geant4.cern.ch/>> Acesso em: jun. 2012.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**, 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2002.

HOTEC, M. **SQL server 2008 step by step**, Microsoft Press, Washington, USA, 2009.

ICRP 23, **Report of the task group on reference man**, International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford, 1975.

ICRP 53, **Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals**, Pergamon Press, Oxford, 1988.

ICRP 74, **Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation**, International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford, 1996.

ICRP 89. **Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values**, Pergamon Press, Oxford, 2003.

ICRU 10a, **Radiation quantities and units**, NBS 84, 1962.

ICRU 44, **Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement**, International Commission On Radiation Units And Measurements, Bethesda, MD, 1989.

ICRU 60, **Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation**, 1998.

JAVA. Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/pt-br/aa702903>> Acesso em: jan. 2013.

JOHNSON, N. L. Systems of frequency curves generated by methods of translation, **Biometrika**, 36, No. 1/2, 149-176, 1949.

JOHNSON L.; LJUNDBERG M.; SJOGREEN K.; STRAND S. E. The conjugate view method: evaluation of activity and absorbed dose calculations from Monte Carlo simulated scintillation camera images using experimental data in an anthropomorphic phantom, **J. Nucl. Med.**, 41 (Suppl): 234P, 2000.

JONES D. G. A realistic anthropomorphic phantom for calculating specific absorbed fractions of energy deposited from internal gamma emitters. **Radiat. Prot. Dosim.**, 79, 411-14, 1998.

KALOS, M. H.; WHITLOCK, P. A. **Monte Carlo methods**, Vol. 1, Basics: Wiley & Sons, New York, USA, 1986.

KAWRAKOW, I.; MAINEGRA-HING, E.; ROGERS D.W.O.; TESSIER F.; WALTERS B.R.B. **The EGSnrc code system: Monte Carlo simulation of electron and photon transport**, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, 2011.

KRAMER, R. **Ermittlung von konversionsfaktoren zwischen koerperdosen und relevanten strahlungskenngroessen bei externer roentgen-und gamma-bestrahlung**, Gesellschaft fuer Strahlen-und Umweltforschung, Muenchen-Neuherberg, GSF-Bericht-S-556, 1979.

KRAMER, R.; ZANKL, M.; WILLIAMS, G.; DREXLER, G. **The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods. Part I: the male (ADAM) and female (EVA) adult mathematical phantoms**, GSF-Bericht S-885. GSF-National Research for Environment and Health, Neuherberg, Germany, 1982.

KRAMER, R.; VIEIRA, J.W.; KHOURY, H. J.; LIMA, F. R. A.; FUELLE, D. All about MAX: a male adult voxel phantom for Monte Carlo calculations in radiation protection dosimetry. **Phys. Med. Biol.**, v. 48, p. 1239-1262, 2003.

KRAMER, R.; VIEIRA, J. W.; KHOURY, H. J.; LIMA, F. R. A.; LOUREIRO, E. C. M.; LIMA, V. J. M.; HOFF, G. All about fax: a female adult voxel phantom for Monte Carlo calculation in radiation protection dosimetry. **Phys. Med. Biol.**, v. 49, 5203-5216, 2004.

KRAMER, R.; KHOURY, H. J.; VIEIRA, J. W.; KAWRAKOW, I. Skeletal dosimetry in the MAX06 and the FAX06 phantoms for external exposure to photons based on vertebral 3D-microCT images. **Phys Med Biol.** 51, 6265-6289, 2006.

KRAMER, R.; KHOURY, H. J.; VIEIRA, J. W.; KAWRAKOW, I. Skeletal dosimetry for external exposure to photons based on μ CT images of spongiosa from different bone sites. **Phys Med Biol.** 52, 6697-6716, 2007.

KRAMER, R.; VIEIRA, J. W.; KHOURY, H. J. 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.**, v. 53, 6437-6459, 2008.

KRAMER, R.; KHOURY, H. J.; VIEIRA, J. W.; BROWN ROBSON, K. A skeletal dosimetry for external exposures to photons based on μ CT images of spongiosa: consideration of voxel resolution, cluster size and medullary bone surfaces. **Med. Phys.**, 36, 11, 5007-5016, 2009.

KRAMER, R.; CASSOLA, V. F.; KHOURY, H. J.; VIEIRA, J. W.; LIMA, V. J. M.; BROWN ROBSON, K. FASH and MASH: female and male adult human phantoms based on polygon mesh surfaces: II. Dosimetric calculations, **Phys. Med. Biol.**, 55, 163-189, 2010.

KRAMER, R.; RICHARDSON R. B.; CASSOLA, V. F.; VIEIRA, J. W.; KHOURY, H. J.; OLIVEIRA LIMA, C. A. B.; BROWN ROBSON, K. Electron absorbed fractions of energy and S-values in an adult human skeleton based on μ CT images of trabecular bone, **Phys. Med. Biol.**, 56, 1803-1836, 2011.

KRAMER, R.; CASSOLA, V. F.; VIEIRA, J. W.; KHOURY, H. J.; LIRA, C. A. B. O.; BROWN, K. R. Skeletal dosimetry based on μ CT images of trabecular bone: Update and comparisons, **Phys. Med. Biol.**, 57, 3995-4021, 2012.

LEAL NETO, V.; VIEIRA, J. W.; STOSIC B.; LIMA, F. R. A. **Desenvolvimento Computacional de uma Fonte Radioativa Isotrópica no Solo Utilizando Técnicas Monte Carlo de Amostragem por Rejeição.** In: Primeiro Congresso Americano do IRPA, Acapulco, 2006.

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

LEAL NETO, V.; VIEIRA, J. W.; LIMA F.R.A. Uso das Distribuições Erlang e Exponencial para Simular uma Fonte Radioativa Isotrópica no Solo. **Scientia Plena**, v.4, p.1/114821 - 6, 2008.

LIMA, V. J. M. **Desenvolvimento de fantomas mesh infantis, morfológicamente consistentes com a anatomia humana, para uso em dosimetria,** Tese de Doutorado, DEN-UFPE, Recife-PE, Brasil, 2011.

LOEVINGER, R.; BUDINGER, T.; WATSON, E. **MIRD primer for absorbed dose calculations.** Society of Nuclear Medicine, 1988.

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

LOUREIRO, E. C. M. **Construção de simuladores baseados em elementos de volume a partir de imagens tomográficas coloridas.** Tese de Doutorado, UFPE-DEN, Recife-PE, 2002.

MCNP5. **Manual.** Disponível em: https://laws.lanl.gov/vhosts/mcnp.lanl.gov/mcnp_manual.shtml Acesso em: nov. 2012.

MENEZES, C. J. M. **Modelo computacional para desenvolvimento do sistema de avaliação para aparelhos de raios x odontológicos intra-orais: “cartão dosimétrico odontológico”,** Tese de Doutorado, DEN-UFPE, Recife-PE, Brasil, 2008.

MCDONALD, M. **Beginning ASP.NET 4 in C# 2010.** Apress Media LLC, New York, USA, 2010.

MORONEY, L. **Microsoft Silverlight 4 – Step By Step.** O'Reilly Media, InC., California, USA, 2010.

MSDN. **Biblioteca.** Disponível em: <http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/ms143432.aspx> Acesso em: jul. 2012.

MSDN. **Introdução à plataforma .NET.** Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/pt-br/aa702903>> Acesso em: jan. 2013.

MYSQL. **Products.** Disponível em: <<http://www.mysql.com/products/workbench/>> Acesso em: nov. 2011.

NELSON, W. R.; HIRAYAMA H.; ROGERS D. W. O. **The EGS4 code system.** Report SLAC-265, Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, California, 1985.

NIST. Disponível em: <<http://www.nist.gov/index.html>> Acesso em: jan. de 2013.

ORIGINLAB CORPORATION, **Origin Help (Curve Fitting)**, 509-594. Disponível em:<www.OriginLab.com> Acesso em: fev. de 2013.

PEIXOTO, P. H. R. **Desenvolvimento de um modelo computacional para avaliações dosimétricas em ratos.** Tese de Doutorado, DEN-UFPE, Recife-PE, Brasil, 2008.

PELOWITZ, D. B. **“MCNPXTM user’s manual”**, Version 2.5.0. LA-CP-05-0369. Los Alamos National Laboratory, 2005.

PETOUSSI-HENSS; N.; ZANKL; M. Voxel anthropomorphic models as a tool for internal dosimetry, **Radiat. Prot. Dosim.**, 79, 415-418, 1998.

RUBISNTEIN, R. Y. **Simulation and the Monte Carlo methods**, John Wiley & Sons, Inc. New York, USA, 1981.

SALVAT, F.; FERNÁNDEZ-VAREA, J. M.; ACOSTA, E.; SEMPAN, J. **PENELOPE – A code system for Monte Carlo simulation of electron and photon transport.** OECD/NEA Data Bank, Issy-les-Moulineaux, France, 2001.

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.

SEMPAN, J.; WILDERMAN S, J.; and BIELAJEW, A. F. DPM, a fast, accurate monte carlo code optimized for photon and electron radiotherapy treatment planning dose calculations, **Phys. Med. Biol.**, 45, 2263-2291, 2000.

SHARP, J. **Visual C# 2010 step by step**, Microsoft Press, Washington, USA, 2010.

SMITH T.; PETOUSSI-HENSS N.; ZANKL M. Comparison of internal radiation doses estimated by mird and voxel techniques for a “family” of phantoms, **Eur. J. Nucl. Med.**, 27, 1387-1398, 2000.

