

08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE EXPLORAÇÃO DE AMOSTRAS EM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA USANDO O CÓDIGO X-RAY MONTE CARLO

Joel Sánchez Domínguez<sup>1</sup> – joel.iprj@gmail.com

Joaquim Teixeira de Assis<sup>1</sup> – joaquim.iprj@gmail.com

Jose Renato de Castro Pessoa<sup>2</sup> – jrenatopessoa@gmail.com

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brazil

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Santa Cruz – Ilhéus, BA, Brasil

**Resumo.** Os modelos e simulações computacionais de processos e fenômenos complexos são amplamente usados nas mais diversas áreas da ciência e a pesquisa científica. Diferentes grupos de pesquisa e instituições disponibilizam pacotes de software que possibilitam modelar e simular problemas e eventos para análise e estudo. O presente trabalho usa o código X-Ray Monte Carlo para simular o processo de exploração de amostras produzindo radiografias que serão reconstruídas usando um algoritmo de reconstrução 3D para imagens tomográficas. Propõe uma metodologia para a execução deste processo, foram usados nos testes corpos geométricos de polimetilmetacrilato. Os resultados obtidos corroboraram a validade da prática e a utilidade da metodologia para gerar fantasmas utilizados em Tomografia Computadorizada.

**Palavras Chave:** XRMC, Tomografia Computadorizada, Simulação.

### 1. INTRODUÇÃO

As simulações computacionais de processos e fenômenos físicos complexos são ferramentas amplamente utilizadas em diversas áreas da pesquisa científica; aprimorando as vias para expandir os limites do conhecimento. Na modelagem e simulação computacional se representa de forma simplificada o comportamento de um sistema real (ou de parte dele), geralmente complexo devido a sua natureza aleatória e dinâmica. Desta forma, os experimentos simulados permitem prever o comportamento dos sistemas e avaliar a evolução do sistema ao longo do tempo. Os modelos de simulação permitem decisões facilitadas em sistemas caracterizados por elevado número de variáveis, além de reduzirem os custos de experimentação. Modificações podem ser promovidas e analisadas de maneira segura,

evitando decisões equivocadas que possam por em risco os equipamentos e amostras ou resultem em investimentos inadequados (Jahangirian, 2010).

O X-Ray Monte Carlo (XRMC) é um código Monte Carlo (Goliosio, 2014) para simulação precisa de imagens de raios X e experimentos de espectroscopia em amostras heterogêneas. O uso do método de Monte Carlo torna o código adequado para a simulação detalhada de experimentos complexos em amostras genéricas. O programa está escrito em C++ e foi testado em plataformas Linux, Mac OS X e MS Windows. O programa está sendo desenvolvido na Universidade de Sassari e foi disponibilizado para uso da comunidade científica sob uma licença pública geral GNU (Schoonjans, 2017).

A Tomografia é a obtenção de imagens por seções ou cortes, através do uso de qualquer tipo de onda penetrante. Com esta tecnologia é possível obter imagens do interior de objetos sólidos sem destruí-los e obter imagens em lugares onde os métodos tradicionais não podem ser usados. Ela é aplicada com sucesso em várias áreas como a medicina, arqueologia, biologia, geofísica, oceanografia, ciência de materiais, astrofísica e outras ciências. Tomografia Computadorizada (TC) envolve a coleta de dados de projeções de múltiplas direções e introduze os dados em um algoritmo para a reconstrução tomográfica processada por um computador.

No presente trabalho é proposto o uso do pacote XRMC para simular o processo de exploração das amostras em TC. A metodologia é testada simulando a exploração de diferentes amostras formadas por corpos geométricos. As radiografias obtidas na simulação são reconstruídas usando o algoritmo FDK (Feldkamp, 1984) para gerar as imagens das seções transversais dos corpos em estudo.

## 2. TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

A TC é uma técnica onde uma amostra é explorada usando algum tipo de radiação para produzir imagens detalhadas de cortes axiais do corpo. Várias imagens são obtidas através da rotação em torno do corpo do conjunto fonte-detector ou girando o corpo em frente à fonte de emissão, Figura 1 (Dominguez, 2016).

