

Simulação de Monte Carlo para detectores de pixel: um estudo de viabilidade para aplicações com raios X

F Marinho ¹, K Akiba ²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus UFRJ-Macaé, Av. Aluizio Gomes, 50, 27930-560, Macaé, RJ, Brazil

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, 21941-972, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

E-mail: marinho@macae.ufrj.br

Resumo: Neste trabalho analisamos a viabilidade de uma simulação de Monte Carlo para descrição de detectores semicondutores de pixel como ferramenta para atividades de pesquisa e desenvolvimento deste tipo de dispositivo e em suas aplicações para raios X. Como resultado apresentamos os aspectos técnicos e características principais de um conjunto de algoritmos recentemente desenvolvido que permite realizar estimativas do espectro de energia e classificação dos aglomerados de pixel por fóton.

Palavras-chave: Simulação, Detector semiconductor, Raios X.

Abstract: In this paper we analyze the feasibility of a Monte Carlo simulation for the description of pixel semiconductor detectors as a tool for research and development of such devices and their applications for X-rays. We present as a result the technical aspects and main characteristics of a set of algorithms recently developed which allows one to estimate the energy spectrum and cluster classification.

Keywords: Simulation, Semiconductor detector, X-rays.

1. INTRODUÇÃO

Atividades de pesquisa e desenvolvimento para dispositivos detectores requerem o emprego de diferentes técnicas experimentais e métodos de análise para determinação dos materiais e tecnologias a serem empregadas no estabelecimento do sensor mais adequado a uma dada aplicação. Em geral esse tipo de trabalho é realizado com base em medidas empíricas obtidas através de testes de laboratório requerendo, muitas vezes, a montagem de um número de protótipos, o que pode resultar em projetos de alto custo. Outro limitador também ocorre do fato de que certas quantidades físicas de interesse não são sempre facilmente estimadas

através de medições experimentais diretas. Nesses casos cálculos aproximados ou fortemente dependentes de modelos simplificados costumam ser adotados de tal forma que descrições dos possíveis efeitos das interações radiação-matéria e resposta do dispositivo são relativamente limitadas.

Neste trabalho verificamos a possibilidade de descrição do funcionamento de detectores de pixel partindo de primeiros princípios físicos, detalhando desde as interações da radiação no material do sensor até os efeitos de coleção de portadores de carga nos terminais de leitura do dispositivo. Para isso um conjunto de algoritmos foi estabelecido utilizando o pacote *geant4*

(ALLISON *et al.*, 2006) para a descrição das interações e empregando o *ROOT* (BRUN, 1997) como plataforma para implementação da simulação da aquisição eletrônica de dados e para formatação, armazenamento e análise estatística de dados.

2. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Os algoritmos desenvolvidos neste trabalho foram programados com uso de filosofia de orientação ao objeto em C++.

2.1. *Geant4*

O *geant4* é uma ferramenta computacional de propósito geral para simulação da passagem das radiações nos diferentes materiais. Neste pacote, uma simulação consiste, minimamente, na determinação da geometria e composição dos materiais e estabelecimento do tipo de partículas e interações de acordo com a escala de energia de interesse. Neste tipo de aplicação é possível acessar todas as informações relativas à trajetória das partículas incluindo posição, energia, depósito por interação e os tipos de efeitos físicos que ocorrem.

2.2. *ROOT*

Adotamos o *ROOT* como plataforma de desenvolvimento para simulação da aquisição, formatação e análise de dados. Essa tecnologia foi escolhida devido a seu amplo conjunto de funcionalidades, capacidade de processamento de dados e flexibilidade para realização de uma modelagem de eventos adequada e que permite utilização em conjunto com o *geant4*. Além disso, a resposta final da eletrônica de aquisição também é obtida e através do armazenamento de dados em disco no formato de árvore (*TTree*) é possível a análise de grandes quantidades de dados de maneira robusta e eficiente.

2.3. *Características relevantes*

Uma vantagem interessante é o fato de que tanto o *geant4* quanto o *ROOT* são desenvolvidos de maneira que a simulação possa ser executada tanto em um único computador, como em infraestruturas computacionais de processamento distribuído. Outro aspecto a se notar é que as etapas da simulação podem ser executadas em sequência ou em momentos separados tal que uma atualização da simulação da resposta do detector possa ser realizada sem que novos eventos de interação da radiação com a matéria tenham que ser gerados novamente economizando processamento de máquina.