SMITH T.; PHIPPS A. W.; PETOUSSI-HENSS N.; ZANKL M. Impact on internal doses of photon safes derived with the gsf adult male voxel phantom, **Health Physics**, 80, no 5, 2001.

SNYDER, W. S.; FORD, M. R.; WARNER G. G.; FISHER, H. L. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. MIRD Pamphlet n. 5, **J. Nucl. Med.**, 10, [Suppl.]: 3, 1969.

SNYDER, W. S.; FORD, M. R.; WARNER, G. G.; WATSON, S. B. “S”: **absorbed dose per unit cumulated activity for selected radionuclides and organs**, MIRD pamphlet no 11, Society of Nuclear Medicine, New York, N.Y., 1975.

SNYDER, W. S.; FORD, M. R.; WARNER, G. G. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom, Revision of MIRD Pamphlet n. 5, **Society of Nuclear Medicine**, New York, N.Y., 1978.

STABIN, M. **MIRDOSE 3 – Documentation package**. Radiation Internal Dose Information Center, Oak Ridge Institute for Science and Education, P.O. Box 117, Oak Ridge, TN 37831, USA, dez. 21, 1994.

STABIN, M.; YORIYAZ, H. Photon specific absorbed fractions calculated in the trunk of an adult male voxel-based phantom. **Health Physics**, 82, 21-44, 2002.

STABIN, M. G. OLINDA – documentation package. **J. Nucl. Med.**, 46, 1023-1027, 2005.

STABIN, M. G. Fundamentals of nuclear medicine dosimetry. **Springer**, New York – EUA, 2008.

TURNER, J. E.; WHIGHT A. H.; HAMM, R. N. A Monte Carlo primer for health physicists, (Review Article), **Health Physics**, 48, 717-733, 1985.

TURNER, J. E. **Atoms, radiation, and radiation protection**, 3rd edition, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim - Bundesrepublik Deutschland, 2007.

VIEIRA, J. W. **Uso de técnicas Monte Carlo para determinação de curvas de isodose em braquiterapia**, Dissertação de Mestrado, UFPE-DEN, Recife-PE, 2001.

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, DEN-UFPE, Recife-PE, Brasil, 2004.

VIEIRA, J. W.; STOSIC, B.; LIMA, F. R. A.; KRAMER, R.; SANTOS, A. M.; LIMA, V. J. M. **Um software para editar fantasmas de voxels e calcular coeficientes de conversão para a proteção radiológica**, 1º Congresso Brasileiro de Proteção Radiológica, Rio de Janeiro, 02 a 05 de Novembro de 2005.

VIEIRA, J. W.; LIMA, F. R. A. A Software to digital image processing to be used in the voxel phantom development, **Cellular and Molecular Biology** (Online), 55, 16-22, 2009.

VIEIRA, J. W.; LEAL NETO, V.; LIMA FILHO, J. M.; LIMA, F. R. A. **Transformation of the normal distribution for Monte Carlo modeling of regions of adult trabecular bones for use in computational models of exposure**, 13th International Congress of International Radiation Protection Association, Glasgow, Scotland, 13-18 May, 2012.

VIEIRA, J. W.; LEAL NETO V.; LIMA FILHO, J. M.; LIMA, L. F. ; LOPES FILHO, F. J. ; ROCHA, E. A. ; LIMA, F. R. A. **Estimate of Dose Distribution in Voxel Phantom Irradiated by a Planar Source Modeled by Translational Normal Probability Density Functions**. In: 2012 International Symposium on radiation Physics, 2012, Rio de Janeiro. ISRP 2012, 2012.

WARNER, G.G.; GRAIG JR, A.M.; **ALGAM: a computer program for estimating internal dose from gamma ray sources in a man phantom**. Oak Ridge, TN, Oak Ridge National Lab., June, (ORNL-TM-2250), 1968.

XU, X. G.; ECKERMAN, K. F.; **Handbook of anatomical models for radiation dosimetry**. Taylor and Francis Group, LLC, New York, USA, 2010.

YORIYAZ, H.; SANTOS, A.; STABIN, M. G.; CABEZA, S R. Absorbed fractions in a voxel-based phantom calculated with the MCNP-4B code. **Med. Phys.**, 27 (7), 1555- 1562, 2000.

ZAIDI, H.; SGOUROS, G. **Therapeutic applications of Monte Carlo calculations in nuclear medicine**, IOP Publishing ltd, 2003.

ZANKL M.; VEIT, R.; WILLIAMS, G.; SCHNEIDER, K.; FENDEL, H.; WITTMANN, A.; PETOUSSI-HENSS, N.; DREXLER, G. The construction of computer tomographic phantoms and their application in radiology and radiation protection. **Radiat. Environ. Biophys.**, 27, 153-164, 1988.

ZUBAL, I. G.; HARRELL, C. R.; SMITH, E. O.; RATTNER, Z.; GINDI, G.; HOFFER, P. B.; Computerized three-dimensional segmented human anatomy, **Med. Phys.**, 21 (2), 299-302, 1994a.

ZUBAL, I. G.; HARRELL, C. R.; SMITH, E. O.; SMITH, A. L.; KRISCHLUNAS, P. **High resolution, mri-based, segmented, computerized head phantom**, Disponível em <http://noodle.med.yale.edu/phantom>, 1994b.

ZUBAL, I. G.; HARRELL, C. R.; SMITH, E. O.; SMITH, A. L. **Two dedicated software, voxel-based, anthropomorphic (torso and head) phantoms**, In: Proceedings of an International Workshop on Voxel Phantom Development held at the National Radiological Protection Board, Chilton, UK, 6-7 July, 1995.

ZUBAL, I. G. **The Yale voxel phantoms**. Disponível em: <http://noodle.med.yale.edu/zubal>> Acesso em: dez. 2012.

APÊNDICE A – Listas de Códigos

Listas de códigos desenvolvidos durante a construção do SID.

Lista 3 – Fragmento de código em C# que converte SGI para SID.

```
List<string> listaFantomaEntradaSID = new List<string>();
listaFantomaEntradaSID.Add(string.Format("FLC:{0}:{1}:{2}", fanE.Fatias, fanE.Linhas, fanE.Colunas));
int id, cont;
uint n = 0;
while (true)//Armazenando na lista inclusive com zeros
{
    if (n < fanE.NVoxels)
    {
        id = fanE[n];
        cont = 0;
        while (id == fanE[n])
        {
            cont++;
            n++;
            if (n >= fanE.NVoxels)
                break;
        }

        if (id == 0)
            listaFantomaEntradaSID.Add(string.Format("{0}", cont));
        else
            listaFantomaEntradaSID.Add(string.Format("{0} {1}", cont, id));
    }
    else
        break;
}
}
```

Lista 4 – Exemplos de funções da classe *ZipHelper* utilizada para compactar e descompactar arquivos.

```
public static class ZipHelper
{
    ...

    public static byte[] ZipStr(string str)
    {
        using (MemoryStream output = new MemoryStream())
        {
            using (DeflateStream gzip = new DeflateStream(output, CompressionMode.Compress))
            {
                using (StreamWriter writer = new StreamWriter(gzip))
                {
                    writer.Write(str);
                }
            }
        }
        return output.ToArray();
    }
}

...

public static List<string> Unzip(byte[] vtbDados)
{
    List<string> listaStringSaida = new List<string>();
    using (MemoryStream inputStream = new MemoryStream(vtbDados))
    {
        using (GZipStream gzip = new GZipStream(inputStream, CompressionMode.Decompress))
        {
            using (StreamReader reader = new StreamReader(gzip))
            {
                string strLinhaAtual = reader.ReadLine();
                while (strLinhaAtual != null)
                {
                    listaStringSaida.Add(strLinhaAtual);
                }
            }
        }
    }
}
```

```

        strLinhaAtual = reader.ReadLine();
    }
}
}
}
return listaStringSaida;
}
...
}

```

Lista 5 – Trecho do código onde acontecem as personalizações realizadas no Passo 4.

```

<Grid x:Name="NavigationGrid" Style="{StaticResource NavigationGridStyle}" Background="#FF19411C">
<!--Campo da navegação com a personalização do ícone e do Título da Interface-->
  <Border x:Name="BrandingBorder" Style="{StaticResource BrandingBorderStyle}" >
    <StackPanel x:Name="BrandingStackPanel" Style="{StaticResource BrandingStackPanelStyle}">
      <Image Height="32" Name="image1" Stretch="Fill" Width="32"
        Source="/SID;component/Recursos/AppIcon032.png"/>
      <TextBlock x:Name="ApplicationNameTextBlock" Style="{StaticResource ApplicationNameStyle}"
        Text="Sistema de Informações Dosimétricas" Margin="5"
        Foreground="#FFF2F3F8"/>
    </StackPanel>
  </Border>
<!--Campo da navegação com as personalizações da página Home = Início e About = Suporte-->
  <Border x:Name="LinksBorder" Style="{StaticResource LinksBorderStyle}">
    <StackPanel x:Name="LinksStackPanel" Style="{StaticResource LinksStackPanelStyle}">
      <HyperlinkButton x:Name="Link1" Style="{StaticResource LinkStyle}"
        NavigateUri="/Inicio" TargetName="ContentFrame" Content="Início"
        Foreground="#FFF2F3F8"/>
      <Rectangle x:Name="Divider1" Style="{StaticResource DividerStyle}"/>
      <HyperlinkButton x:Name="Link2" Style="{StaticResource LinkStyle}"
        NavigateUri="/Suporte" TargetName="ContentFrame" Content="Suporte"
        Foreground="#FFF2F3F8"/>
    </StackPanel>
  </Border>
</Grid>