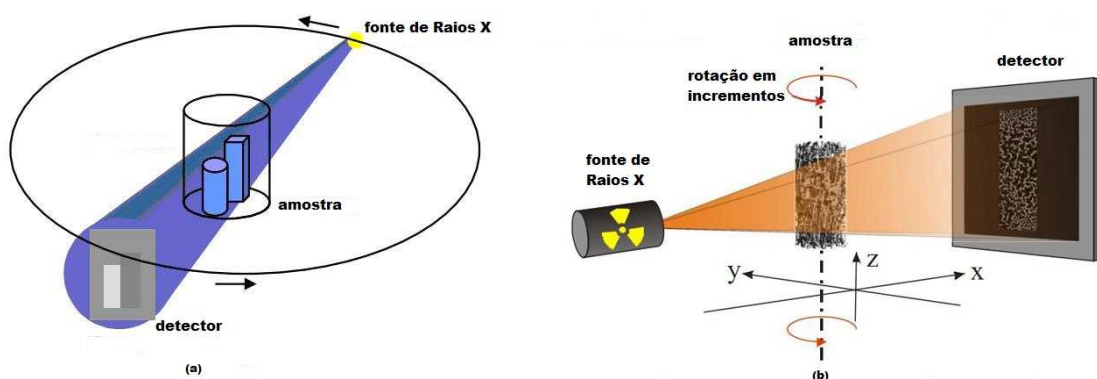


Figura 1 - Exploração das amostras em TC. Conjunto fonte-detector girando em torno do corpo (a). Corpo girando em frente à fonte (b).

Enquanto a radiação passa através da amostra, parte dela é absorvida dependendo do coeficiente de atenuação do material. Medindo a radiação que chega ao detector é possível

calcular este coeficiente e gerar imagens bidimensionais das seções da amostra. Essas imagens são armazenadas no computador e processadas por um algoritmo de reconstrução para gerar uma imagem tridimensional do interior do objeto a partir da série de imagens bidimensionais. Essa imagem tridimensional é a soma ou empilhamento de imagens dos cortes transversais do corpo ou amostra. Nela podem ser identificadas e estudadas as estruturas da amostra com diferentes densidades. A TC pode ser analisada como um processo de duas etapas: exploração das amostras e reconstrução das imagens (Dominguez, 2016).

### 3. PACOTE X-RAY MONTE CARLO

Aproximações do método Monte Carlo são frequentemente usadas para simular as interações das partículas com a matéria em diferentes condições experimentais. No entanto, estes métodos aplicados ao imageamento de raios X e aos experimentos de espectroscopia requerem um elevado esforço computacional e possuem algumas limitações, como incluir nos canais finais de interesse uma região limitada do espaço ou fótons produzidos por interações raras. Para contornar este problema se combina o método Monte Carlo com técnicas de redução de variância reduzindo também em várias ordens os tempos de simulação (Golosio, 2014). Assim foi criado o pacote XRMC, um programa muito versátil e útil na simulação de uma ampla gama de imagens de raios X e experimentos de espectroscopia. Entre suas principais características podemos mencionar (Golosio, 2014):

- Possibilita a simulação de fontes de raios X com radiação polarizada ou não polarizada;
- Detectores de elemento único ou detectores de pixels bidimensionais podem ser usados nas simulações, com várias opções de aquisição;
- A amostra é modelada pela combinação de objetos convexos tridimensionais demarcados por superfícies quádricas, como planos, cilindros e elipsoides;
- A aproximação de Monte Carlo torna o XRMC capaz de simular com precisão o transporte de fótons de raios X e as interações com a matéria até qualquer ordem de interação;
- Processos de interação: absorção fotoelétrica, emissão de fluorescência, espalhamento elástico e espalhamento inelástico; são calculados usando a biblioteca *xraylib*, que atualmente é a biblioteca mais completa e atualizada para aplicações de raios-X (Schoonjans, 2011);
- Uma ferramenta para a simulação de análise dos efeitos de contraste de fase em linha está incluída no pacote.

Numerosas aplicações do XRMC foram relatadas na literatura em anos recentes. O uso do programa é simples devido à disponibilização pelos desenvolvedores de abundante material para estudo e utilização das numerosas possibilidades de simulação.