3. SIMULAÇÃO DO DETECTOR

A simulação apresentada foi implementada em três etapas distintas como descrito a seguir.

3.1. *Geometria*

O dispositivo escolhido para descrição foi um sensor de silício híbrido de espessura de 300µm da família medipix/timepix com pixels quadrados (LLOPART, 2007). Todo o sensor consiste de uma matriz quadrada de 256 x 256 pixels, cada um com eletrônica individual dedicada a leitura da carga induzida nos terminais. A área total é de cerca de 2cm². O chip de leitura possui espessura estimada de 1mm e é localizado diretamente atrás do sensor.

3.2. *Interações*

Para o intervalo de energia relevante para o estudo com raios X foi estabelecida uma lista de processos físicos que inclui efeito fotoelétrico, fluorescência e espalhamentos Compton e Rayleigh. Estes processos envolvem apenas interações eletromagnéticas e, portanto, somente elétrons e fótons são produzidos e têm sua trajetória propagada nos materiais do detector. No entanto, outras radiações e interações podem ser incluídas se um regime mais alto de energia das partículas incidentes for desejado.

3.3. Aquisição

Um algoritmo para realizar a simulação da aquisição de dados foi desenvolvido tal que as informações provenientes das interações simuladas com o *geant4* fossem utilizadas para reproduzir os possíveis efeitos que ocorrem na coleção de carga induzida nos terminais dos pixels. Esse procedimento inclui resolução de energia, compartilhamento de carga entre terminais vizinhos, ajuste de limiar mínimo de carga por pixel, entre outras contribuições.

4. RESULTADOS

Um conjunto de experimentos de feixe monocromático foi simulado utilizando a sequência de algoritmos descrita na seção 3 para verificar se o método empregado pode descrever características do funcionamento do detector de interesse.

A figura 1 mostra o espectro de energia por pixel reconstruído para três valores distintos de energia do feixe incidente. Este modo de operação da aquisição é comumente denominado modo de pixel único (MPU) e cujos valores são representados pelas linhas cheias. As linhas tracejadas representam o espectro obtido através de um modo de operação embarcado na eletrônica e que efetua a integração da carga em aglomerados de pixels vizinhos chamado de modo de soma de carga (MSC). Os valores adotados para a energia dos feixes na figura são 14, 26 e 38 keV. Veja que, apesar da largura do espectro ser mais estreita no pico do MPU, o MSC fornece uma estimativa mais acurada da energia apesar da resolução ser degradada por um fator de até 2. Estes resultados são semelhantes aos obtidos em (TLUSTOS,2010).

A figura 2 mostra as frações de aglomerados estimadas de acordo com a energia incidente do feixe. Repare que as frações de aglomerados de 2, 3 e 4 pixels aumentam com a energia incidente

visto que o tamanho da nuvem de portadores de carga produzida na região de interação aumenta com a energia do fóton absorvido por efeito fotoelétrico.

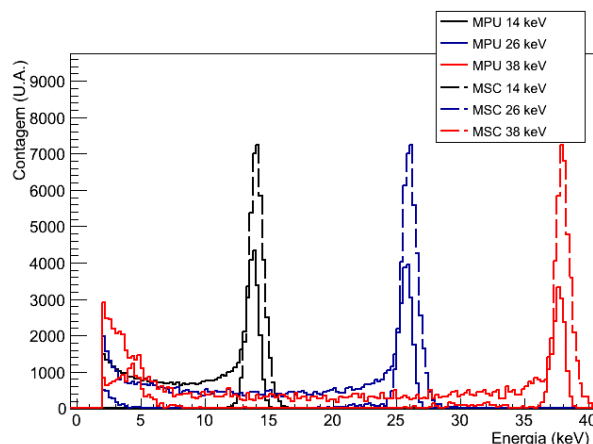


Figura 1: Espectro reconstruído de energia.