```

Lista 6 – Trecho de código de marcação com o layout da janela principal do SID.

```

<!--Controle Border para conter as Grids dos controles e a moldura (Frame) de navegação-->
<Border x:Name="ContentBorder" Style="{StaticResource ContentBorderStyle}">
  <Grid Margin="5">
    <Grid.ColumnDefinitions>
      <ColumnDefinition Width="275"/>
      <ColumnDefinition Width="*/>
    </Grid.ColumnDefinitions>
    <Grid Grid.Column="0">
<!-- Basic TreeView -->
      <ContentControl/>
      <controls:TreeView Margin="5" Width="300" Background="#FF808D80" Foreground="#FFF2F3F8"
        FontSize="12">
<!--Árvore Modelos Computacionais de Exposição-->
        <controls:TreeViewItem Header="Modelos Computacionais de Exposição" IsExpanded="True" >
          <controls:TreeViewItem Header="Dosimetria Externa" IsExpanded="True" Foreground="Orange"
            FontSize="12">
            <Button Content="E_FSTAEGSnrc" Height="23" HorizontalAlignment="Left" Margin="5,5,0,0"
              Name="button1" VerticalAlignment="Top" Width="140" Click="button1_Click" />
            <Button Content="E_FSUPEGSnrc" Height="23" HorizontalAlignment="Left" Margin="5,5,0,0"
              Name="button2" VerticalAlignment="Top" Width="140" Click="button2_Click" />
            <Button Content="E_MSTAEGSnrc" Height="23" HorizontalAlignment="Left" Margin="5,5,0,0"
              Name="button3" VerticalAlignment="Top" Width="140" Click="button3_Click" />
            <Button Content="E_MSUPEGSnrc" Height="23" HorizontalAlignment="Left" Margin="5,5,0,0"
              Name="button4" VerticalAlignment="Top" Width="140" Click="button4_Click" />
          </controls:TreeViewItem>
          <controls:TreeViewItem Header="Dosimetria Interna" IsExpanded="True" Foreground="Orange"
            FontSize="12">
            <HyperlinkButton
              NavigateUri="http://www.dosimetrianumerica.org/adminarquivo/download/path/|home|dosimet
                r|public_html|softwares_files|DoRadIo|DosimetriaInterna_Instalador.msi"
              Content="DoRadIo" TargetName="new"

```

```

        IsEnabled="True" FontSize="14" Width="300" Height="25" Foreground="Khaki"/>
<Button Content="I_FSTAEGSnrc" Height="23" HorizontalAlignment="Left" Margin="5,5,0,0"
Name="button5" VerticalAlignment="Top" Width="140" Click="button5_Click"
        IsEnabled="False"/>
<Button Content="I_FSUPEGSnrc" Height="23" HorizontalAlignment="Left" Margin="5,5,0,0"
Name="button6" VerticalAlignment="Top" Width="140" Click="button6_Click"
        IsEnabled="False"/>
<Button Content="I_MSTAEGSnrc" Height="23" HorizontalAlignment="Left" Margin="5,5,0,0"
Name="button7" VerticalAlignment="Top" Width="140" Click="button7_Click"
        IsEnabled="False" />
<Button Content="I_MSUPEGSnrc" Height="23" HorizontalAlignment="Left" Margin="5,5,0,0"
Name="button8" VerticalAlignment="Top" Width="140" Click="button8_Click"
        IsEnabled="False"/>
    </controls:TreeViewItem>
</controls:TreeViewItem>
<!-- Árvore Banco de Dados-->
    <controls:TreeViewItem Header="Banco de Dados" IsExpanded="True">
        <HyperlinkButton x:Name="Link3" Style="{StaticResource LinkStyle}"
            NavigateUri="/Fantomas" TargetName="ContentFrame" Content="Fantomas"
            Foreground="Orange" />
        <HyperlinkButton x:Name="Link4" Style="{StaticResource LinkStyle}"
            NavigateUri="/ResultadosDosimetricos" TargetName="ContentFrame"
            Content="ResultadosDosimetricos" Foreground="Orange" />
        <HyperlinkButton x:Name="Link5" Style="{StaticResource LinkStyle}"
            NavigateUri="/ProtocolosRadiodiagnosticos" TargetName="ContentFrame"
            Content="Protocolos de Radiodiagnósticos" Foreground="Orange" />
    </controls:TreeViewItem>
</controls:TreeView>
</Grid>
<!--Frame de navegação-->
    <Grid Grid.Column="1" Margin="5">
        <navigation:Frame x:Name="ContentFrame" Style="{StaticResource ContentFrameStyle}"
            Source="/Inicio" Navigated="ContentFrame_Navigated"
            NavigationFailed="ContentFrame_NavigationFailed" Height="579" Margin="6,6,0,0">
            <navigation:Frame.UriMapper>
                <uriMapper:UriMapper>
                    <uriMapper:UriMapping Uri="/{pageName}" MappedUri="/Views/{pageName}.xaml"/>
                </uriMapper:UriMapper>
            </navigation:Frame.UriMapper>
        </navigation:Frame>
    </Grid>
</Grid>
</Border>

```

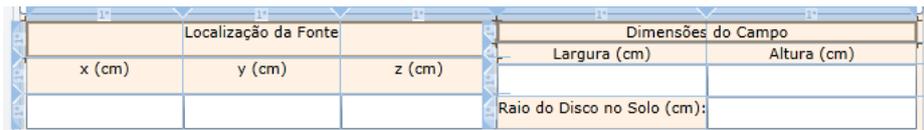
Lista 7 – Controles e marcação XAML para os controles relativos às *Fontes Disponíveis*.



```

<TextBlock Text="Fontes Disponíveis" />
<ComboBox Name="comboBoxFontes" Background="White"
        SelectionChanged="comboBoxFontes_SelectionChanged">
    <ComboBox.Items>
        <ComboBoxItem Content="1 - Paralela, Anterior_Posterior" />
        <ComboBoxItem Content="2 - Paralela, Posterior_Anterior" />
        <ComboBoxItem Content="3 - Paralela, Lateral_Direita" />
        <ComboBoxItem Content="4 - Paralela, Lateral_Esquerda" />
        <ComboBoxItem Content="5 - Paralela, Rotacional" />
        <ComboBoxItem Content="6 - Pontual, Anterior_Posterior" />
        <ComboBoxItem Content="7 - Pontual, Posterior_Anterior" />
        <ComboBoxItem Content="8 - Pontual, Lateral_Direita" />
        <ComboBoxItem Content="9 - Pontual, Lateral_Esquerda" />
        <ComboBoxItem Content="10 - Pontual, Rotacional" />
        <ComboBoxItem Content="11 - Isotrópica no Espaço (4PI)" />
        <ComboBoxItem Content="12 - Isotrópica no Hemisfério Superior (2PI)" />
        <ComboBoxItem Content="13 - Isotrópica num Plano Circular" />
    </ComboBox.Items>
</ComboBox>

```

Lista 8 – Ambiente de *design* para a localização e dimensões da fonte.

```

<Grid Margin="5">
  <Grid.ColumnDefinitions>
    <ColumnDefinition Width="350"/>
    <ColumnDefinition />
  </Grid.ColumnDefinitions>
  <!-- Localização -->
  <Grid Grid.Column="0">
    <Grid.ColumnDefinitions>
      <ColumnDefinition />
      <ColumnDefinition />
      <ColumnDefinition />
    </Grid.ColumnDefinitions>
    <Grid.RowDefinitions>
      <RowDefinition />
      <RowDefinition />
      <RowDefinition />
    </Grid.RowDefinitions>
    <TextBlock Grid.Column="0" Grid.ColumnSpan="3" Grid.Row="0" TextAlignment="Center"
    Text="Localização da Fonte"/>
    <TextBlock Grid.Column="0" Grid.Row="1" TextAlignment="Center" Text="x (cm)"/>
    <TextBlock Grid.Column="1" Grid.Row="1" TextAlignment="Center" Text="y (cm)"/>
    <TextBlock Grid.Column="2" Grid.Row="1" TextAlignment="Center" Text="z (cm)"/>
    <TextBox Name="textBoxXS" Grid.Column="0" Grid.Row="2" TextAlignment="Center" />
    <TextBox Name="textBoxYS" Grid.Column="1" Grid.Row="2" TextAlignment="Center" />
    <TextBox Name="textBoxZS" Grid.Column="2" Grid.Row="2" TextAlignment="Center" />
  </Grid>
  <!-- Dimensões -->
  <Grid Grid.Column="1">
    <Grid.ColumnDefinitions>
      <ColumnDefinition />
      <ColumnDefinition />
    </Grid.ColumnDefinitions>
    <Grid.RowDefinitions>
      <RowDefinition />
      <RowDefinition />
      <RowDefinition />
      <RowDefinition />
    </Grid.RowDefinitions>
    <TextBlock Grid.Column="0" Grid.Row="0" Grid.ColumnSpan="2" TextAlignment="Center"
    Text="Dimensões do Campo" />
    <TextBlock Grid.Column="0" Grid.Row="1" TextAlignment="Center" Text="Largura (cm)" />
    <TextBlock Grid.Column="1" Grid.Row="1" TextAlignment="Center" Text="Altura (cm)" />
    <TextBox Name="textBoxFW" Grid.Column="0" Grid.Row="2" TextAlignment="Center" />
    <TextBox Name="textBoxFH" Grid.Column="1" Grid.Row="2" TextAlignment="Center" />

    <TextBlock Name="textBlockRaioDisco" Text="Raio do Disco no Solo (cm):" Grid.Column="0"
    Grid.Row="3" TextAlignment="Right" Visibility="Collapsed"/>
    <TextBox Name="textBoxRaioDisco" Grid.Column="1" Grid.Row="3" TextAlignment="Center"
    Visibility="Collapsed" />
  </Grid>
</Grid>

