

MODELAGEM EM GEANT4 DE UM PHANTOM DE PEAD BASEADO EM IMAGENS TOMOGRÁFICAS PADRÃO DICOM

F. L. Silva.*, H. R. Schelin***, E. Milhoretto*, S. A. Paschuk*, V. Denyak***, I. Evseev*, J. C. Badelli** e M. V. W. Zibetti*

*CPGEI/UTFPR, Curitiba, Brasil

**PPGEM/UTFPR, Curitiba, Brasil

***IPPPP, Curitiba, Brasil

e-mail: fabricioloreni@gmail.com

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo adaptar o “Código Dicom” para conversão de imagens DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) de um *phantom* de polietileno de alta densidade (PEAD) em um *phantom* virtual para o Código Geant4 Release 4.9.3. Foi realizada a reestruturação do “Código Dicom” para reconhecer as densidades do *phantom* físico de PEAD. O código associa os valores de cada *pixel* da imagem DICOM do *phantom* físico de PEAD a uma densidade que irá representar os materiais que compõem o *phantom* virtual de PEAD. Para formar uma geometria tridimensional são acoplados os *pixels* de duas imagens ou dois cortes de tomografia computadorizada (CT), formando assim os *voxels*. Dos resultados obtidos foi observado que imagens de CT podem ser utilizadas para construção de *phantoms* virtuais para o Código Geant4. O trabalho demonstrou que após a estruturação do “Código Dicom” foi possível construir o *phantom* virtual para o Código Geant4 sem precisar programar as estruturas do *phantom* em C++. Uma vez que o *phantom* virtual apresentou geometrias e materiais com as mesmas características que compõem o *phantom* físico de PEAD.

Palavras-chaves: Tomografia Computadorizada, Geant4, *Phantom* de PEAD, DICOM, pCT.

Abstract: The present study had the objective of adapting “Dicom Code” for conversion of images DICOM (Imaging and Digital Communications in Medicine) of a phantom of high-density polyethylene (PEAD) in a phantom virtual for Geant4 Release 4.9.3. The restructuring was carried out of the “Dicom Code” to recognize the physical phantom densities of PEAD. The code associates the values of each pixel of the physical phantom of PEAD at a density that will represent the materials that make up the phantom PEAD virtual. To form a three-dimensional geometry are coupled the pixels in two images or two cuts of computed tomography (CT), thus forming the voxels. The results obtained it was observed that CT images can be used for construction of virtual phantoms for Geant4. The work showed that after structuring the “Dicom

Code” was possible to build the virtual phantom for Geant4 without having to program the phantom structures in C++. Once the phantom virtual presented the characteristics same geometry and materials that make up the physicist phantom of PEAD.

Keywords: Computed Tomography, Geant4, PEAD Phantom, DICOM, pCT.

Introdução

No Centro Médico da Universidade de Loma Linda (LLUMC) está sendo desenvolvido um protótipo de um tomógrafo que utiliza como fonte de radiação um feixe de prótons (pCT). O desenvolvimento de um pCT tem por finalidade aumentar a eficiência do tratamento por prótons através da união dos dois equipamentos. A utilização concomitante dos dois equipamentos pode trazer um aumento significativo na precisão e rapidez do exame, uma vez que o planejamento do tratamento e o posicionamento podem ser feitos de forma simultânea [1]. O protótipo de pCT tem capacidade para trabalhar com valores de energia de até 250MeV [2]. O funcionamento da pCT pode ser explorada através de simulações de Monte Carlo. Os dados adquiridos com a simulação podem ser utilizados para nortear a parte experimental. Uma vez que, através das simulações, é possível concluir se o investimento terá o retorno desejado ou não [3].

Um dos códigos mais conceituados e utilizados pelos pesquisadores, atualmente, para simulações de Monte Carlo, é o Código Geant4 (Geometry and Track). O Código Geant4 é basicamente uma ferramenta para simulação da interação de partículas com a matéria. Para gerar a simulação o usuário pode alterar o código, que é extremamente flexível e provido de um conjunto de sub-rotinas para definição de materiais, geometrias e propriedades de partículas de acordo com as necessidades. O Código Geant4 foi desenvolvido pela Organização Europeia Para a Pesquisa Nuclear - CERN [4].