#### 3.1 Uso do XRMC

Previamente á execução do XRMC devem-se preparar os arquivos de entrada que descrevem a configuração experimental que se deseja simular. Esses arquivos incluem um

arquivo de entrada principal (*main*), um arquivo de parâmetros e alguns arquivos de dispositivos (*devices*). Os arquivos de dispositivos se referem a objetos de C++ que são criados para serem usados na simulação cujos parâmetros são carregados do arquivo correspondente. O arquivo de entrada principal especifica os comandos para carregar todos os arquivos dos dispositivos, o comando para executar a simulação e o comando para salvar o arquivo de saída (Golosio, 2013).

A configuração típica para simulações do imageamento de raios X ou experimentos de espectroscopia inclui os seguintes arquivos de dispositivos (Golosio, 2013):

- uma fonte (*source device*);
- um espectro (*spectrum device*);
- um detector (*detector device*);
- uma amostra (*sample device*);
- uma fase ou material (*composition device*);
- o arranjo quadrico (*quadricarray device*);
- uma descrição tridimensional da geometria do objeto (*geom3d device*).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Metodologia para simulação

Como dito anteriormente, o processo de exploração das amostras em TC consiste em produzir radiografias da amostra desde diferentes ângulos, completando uma volta completa do objeto em estudo. Tipicamente é produzida uma radiografia para cada ângulo de rotação totalizando 360 imagens para uma rotação completa.

O pacote XRMC gera uma imagem nas condições especificadas para o experimento. Assim para simular o processo de exploração da TC foi necessário fazer a rotação da amostra em análise executando o programa de simulação para cada conjunto de arquivos de entrada que representam as posições em que a radiografia deve ser produzida. A metodologia descrita é resumida na figura 2.

A execução da metodologia, incluindo a execução do XRMC e a atualização dos arquivos de entrada foi feita com *script* de comandos desenvolvido com o Shell do Linux. O que permitiu no mesmo *script* invocar as execuções do código XRMC e modificar os arquivos de entrada. Especificamente os arquivos modificados foram o *main* para atualizar o nome do próximo arquivo de saída e o *quadricarray* para rodar o objeto em estudo.

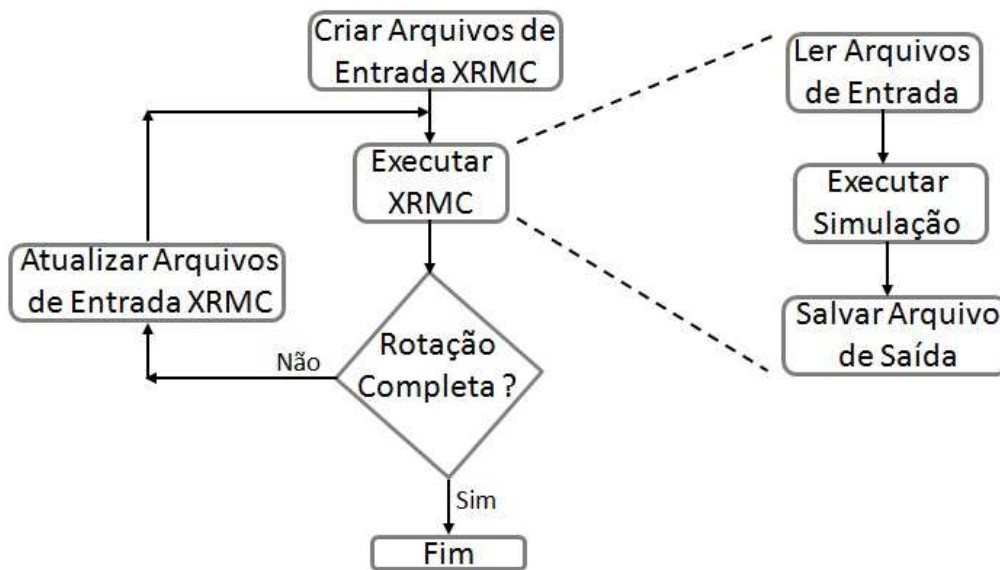


Figura 2 – Metodologia desenvolvida para simular a exploração das amostras em TC.

## 4.2 Resultados

A seguir são apresentados os resultados do uso da metodologia para três amostras diferentes. Em todos os casos foi simulada uma amostra formada por um cubo de 10 cm de aresta preenchido com ar e no seu centro três formas geométricas diferentes constituídas por polimetilmetacrilato ( $C_5O_2H_8$ ); um cubo de 5 cm de aresta, uma esfera de 5 cm de raio, e um cilindro com 5 cm de altura e base elíptica.