```

Lista 9 – Controles relacionados às definições das energias e marcação XAML correspondente.

```

<TextBlock Text="Energia da Fonte" Height="20" />
  <Grid Margin="5">
    <Grid.ColumnDefinitions>
      <ColumnDefinition Width="350"/>
      <ColumnDefinition />
    </Grid.ColumnDefinitions>
    <Grid.RowDefinitions>
      <RowDefinition />
      <RowDefinition />
    </Grid.RowDefinitions>

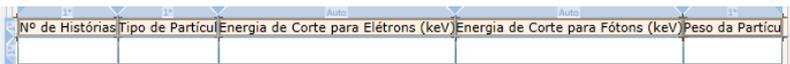
```

```

</Grid.RowDefinitions>
<RadioButton Content="Espectros de Energias" Grid.Column="0" Grid.Row="0"
  GroupName="groupNameEnergia" Name="radioButtonEspectrosEnergias"
  Checked="RadioButtonEnergia_Checked" />
<ComboBox Name="comboBoxEspectrosEnergias" Grid.Column="0" Grid.Row="1"
  Background="White" Visibility="Visible"
  SelectionChanged="comboBoxEspectrosEnergias_SelectionChanged" />
<RadioButton Content="Conjunto de Energias (keV) Separadas por um Espaço"
  Grid.Column="1" Grid.Row="0" GroupName="groupNameEnergia"
  Name="radioButtonConjuntoEnergias"
  Checked="RadioButtonEnergia_Checked" />
<TextBox Name="textBoxConjuntoEnergias" Grid.Column="1" Grid.Row="1"
  Visibility="Visible"/>
</Grid>

```

Lista 10 – Controles e marcação para o número de histórias, tipo de partícula, energia de corte para elétrons, energia de corte para fótons e peso da partícula de uma dada simulação.



Nº de Histórias	Tipo de Partícula	Energia de Corte para Elétrons (keV)	Energia de Corte para Fótons (keV)	Peso da Partícula

```

<Grid Margin="5">
  <Grid.ColumnDefinitions>
    <ColumnDefinition />
    <ColumnDefinition />
    <ColumnDefinition Width="Auto" />
    <ColumnDefinition Width="Auto" />
    <ColumnDefinition />
  </Grid.ColumnDefinitions>
  <Grid.RowDefinitions>
    <RowDefinition />
    <RowDefinition />
  </Grid.RowDefinitions>
  <TextBlock Text="Nº de Histórias" Grid.Column="0" Grid.Row="0" TextAlignment="Center"/>
  <TextBox Name="textBoxNHistorias" Grid.Column="0" Grid.Row="1" TextAlignment="Center"/>
  <TextBlock Text="Tipo de Partícula" Grid.Column="1" Grid.Row="0" TextAlignment="Center"/>
  <TextBox Name="textBoxTipoParticula" Grid.Column="1" Grid.Row="1" TextAlignment="Center"/>
  <TextBlock Text="Energia de Corte para Elétrons (keV)" Grid.Column="2" Grid.Row="0"
  TextAlignment="Center"/>
  <TextBox Name="textBoxECT" Grid.Column="2" Grid.Row="1" TextAlignment="Center"/>
  <TextBlock Text="Energia de Corte para Fótons (keV)" Grid.Column="3" Grid.Row="0"
  TextAlignment="Center"/>
  <TextBox Name="textBoxPCT" Grid.Column="3" Grid.Row="1" TextAlignment="Center"/>
  <TextBlock Text="Peso da Partícula" Grid.Column="4" Grid.Row="0" TextAlignment="Center"/>
  <TextBox Name="textBoxWT" Grid.Column="4" Grid.Row="1" TextAlignment="Center"/>
</Grid>

```

Lista 11 – Três controles *Button* e suas marcações.



```

<Button Name="buttonCalcular" Height="30" Width="200" Click="buttonCalcular_Click" IsEnabled="False">
  Calcular e Mostrar Resultados...
</Button>
<Button Name="buttonSalvar" Height="30" Width="200" IsEnabled="False" Click="buttonSalvar_Click">
  Salvar Expo.egsinp...
</Button>
<Button Name="CancelButton" Content="Cancelar" Click="CancelButton_Click" Width="75" Height="23"/>

```

Lista 12 – Código em C# no arquivo *E_FSTAEGSrc.cs*.

```

namespace SID.DosimetriaExterna
{
  public partial class E_FSTAEGSrc : ChildWindow
  {
    #region Membros de Dados
    private char separadorIngles = '.', separadorPortugues = ',';
    private List<string> strListaMSpectra, strListaNomesEspectros;
    private string strConjuntoEnergias, strFonteSelecionada;

```

```

private string[] strConjuntoEnergias;
private int NEnergias, NFonte, NESpectro, NHistorias, TipoParticula;
private double YIQ = 1, raioDiscoSolo, ECT, PCT, WT;
private Point3D ptr3dXSYSZS, ptr3dVoxelCLF = new Point3D(0.12, 0.12, 0.12);
private Point ptr2dFWFH;
private List<string> strListaSaida;
#endregion Membros de Dados/Final

#region Construtor
public E_FSTAEGSnrc()
{
    InitializeComponent();

    this.comboBoxFontes.SelectedIndex = 0; //Recebe a seleção do usuário para disponibilizar as fontes.

    //Lê o arquivo mspectra.txt e transfere o conteúdo para a lista strListaMSpectra
    //Cria a lista de nomes de espectros
    this.strListaMSpectra = new List<string>();
    this.strListaNomesEspectros = new List<string>();

    string[] strMSpectra = Resource.mspectra.Split('\n');
    string strChave = "kVcp";

    int i, j = 0;
    for (i = 0; i < strMSpectra.Length; i++)
        if (!strMSpectra[i].Equals(""))
        {
            this.strListaMSpectra.Add(strMSpectra[i].TrimEnd(new[] { '\r' }));

            if (this.strListaMSpectra[i].Contains(strChave))
                this.strListaNomesEspectros.Add(string.Format("{0,3} - {1}", (++j).ToString(),
this.strListaMSpectra[i]));
        }
        //String com valores de energia em keV
        this.strConjuntoEnergias = "10 15 20 30 40 50 60 70 80 100 150 200 300 500 1000 2000 3000 6000 10000";
    }
    #endregion Construtor/Final

    #region Funções de Eventos
    private void RadioButtonEnergia_Checked(object sender, RoutedEventArgs e)
    {
        RadioButton botaoMarcado = sender as RadioButton;

        if (botaoMarcado.IsChecked == true)
        {
            if (botaoMarcado == this.radioButtonEspectrosEnergias)
            {
                if (this.textBoxConjuntoEnergias.Visibility == Visibility.Visible)
                    this.textBoxConjuntoEnergias.Visibility = Visibility.Collapsed;

                if (this.comboBoxEspectrosEnergias.Visibility == Visibility.Collapsed)
                    this.comboBoxEspectrosEnergias.Visibility = Visibility.Visible;

                for (int i = 0; i < this.strListaNomesEspectros.Count; i++)
                    this.comboBoxEspectrosEnergias.Items.Add(this.strListaNomesEspectros[i]);

                this.comboBoxEspectrosEnergias.SelectedIndex = 0;
            }
            else
            {
                if (this.textBoxConjuntoEnergias.Visibility == Visibility.Collapsed)
                    this.textBoxConjuntoEnergias.Visibility = Visibility.Visible;

                if (this.comboBoxEspectrosEnergias.Visibility == Visibility.Visible)
                    this.comboBoxEspectrosEnergias.Visibility = Visibility.Collapsed;

                this.textBoxConjuntoEnergias.Text = this.strConjuntoEnergias;
            }

            if (!this.buttonCalcular.IsEnabled)
                this.buttonCalcular.IsEnabled = true;
        }
    }

    private void comboBoxFontes_SelectionChanged(object sender, SelectionChangedEventArgs e)
    {
        ComboBoxItem comboBoxItemFonteAtual = (sender as ComboBox).SelectedItem as ComboBoxItem;

        this.textBoxRaioDisco.Text = "2000,00"; // Raio do disco no caso da fonte isotrópica planar
        this.textBoxNHistorias.Text = "1E7"; // Número de histórias
        this.textBoxTipoParticula.Text = "0"; // 0 = fótons; 1 = elétrons
    }
}