O Código Geant4 Release 4.9.3 possui em seus exemplos médicos um código, denominado “Código Dicom”, desenvolvido por pesquisadores do Centre

Hospitaller Universitaire de Quebec no Canadá [5]. Em [6] realizamos as primeiras alterações no “*Código Dicom*” para a conversão de imagens DICOM de Tomografia Computadorizada (CT) de crânio real humano em um *phantom* virtual, representado por uma matriz de diferentes tipos de tecidos que compõem o crânio humano. Para realizar essa conversão, foi reestruturado o “*Código Dicom*” original para reconhecer as estruturas que compõem o crânio humano. Pois, o código original foi construído para reconhecer estruturas que fazem parte do tórax humano. Como tecido pulmonar, tecido mamário, tecido adiposo.

Essa técnica de conversão direta de um objeto físico em um *phantom* virtual faz com que não seja necessária a programação da geometria desejada, economizando tempo e diminuindo a estimativa de erros inerentes da programação de *phantoms*, que possuem várias geometrias que darão forma a um único objeto virtual [7]. Também foi construído um *phantom* de polietileno de alta densidade (PEAD), com características compatíveis com o suporte do protótipo da LLUMC. Este *phantom* foi testado no protótipo do LLUMC com feixe de 200MeV para fazer o processamento das informações obtidas pelos detectores do protótipo [8]. Em trabalhos futuros espera-se comparar os dados obtidos no protótipo com simulações em Geant4.

O presente trabalho tem por objetivo adaptar o “*Código Dicom*” para conversão das imagens DICOM de tomografia do *phantom* de PEAD em um *phantom* virtual, representado por uma matriz de diferentes tipos de materiais.

Como este *phantom* de PEAD possui geometria simples e materiais conhecidos serão de extrema importância para testar as alterações realizadas em trabalhos anteriormente [6] no “*Código Dicom*”. Que fazia uso de estruturas irregulares e com um número superior de elementos com diferentes densidades.

Materiais e métodos

Para a conversão da imagem de CT do *phantom* físico de PEAD em um *phantom* virtual de PEAD para o Código Geant4 se faz necessário instalação e a configuração do Código Geant4 em Linux e Microsoft Windows XP para as simulações pretendidas, assim como a reestruturar o “*Código Dicom*” com as densidades do *phantom* de PEAD.

O *phantom* físico que será utilizado por este trabalho é de polietileno de alta densidade (PEAD), densidade de $0,9\text{g/cm}^3$, com diâmetro externo de 150mm e núcleo de material acrílico, densidade de $1,18\text{g/cm}^3$, e com um pino central de 27mm de diâmetro no centro, conforme a Figura 1.

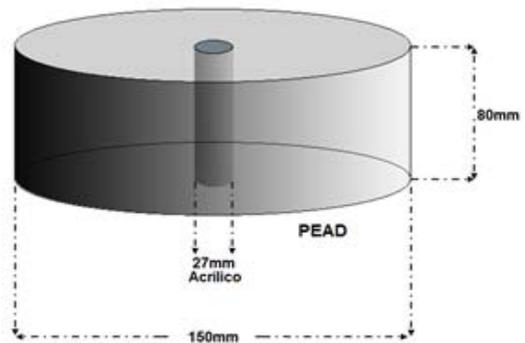


Figura 1 – Representação da estrutura do *phantom* físico de PEAD [7].

Na Figura 2 é possível observar na esquerda superior um dos cortes, na esquerda inferior o corte coronal, na direita superior o corte sagital e na direita inferior a reconstrução 3D das imagens de tomografia convencional do *phantom* físico de PEAD.

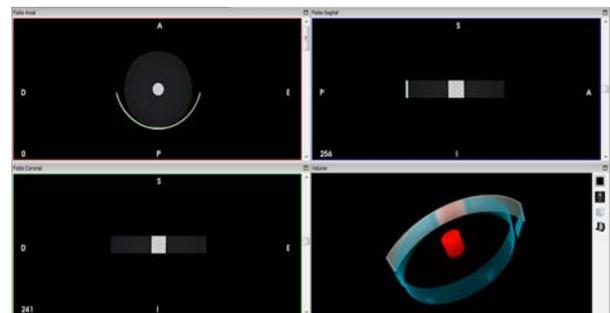


Figura 2 - Imagens de CT do *phantom* físico de PEAD. Corte sagital, coronal e a reconstrução 3D.

O “*Código Dicom*” associa o número de cada *pixel* da imagem DICOM a uma densidade, e fazendo uso da ICRU 46, associa a respectiva densidade a um material. Para formar uma geometria tridimensional são acoplados os *pixels* de duas imagens ou dois cortes de CT, formando assim os *voxels*. Os valores dos *pixels* da imagem DICOM de CT representam números, Escala Hounsfield, que são convertidos para uma determinada densidade. Uma vez conhecidas as densidades podemos associá-la aos materiais que compõem o *phantom* físico de PEAD.