As figuras 3, 4 e 5 mostram para cada um dos objetos estudados uma radiografia e um plano da reconstrução. Os planos da reconstrução tomográfica foram obtidos alimentando o algoritmo FDK, o algoritmo mais usado para reconstrução tomográfica (Domínguez, 2016), com o conjunto de radiografias resultantes da simulação.

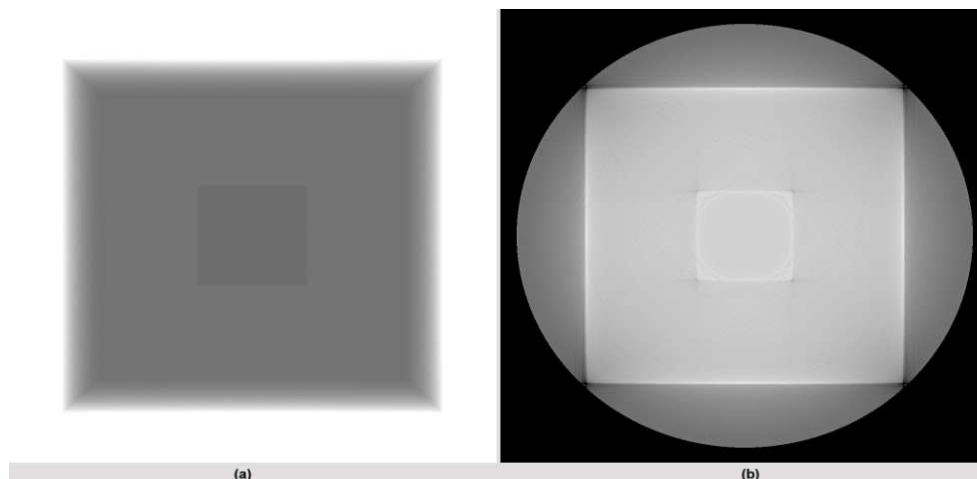


Figura 3- Cubo de 5 cm de aresta. Radiografia simulada para o ângulo de observação  $0^\circ$  (a), plano central da reconstrução (b).

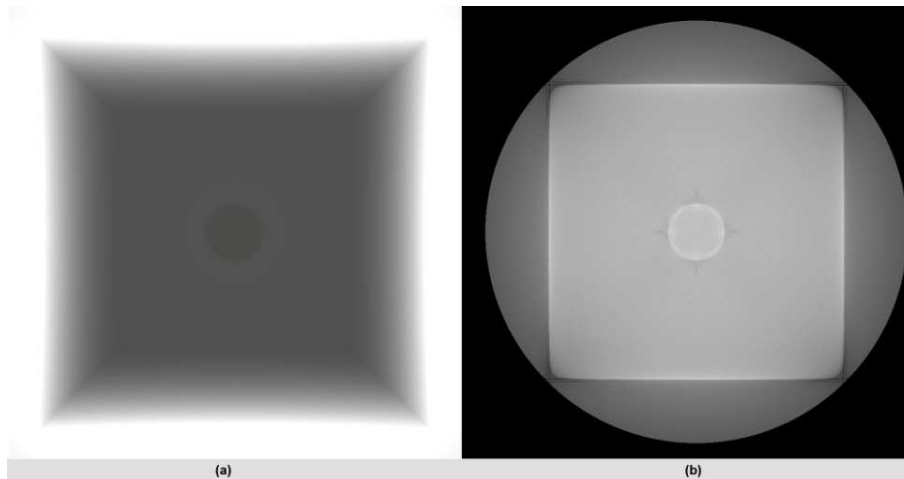


Figura 4- Esfera de 5 cm de raio. Radiografia simulada para o ângulo de observação  $0^\circ$  (a), plano central da reconstrução (b).