```

```

this.textBoxECT.Text = "20";// Energia de Corte para elétrons em keV
this.textBoxPCT.Text = "2";// Energia de Corte para fótons em keV
this.textBoxWT.Text = "1";// Peso da radiação = fótons

if (comboBoxItemFonteAtual == this.comboBoxFontes.Items[0])//Paralela AP
{
    this.textBoxXS.Text = "26,64";
    this.textBoxYS.Text = "-10000,00";
    this.textBoxZS.Text = "81,36";
    this.textBoxFW.Text = "53,28";
    this.textBoxFH.Text = "162,72";
}
else if (comboBoxItemFonteAtual == this.comboBoxFontes.Items[1])//Paralela PA
{
    this.textBoxXS.Text = "26,64";
    this.textBoxYS.Text = "10000,00";
    this.textBoxZS.Text = "81,36";
    this.textBoxFW.Text = "53,28";
    this.textBoxFH.Text = "162,72";
}
else if (comboBoxItemFonteAtual == this.comboBoxFontes.Items[2])//Paralela LD
{
    this.textBoxXS.Text = "-10000,00";
    this.textBoxYS.Text = "15,48";
    this.textBoxZS.Text = "81,36";
    this.textBoxFW.Text = "30,96";
    this.textBoxFH.Text = "162,72";
}
else if (comboBoxItemFonteAtual == this.comboBoxFontes.Items[3])//Paralela LE
{
    this.textBoxXS.Text = "10000,00";
    this.textBoxYS.Text = "15,48";
    this.textBoxZS.Text = "81,36";
    this.textBoxFW.Text = "30,96";
    this.textBoxFH.Text = "162,72";
}
else if (comboBoxItemFonteAtual == this.comboBoxFontes.Items[4])//Rotacional
{
    this.textBoxXS.Text = "26,64";
    this.textBoxYS.Text = "-10000,00";
    this.textBoxZS.Text = "81,36";
    this.textBoxFW.Text = "53,28";
    this.textBoxFH.Text = "162,72";
}
else if (comboBoxItemFonteAtual == this.comboBoxFontes.Items[4])//Isotrópica no Hemisfério Superior (2PI)
{
    this.textBoxXS.Text = "26,64";
    this.textBoxYS.Text = "-10000,00";
    this.textBoxZS.Text = "81,36";
    this.textBoxFW.Text = "53,28";
    this.textBoxFH.Text = "162,72";
}
else if (comboBoxItemFonteAtual == this.comboBoxFontes.Items[12])//Fonte do solo
{
    this.textBoxXS.Text = "26,64";
    this.textBoxYS.Text = "-10000,00";
    this.textBoxZS.Text = "81,36";
    this.textBoxFW.Text = "53,28";
    this.textBoxFH.Text = "162,72";

    if (this.textBoxRaioDisco.Visibility == Visibility.Collapsed)
        this.textBoxRaioDisco.Visibility = Visibility.Visible;
    if (this.textBoxRaioDisco.Visibility == Visibility.Collapsed)
        this.textBoxRaioDisco.Visibility = Visibility.Visible;
    this.textBoxRaioDisco.Focus();
}
}

private void comboBoxEnergias_SelectionChanged(object sender, SelectionChangedEventArgs e)
{
    ComboBox comboBoxAtual = sender as ComboBox;

    string str = comboBoxAtual.SelectedItem.ToString();

    if (!string.IsNullOrEmpty(comboBoxAtual.SelectedItem.ToString()))
    {
        //Nº de energias no laço interno no EGSnrc
        this.NEnergias = 1;

        //Nº do espectro selecionado
        string strEspectroEnergiaAtual = (sender as ComboBox).SelectedItem as string;
        string[] strPartes = CGeraisWPF.StrComApenasUmEspaco(strEspectroEnergiaAtual).Split('-');
        this.NEspectro = Convert.ToInt32(strPartes[0]);
    }
}

```

```

private void buttonCalcular_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    TextBox textBoxProblema = new TextBox();
    try
    {
        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxXS.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxXS;
            throw new Exception("Digite um valor para a coordenada X da fonte!");
        }
        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxYS.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxYS;
            throw new Exception("Digite um valor para a coordenada Y da fonte!");
        }
        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxZS.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxZS;
            throw new Exception("Digite um valor para a coordenada Z da fonte!");
        }

        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxFW.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxFW;
            throw new Exception("Digite um valor para a largura do campo!");
        }
        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxFH.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxFH;
            throw new Exception("Digite um valor para a altura do campo!");
        }

        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxNHistorias.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxNHistorias;
            throw new Exception("Digite um valor para o número de histórias!");
        }
        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxTipoParticula.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxTipoParticula;
            throw new Exception("Digite um valor para o tipo de partícula\n 0 = fótons\n 1 = Elétrons\n-1 =
Pósitrons!");
        }
        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxECT.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxECT;
            throw new Exception("Digite um valor para a energia de corte para elétrons!");
        }
        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxPCT.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxPCT;
            throw new Exception("Digite um valor para a energia de corte para fótons!");
        }
        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxWT.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxWT;
            throw new Exception("Digite um valor para o peso da partícula!");
        }

        if (string.IsNullOrEmpty(this.textBoxRaioDisco.Text))
        {
            textBoxProblema = this.textBoxRaioDisco;
            throw new Exception("Digite um valor para o raio do disco no solo!");
        }

        //Fonte selecionada
        this.strFonteSelecionada = this.comboBoxFontes.SelectedItem as string;
        string[] strPartes = this.strFonteSelecionada.Split('-');
        this.NFonte = Convert.ToInt32(strPartes[0]); //Parâmetro IGE no EGSnrc

        this.ptr3dXSYSZS = new Point3D(Convert.ToDouble(this.textBoxXS.Text),
Convert.ToDouble(this.textBoxYS.Text), Convert.ToDouble(this.textBoxZS.Text));

        this.ptr2dFWFH = new Point(Convert.ToDouble(this.textBoxFW.Text),
Convert.ToDouble(this.textBoxFH.Text));

        this.raioDiscoSolo = Convert.ToDouble(this.textBoxRaioDisco.Text);

        this.strConjuntoEnergias = this.textBoxConjuntoEnergias.Text;

        if (this.radioButtonEspectrosEnergias.IsChecked == true)
            this.NEnergias = 1;
        else if (this.radioButtonConjuntoEnergias.IsChecked == true)
        {

```

```

        strParts = CGeraisWPF.StrComApenasUmEspaco(this.strConjuntoEnergias).Split(' ');
        this.NEnergias = strParts.Length;
        this.strsConjuntoEnergias = new string[this.NEnergias];

        for (int i = 0; i < this.NEnergias; i++)
            this.strsConjuntoEnergias[i] = strParts[i];
    }

    this.NHistorias = Convert.ToInt32(Convert.ToDouble(this.textBoxNHistorias.Text));
    this.TipoParticula = Convert.ToInt32(this.textBoxTipoParticula.Text);
    this.ECT = Convert.ToDouble(this.textBoxECT.Text);
    this.PCT = Convert.ToDouble(this.textBoxPCT.Text);
    this.WT = Convert.ToDouble(this.textBoxWT.Text);

    this.CriaSalvaArquivoExpoInput("FSTA_");
}
catch (Exception pe)
{
    MessageBox.Show(pe.Message);
    textBoxProblema.Focus();
}
}

private void CancelButton_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    this.DialogResult = false;
}

private void buttonSalvar_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    SaveFileDialog dlg = new SaveFileDialog();
    dlg.Filter = "Arquivos de Texto (*.*) | *.egsinp";
    dlg.DefaultExt = "egsinp";

    bool? resposta = dlg.ShowDialog();
    if (resposta == true)
    {
        Stream fileStream = dlg.OpenFile();
        StreamWriter sw = new System.IO.StreamWriter(fileStream);

        for (int i = 0; i < strListaSaida.Count; i++)
            sw.WriteLine(strListaSaida[i]);

        sw.Close();
        fileStream.Close();

        MessageBoxResult resultado = MessageBox.Show("Deseja Fechar a Janela?", "Fim da Execução",
        MessageBoxButton.OKCancel); //MessageBoxButton.YesNo
        if (resultado == MessageBoxResult.OK)
            this.Close();
    }
}
}
#endregion Funções de Eventos/Final

#region Função Auxiliar
private void CriaSalvaArquivoExpoInput(string strNomeBase)
{
    //Cria a lista de saída
    this.strListaSaida = new List<string>();
    strListaSaida.Add("Dados de entrada para o MCE EGSNRC/FSTA_MICR0160 em exposições externas com o campo
centrado no eixo da fonte");
    strListaSaida.Add("micro");
    strListaSaida.Add(string.Format("{0,-26}{1,6}{2,6}{3,6}", "Dimensoes dos Voxels (cm):",
        this.ptr3dVoxelCLF.X.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
        this.ptr3dVoxelCLF.Y.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
        this.ptr3dVoxelCLF.Z.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles)));
    strListaSaida.Add(string.Format("{0,4}", this.NEnergias));

    //Bloco que se repete NEnergias vezes
    string[] strParts =
CGeraisWPF.StrComApenasUmEspaco(this.comboFontes.SelectedItem.ToString()).Split('-');
    // string strTemp = this.comboFontes.SelectedItem as string;
    // string[] strParts = CGeraisWPF.StrComApenasUmEspaco(strTemp).Split('-');

    string str5 = string.Format("Fonte usada: {0}", strParts[1]);

    string str6 = string.Format("{0,-26}{1,10}{2,10}{3,10}{4,10}{5,10}{6,10}{7,10}",
        "XS,YS,ZS,FW,FH,RQ,YIQ      :",
        this.ptr3dXSYSZS.X.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
        this.ptr3dXSYSZS.Y.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
        this.ptr3dXSYSZS.Z.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
        this.ptr2dFWFH.X.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
        this.ptr2dFWFH.Y.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
        this.raioDiscoSolo.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
        this.YIQ.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles));
}
}