Resultados

Depois de compilar o código, com dois cortes de CT do *phantom* físico de PEAD, converter cada intensidade de pixel para uma determinada densidade e associá-lo a uma determinada faixa de densidade, temos os dois arquivos de saída, o PEAD.gdcm e outro PEAD.eps. O arquivo PEAD.g4dcm é uma matriz de 128×128 composta pelos números de 0, 3, 4, e 6 que correspondem respectivamente: ar, PEAD, acrílico e outro material que foi usado como suporte do *phantom* físico de PEAD para a realização da CT. Na Tabela 1 temos os materiais e seus respectivos números de identificação.

Tabela 1- Materiais do *phantom* físico de PEAD e seus respectivos números de identificação.

| Materiais | Número |
|---------------|--------|
| Ar | 0 |
| Polietileno | 3 |
| Acrílico | 4 |
| Suporte da CT | 6 |

Ao abrir o arquivo PEAD.g4dcm pode-se visualizar os números que representam os materiais do *phantom* físico de PEAD, como pode ser observado na Tabela 2. Foi adotado cores para os números 0, 3, 4 e 6 sendo preto, azul, laranja e verde, respectivamente. Para melhor visualização da imagem foi destacado uma região da matriz, a qual esta representada pela letra A, que pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 2 - Matriz 128 X 128 do *phantom* de PEAD.

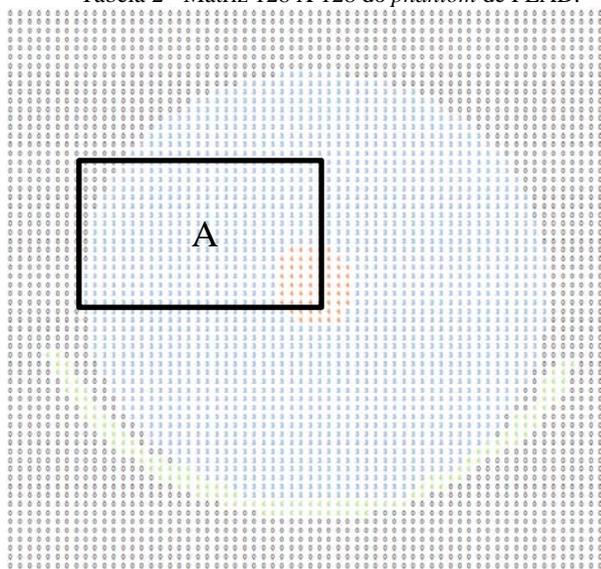
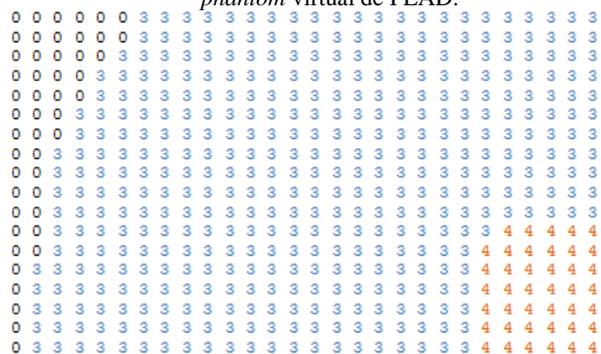


Tabela 2 – Região A destacada da matriz 128 X 128 do *phantom* virtual de PEAD.



Os três cortes do *phantom* físico de PEAD foram utilizados para construir o *phantom* virtual de PEAD. O primeiro e o segundo corte formam a primeira camada de *voxels* e o segundo corte com o terceiro corte formam a segunda camada de *voxels*. Na Figura 3 temos a imagem tridimensional, arquivo.eps, do *phantom* de PEAD.

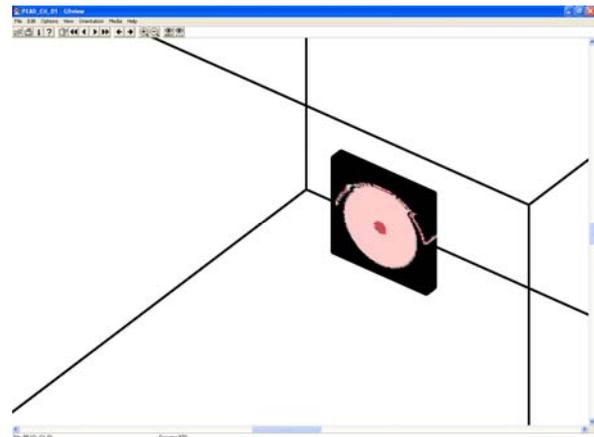


Figura 3 - Imagem 3D do *phantom* de PEAD

Discussão

Na Figura 4 é possível comparar a imagem do *phantom* virtual de PEAD com a imagem de CT do *phantom* físico de PEAD.