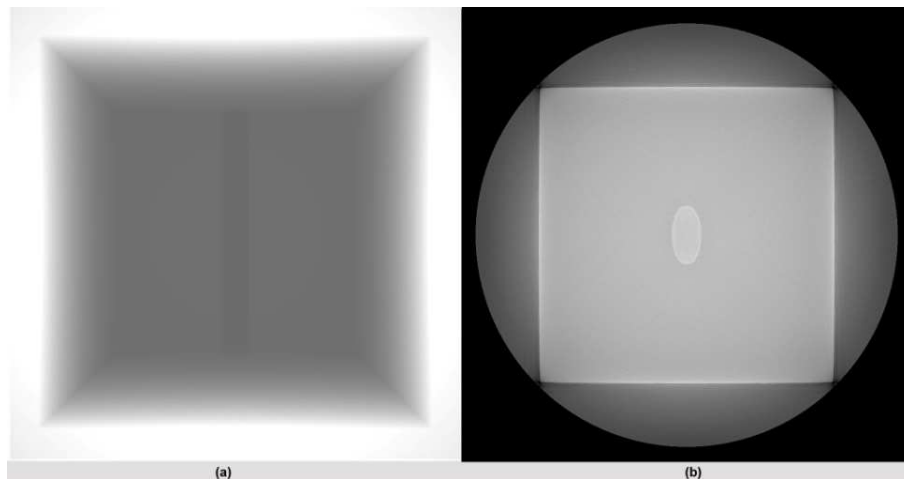


Figura 5- Cilindro de 5 cm de altura. Radiografia simulada para o ângulo de observação  $0^\circ$  (a), plano central da reconstrução (b).

As figuras 3, 4 e 5 mostram que as radiografias simuladas representam apropriadamente o objeto explorado e usando as radiografias é possível reconstruir o volume explorado e produzir as imagens dos cortes axiais do objeto em estudo.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que usando o programa XRMC é possível simular o processo de exploração das amostras em TC e as radiografias produzidas podem ser processadas pelo algoritmo de reconstrução para gerar as imagens dos cortes axiais do corpo em estudo. A metodologia proposta possibilita a execução do processo de simulação como um processo contínuo facilitando a execução das simulações sem precisar de intervenção do usuário. A técnica proposta se mostra promissora para pesquisar com um mínimo de custos e recursos alguns problemas da TC como as aplicações de tomografia com dupla energia.

Uma aplicação interessante é obter imagens de um equipamento de tomografia e comparar com os resultados de simulações utilizando a metodologia.

## REFERENCES

- Domínguez, J. S. (2016), “Paralelização de algoritmos de reconstrução de imagens tomográficas usando unidades gráficas de processamento e processadores com múltiplos núcleos”, Tese de Doutorado, IPRJ/UERJ, Nova Friburgo.
- Feldkamp, L. A.; Davis, L. C. e Kress, J. (1984), W. Practical cone-beam algorithm. J. Opt. Soc. Am, v. 1, n. 6.
- Golosio B., Schoonjans T., Brunetti A., Masala G. L. e Oliva P. (2013),” *XRMC (X-ray Monte Carlo) version 6.4.1 TUTORIAL*”, Università degli Studi di Sassari.
- Golosio B., Schoonjans T., Brunetti A., Oliva P. e Masala G. L. (2014), Monte Carlo simulation of X-ray imaging and spectroscopy experiments using quadric geometry and variance reduction techniques, Computer Physics Communications, 185 (3), 1044–1052.
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L. K. e Young, T. (2010), Simulation in manufacturing and business: a review. European Journal of Operational Research. v. 203, p. 1–13.
- Schoonjans, T. (2017), XRMC, disponível em <https://github.com/golosio/xrmc/wiki> acesso junho 2018.
- Schoonjans, T., Brunetti, A., Golosio, B., Sanchez Del Rio, M., Solé, V.A., Ferrero, C., Vince, L. (2011) The xraylib library for X-ray-matter interactions. Recent developments Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy, 66 (11-12), pp. 776-784.

## SIMULATION OF THE PROCESS OF EXPLORATION OF SAMPLES IN COMPUTERIZED TOMOGRAPHY USING THE CODE X-RAY MONTE CARLO

**Abstract.** *Computational models and simulations of processes and complex phenomena are widely used in the most diverse areas of science and scientific research. Different research groups and institutions provide software packages that enable them to model and simulate problems and events for their analysis and study. The present work uses the X-Ray Monte Carlo code to simulate the process of exploring samples producing radiographs that will be reconstructed using a 3D reconstruction algorithm for tomographic images. Aiming to propose a methodology for the execution of this process, polymethylmethacrylate geometric bodies were used in the tests. The results obtained corroborate the validity of the practice and the usefulness of the methodology to generate phantom used in Computed Tomography.*