```

```

//7ª linha
string strAntes = string.Format("{0,-26}{1,10}{2,4}{3,4}", "NTIM,IGE,NSPEC,EIN,NG,NUM:",
this.NHistorias.ToString(), strPartes[0], this.NEspectro.ToString());
int NSORG = 0; //Id do órgão-fonte (para dosimetria interna);
int nmicx = 8, nmicy = 3, nmicz = 8; //Nº de micro-matrizes no cluster (dosimetria óssea)
int mic_method = 1; //Seleção sistemática; 0 = seleção aleatória (dosimetria óssea)
int LTISS = 88; //Para dosimetria interna (esqueleto)
int KYBS = 1; //Para a medula BSC como alvo = 1, Sem = 0.
int ICOM = 1; //Rastreamento de elétrons para RBM e BSC (somente para fontes de fótons)
int IBONE = 0; //Seletor de ossos para fontes no esqueleto 31-50 (0 = Todo o esqueleto)
int LENDO = 1; // = 1: Modelo ICRP = "Endóstio como parte da medula"; // = 0: Modelo UF = "Endóstio não
faz parte da medula"
string strDepois = string.Format("{0,4}{1,4}{2,4}{3,4}{4,4}{5,4}{6,4}{7,4}{8,4}{9,4}",
NSORG,
nmicx, nmicy, nmicz,
mic_method,
LTISS, KYBS, ICOM, IBONE, LENDO);

double E6 = 5, E7 = 5, E10 = 5, E11 = 5;
double CF1 = 0.60, CF2 = 0.70, CF3 = 0.25, CF4 = 0.48, CF5 = 0.38;
double ALT = 35; //Fantoma adulto
string str8 =
string.Format("{0,26}{1,4}{2,6}{3,6}{4,6}{5,6}{6,6}{7,6}{8,6}{9,5}{10,5}{11,5}{12,5}{13,5}{14,5}",
"IQ,ECT,PCT,WT,EC6,7,10,11:",
this.TipoParticula.ToString(),
this.ECT.ToString(), this.PCT.ToString(),
this.WT.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
E6.ToString(), E7.ToString(), E10.ToString(), E11.ToString(),
CF1.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
CF2.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
CF3.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
CF4.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
CF5.ToString("F2").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles),
ALT.ToString("F1").Replace(this.separadorPortugues, this.separadorIngles));
string str9 = string.Format("{0,-26}{1}2}", "Resultados no arquivo : ", strNomeBase,
this.textBoxNHistorias.Text);

double[] vtrEnergias = new double[this.NEnergias];
int i;
if (this.radioButtonEspectrosEnergias.IsChecked == true)
vtrEnergias[0] = 100;
else
{
strsPartes = CGeraisWPF.StrComApenasUmEspaco(this.strConjuntoEnergias).Split(' ');
for (i = 0; i < vtrEnergias.Length; i++)
vtrEnergias[i] = Convert.ToDouble(strsPartes[i]);
}

for (i = 0; i < NEnergias; i++)
{
strsListaSaida.Add(str5);
strsListaSaida.Add(str6);
strsListaSaida.Add(string.Format("{0}{1,8}{2}", strAntes, vtrEnergias[i].ToString(), strDepois));
strsListaSaida.Add(str8);
strsListaSaida.Add(str9);
strsListaSaida.Add("");
}

if (!this.buttonSalvar.IsEnabled)
this.buttonSalvar.IsEnabled = true;
}
#endregion Função Auxiliar/Final
}
}
}

```

Lista 13 – Código em C# para a conexão e povoamento do BD SID_Dados no MySQL.

```

private void EnviaBDMysql_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
 MySqlConnection con = new MySqlConnection("Server=localhost;database=SID_Dados;user id = root;
password = senha"); //Autenticação com senha
 MySqlDataAdapter da = new MySqlDataAdapter("Select * From FantomasZIP", con); // Controla a
interação com fontes de dados existentes.
 MySqlCommandBuilder MyCB = new MySqlCommandBuilder(da); //Cria um objeto SqlCommandBuilder para
gerar automaticamente as atualizações de uma tabela. Qualquer declaração adicional é gerada
pelo SqlCommandBuilder.
 DataSet ds = new DataSet("FantomasZIP"); //Inicializa uma nova instância de uma classe
System.Data.DataSet com o nome dado (independe da fonte de dados).
//DataSet = Representa uma memória cache dos dados.

da.MissingSchemaAction = MissingSchemaAction.AddWithKey; //Adiciona as colunas necessárias para

```

```

    completar o esquema.
    FileStream fs = new FileStream(@"C:\\base\\mash3_sup.ZIP", FileMode.OpenOrCreate,
        FileAccess.Read);

    byte[] MyData = new byte[fs.Length]; //Define o objeto MyData como uma matriz do tipo Byte <-->
    obtém o comprimento em bytes do fluxo para o MyData.
    fs.Read(MyData, 0, System.Convert.ToInt32(fs.Length)); //Lê um bloco de bytes do fluxo e grava
    os dados em um buffer (retentor) que é uma região de memória temporária utilizada para
    escrita e leitura de dados..

    fs.Close(); //Fecha o FileStream

    da.Fill(ds, "FantomasZIP"); // O método Fill do DataAdapter é usado para preencher um DataSet.

    DataRow myRow; //Representa uma linha de dados em um System.Data.DataTable. (Tabela)
    myRow = ds.Tables["FantomasZIP"].NewRow(); //Obtém a coleção de tabelas contidas no
    System.Data.DataSet.

    myRow["Nome"] = "Nome do Fantoma"; //Aqui o nome do fantoma para armazenar
    myRow["Descrição"] = "Descrição"; // Aqui uma descrição rápida do arquivo
    myRow["Arquivo"] = MyData; //Carregamento do arquivo.
    ds.Tables["FantomasZIP"].Rows.Add(myRow); //Adiciona as linhas ao DataSet
    da.Update(ds, "FantomasZIP"); //Atualiza a tabela FantomasZIP

    con.Close(); //Fecha a conexão com o BD.
}

```

Lista 14 – Os códigos das funções de eventos Click da UI *SID_ZIP*.

```

private void buttonArquivosDadosZip_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    OpenFileDialog dlg = new OpenFileDialog();
    dlg.Title = "Abrir um arquivo *.txt...";
    dlg.Filter = "Arquivos de dados | *.data; *.sid; *.txt; *.*";
    dlg.DefaultExt = "txt";

    if (dlg.ShowDialog().Value)
    {
        ZipHelper.ZipFile(dlg.FileName);
        MessageBox.Show("Fim");
    }
}

private void buttonArquivosDadosUnzip_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    OpenFileDialog dlg = new OpenFileDialog();
    dlg.Title = "Abrir um arquivo *.zip (System.Compression.GZipStream)...";
    dlg.Filter = "Arquivos Compacatos | *.zip; *.*";
    dlg.DefaultExt = "zip";

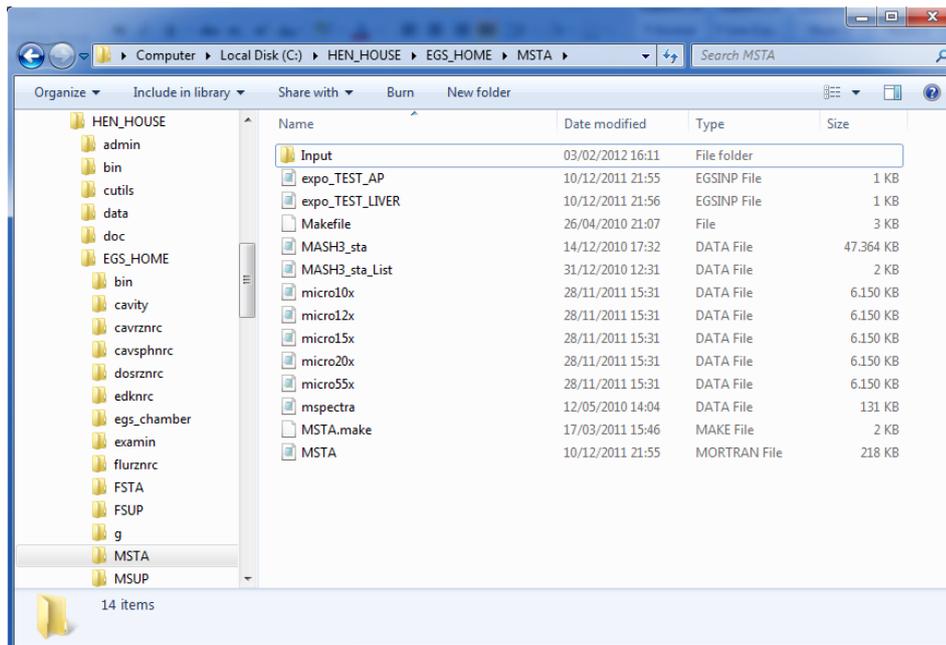
    if (dlg.ShowDialog().Value)
    {
        ZipHelper.Unzip(dlg.FileName);
        MessageBox.Show("Fim");
    }
}

```

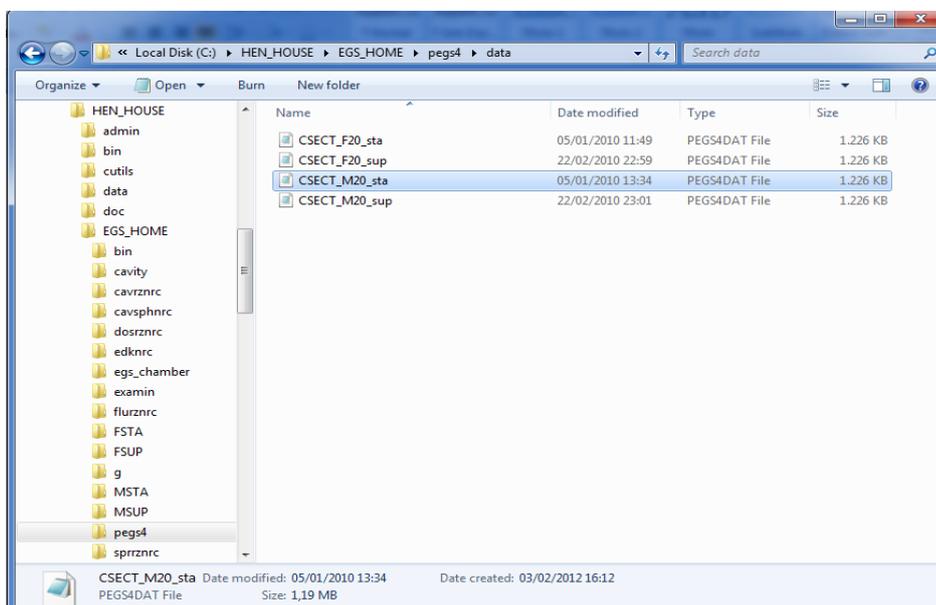
APÊNDICE B – Passos para executar o MCE MSTA/EGSnrc usando arquivo de lote.