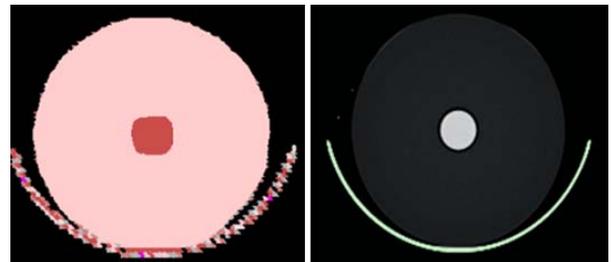


Figura 4– *Phantom* Virtual de PEAD e a Imagem de CT do *Phantom* Físico de PEAD Respectivamente.

O arquivo DicomHandler.cc foi reformulado para não realizar a compressão dos *pixels* da imagem de CT. Portanto, o número de *voxels* na saída é igual ao número de *pixels* da imagem DICOM (512x512) na entrada, mantendo assim, mais informações da imagem de CT e, com isso, reduzindo distorções entre a imagem real e o *phantom* virtual. No entanto, a matriz final ficou com 128x128 por ter sido restringido a matriz apenas a área onde se encontra o *phantom* na imagem, uma vez que nas laterais da imagem era apenas AR.

O tempo de processamento para compilar a união de duas imagens é de aproximadamente 5 minutos.

Conclusão

Este trabalho demonstrou que o *phantom* virtual apresentou materiais e geometrias com as mesmas características do *phantom* físico de PEAD simulado. Portanto, a construção de *phantoms* virtuais para o Código Geant4 fazendo uso de imagens de CT que possui um objeto de geometria regular e com materiais conhecidos é possível serem construídos sem a necessidade de programar em C++ cada uma das estruturas.

Quanto maior o número de *pixels* em uma imagem DICOM maior será o número de *voxels* construídos na simulação. Cada *voxel* deve ter o menor tamanho

possível, para assim termos um ótimo detalhamento da estrutura modelada. No entanto, quanto maior for o número de *voxels* maior será o tempo de processamento da simulação, sendo necessário, dependendo da estrutura do objeto em estudo, a utilização de um cluster de processamento.

A próxima etapa do presente trabalho é a implementação do código para a construção do feixe de prótons e do conjunto de detectores. Para em seguida, efetivar-se a comparação dos dados simulados com os dados obtidos no protótipo de pCT do Centro Médico da Universidade de Loma Linda.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem a Fundação Araucária, CAPES e ao CNPq pelo apoio e financiamento.

Referências

- [1] Schulte, R.; Bashkirov, V.; Li, T., Liang, Z. Mueller, K.; Heimann, J., Johnson, L. R.; Keeney, B.; Sadrozinski, H. F. W.; Seiden, A.; Williams, D. C.; Zhang, L.; LI, Z.; Peggs, S.; Satogata, T.; Woody, C.; Conceptual Design of a Proton Computed Tomography System for Applications in Proton Radiation Therapy, IEEE Trans. Nuclear Science, 2004.
- [2] PENFOLD, S. L, Image Reconstruction and Monte Carlo Simulations in the Development of Proton Computed Tomography for Applications in Proton Radiation Therapy. Tese de Doutorado, Wollongong University, 2010.
- [3] SNIR, J. et al. An Essay on Building a Conceptually Enhanced Computer Simulation for Science Teaching, Draft Article, Technical Report 88-18, Cambridge, USA, 1988.
- [4] GILAT, A., Matlab: An Introduction with Applications 2nd edition, 2004.
- [5] Código Dicom. Disponível em: <<http://geant4.cern.ch>>. Último acesso em 15/07/2014.
- [6] Silva F. S., Adaptação do Código Geant4 para Conversão de Imagens Dicom em Phantom Virtual, Dissertação, UTFPR, 2013.
- [7] Bienvenue au Laboratoire de Physique Nucleaire Experimentale et Medicale. Disponível em: <<http://www.nucleaire.phy.ulaval.ca/>>. Último acesso em 15/07/2014.
- [8] Milhoretto, E., Desenvolvimento de Phantoms para Tomografia com Feixe de Prótons, Tese, UTFPR, 2012.