Na sequência são apresentados os passos que vão desde a preparação da pasta principal de uma simulação MC no EGSnrc, passando pela preparação do arquivo *Batch* até a saída da simulação.

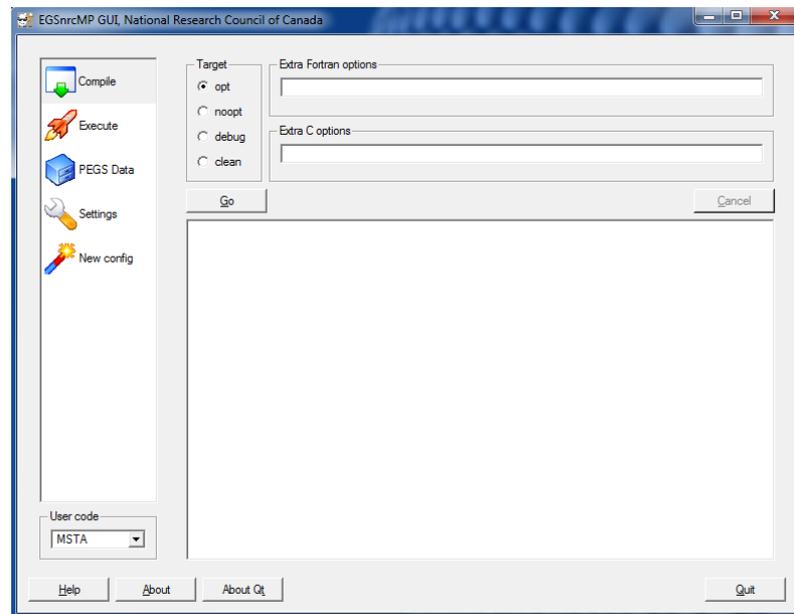
1. Na pasta ---> HEN_HOUSE ---> EGS_HOME ---> deve ser colocada a pasta de alvo da simulação, por exemplo, MSTA.



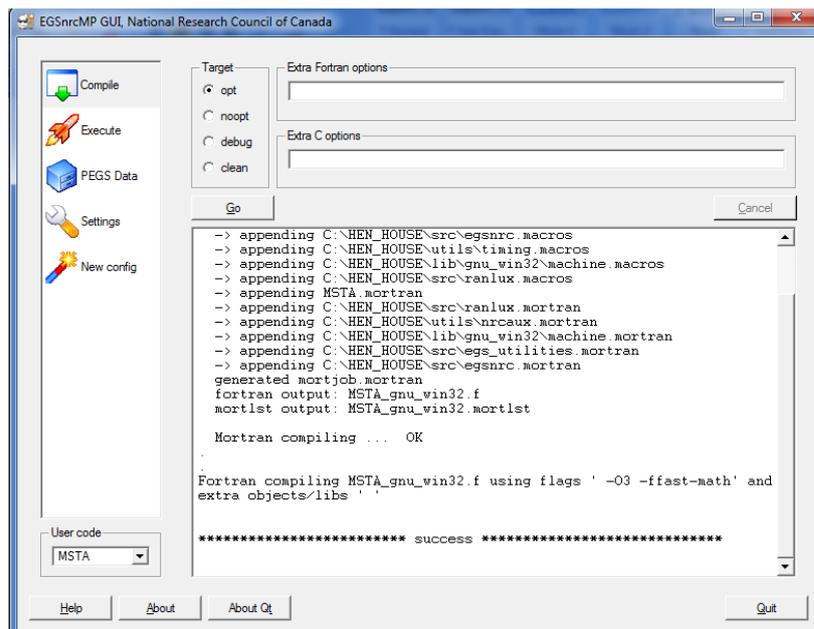
2. Na pasta HEN_HOUSE ---> EGS_HOME ---> pegs4 devem ser colocados os arquivos relativos às seções de choque, por exemplo, CSECT_M20_sta.



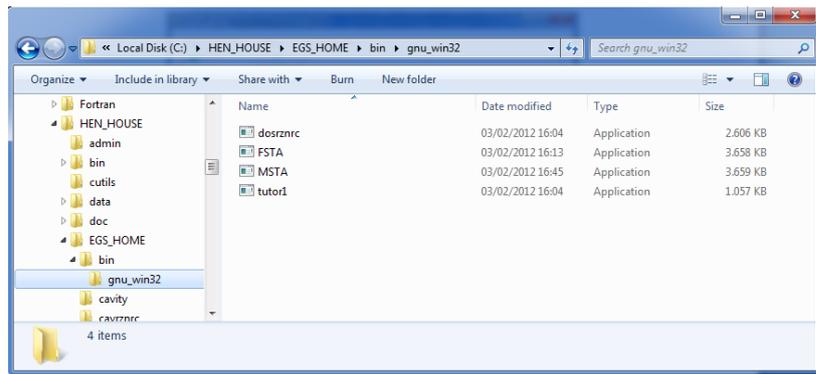
3. Abrir a interface o EGSnrc, escolher a pasta (MSTA):



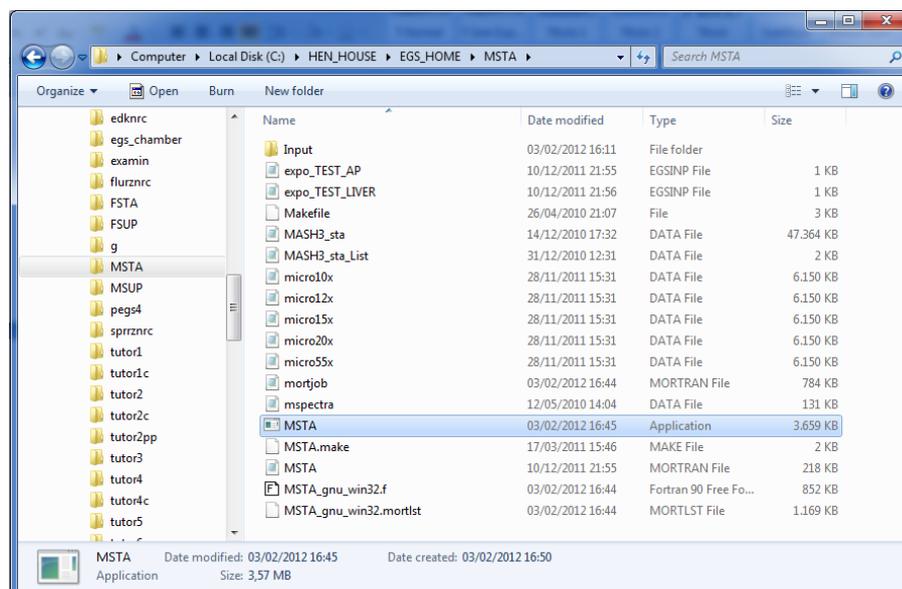
Clique em Go:



4. Vá até a pasta ---> HEN_HOUSE ---> EGS_HOME ---> Bin ---> gnu_win32.

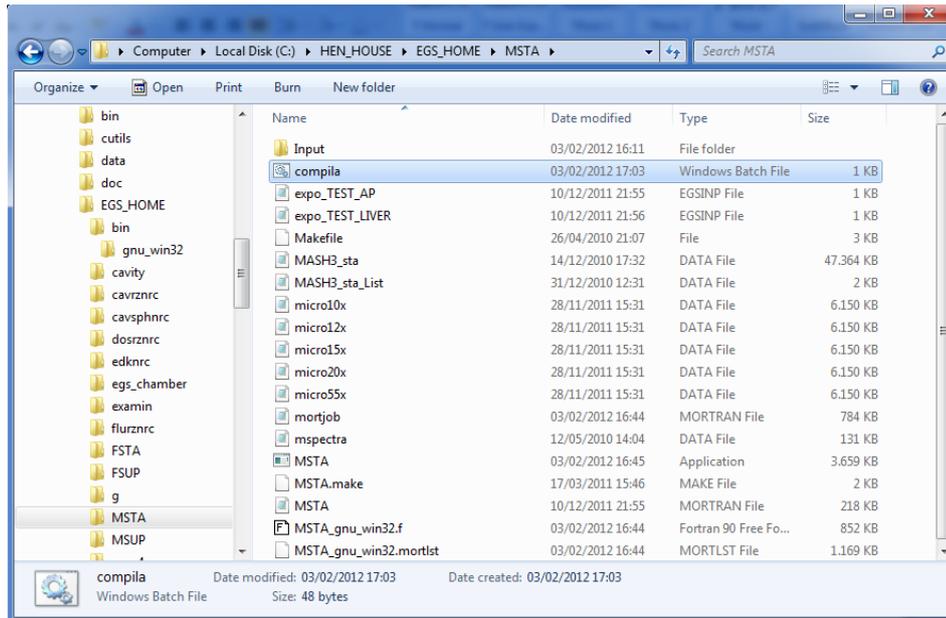


5. Copie o arquivo criado, por exemplo, MSTA.exe e leve para a pasta HEN_HOUSE ---> EGS_HOME ---> MSTA:

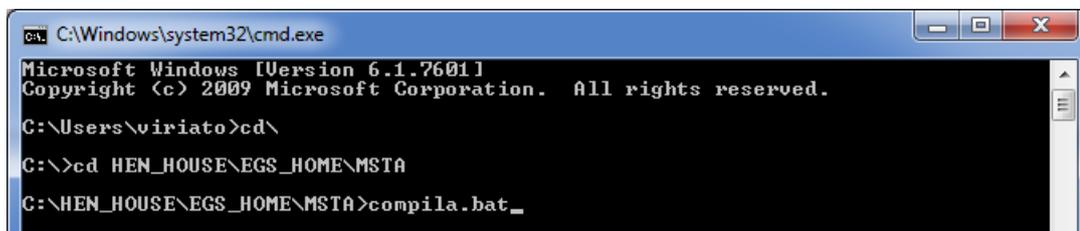


6. Neste ponto a pasta MSTA está com tudo pronto para a simulação que pode ser feita com a interface do EGSnrc.
7. Para fazer a simulação simultaneamente com todas as fontes é necessário criar um arquivo batch das fontes. Como exemplo criaremos um arquivo batch com apenas uma fonte, expo_TESTE_AP:

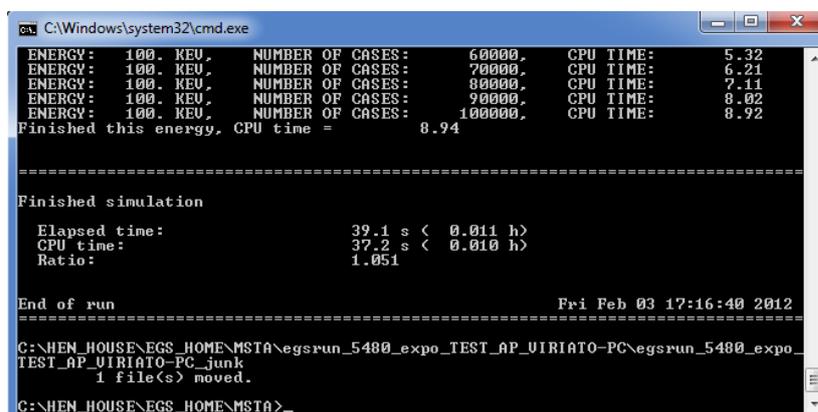
Procedimento: Abra o bloco de notas e copie o comando do cmd que será usado para a execução, no caso, `msta.exe -p csect_m20_sta -i expo_TEST_AP.egsinp` e salva com um nome qualquer na pasta MSTA. No nosso caso vamos salvar com o nome `compila.bat`.



8. Para executar, abrir o cmd e ir para a raiz:



Clique enter:



Finalmente, é concluída a simulação.

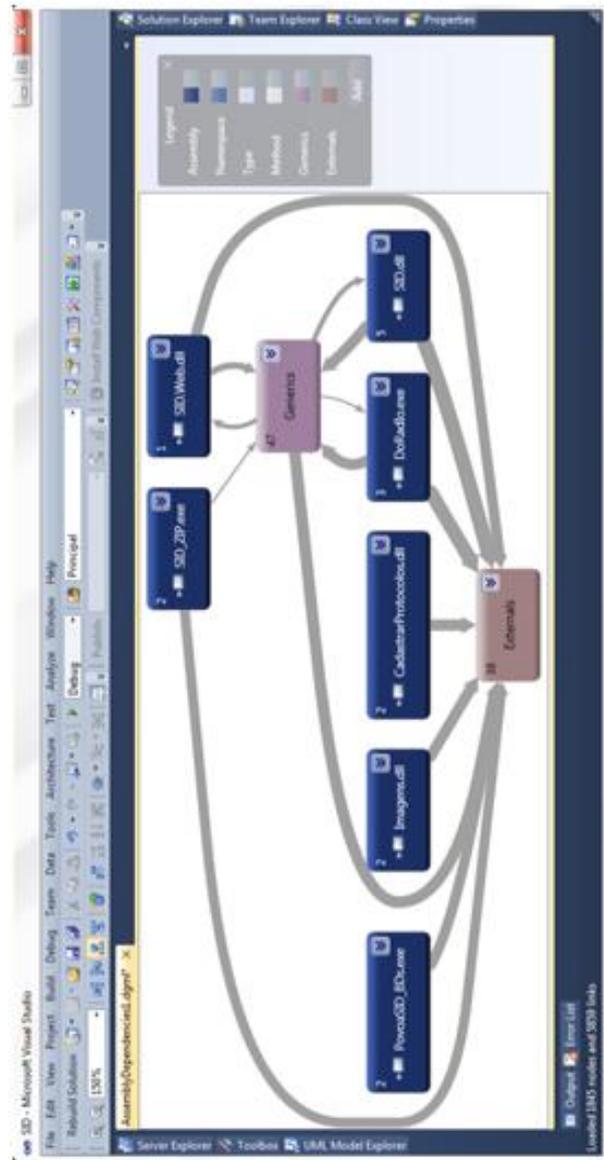
APÊNDICE C – Arquitetura do SID

A arquitetura do SID pode ser exibida no próprio IDE do MVS 2010. Na sequência é exibido o caminho para a construção e exibição dos gráficos de dependências. (a) por *Assembly*, (b) por *Namespace* e (c) por *Class*.

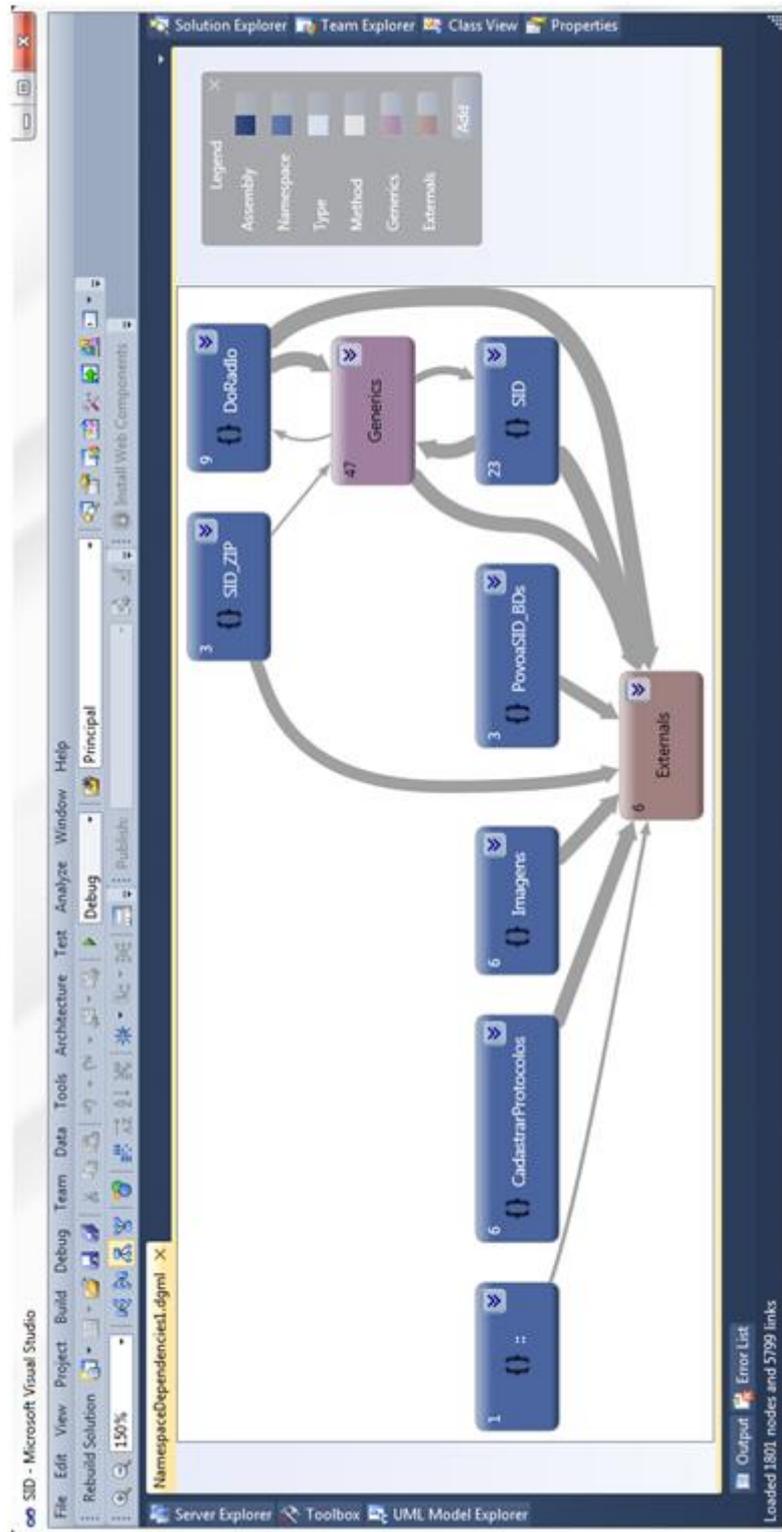
Caminho no IDE MVS



(a) Por *Assembly*.



(b) Por Namespace.



(c) Class (1ª parte)