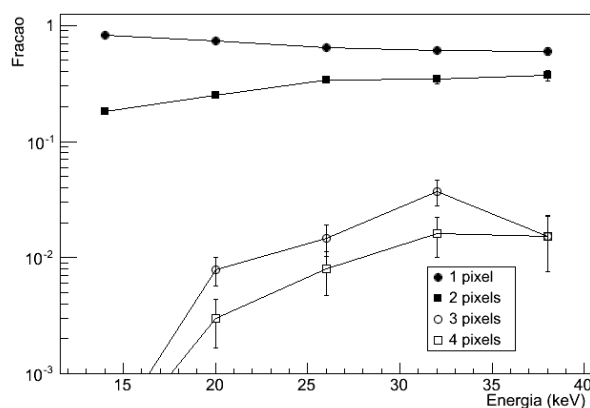


Figura 2: Frações de aglomerados como função da energia do feixe incidente.

A fração de aglomerados de 2 pixels aumenta de 18% até 34% quando a energia incidente aumenta de 14 keV até 38 keV. As frações de 3 e 4 pixels aumentam até valores entre 1-2% nesta mesma faixa de energia. Comportamento semelhante para essas frações foram experimentalmente obtidos em (FIEDERLE, 2008).

A figura 3 mostra as regiões de interação onde os diferentes tipos de aglomerado são produzidos de acordo com as vizinhanças entre pixels. Cada

região separada pelas linhas tracejadas representa um único pixel. As distribuições obtidas são similares aos cálculos obtidos em (JAKUBEK, 2009).

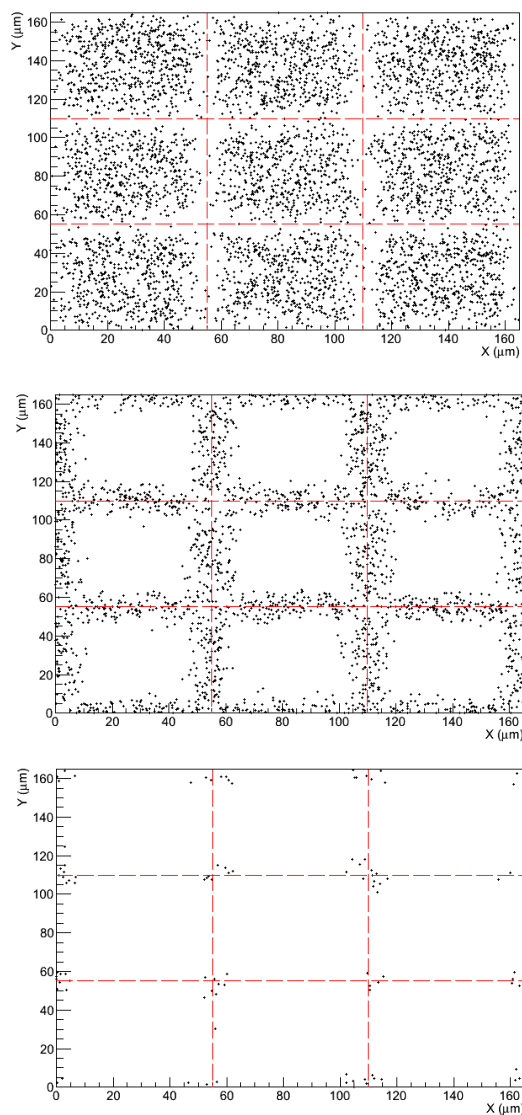


Figura 3: Regiões de formação de aglomerados de 1 pixel (acima), 2 pixels (ao meio) e 3 pixels (abaixo).

5. CONCLUSÕES

Os resultados dos estudos apresentados mostram que simulações de Monte Carlo podem ser ferramentas de grande valia para descrição de

detectores de pixel além de poder fornecer informações importantes para o planejamento e montagem de aparatos experimentais. Além de estimativas relativas à medida de energia e determinação de posição serem bem reproduzidas, outras quantidades de interesse como probabilidade de interação, compartilhamento de carga também podem ser calculadas.

6. REFERÊNCIAS

ALLISON, J. *et al.* Geant4 developments and applications. IEEE Transactions on Nuclear Science, v. 53, p. 270-278, 2006.

BRUN, R.; Rademakers, F. ROOT - An object oriented data analysis framework. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A, v. 389, p. 81-86, 1997.

FIEDERLE, M. *et al.* Energy calibration measurements of MediPix2. Nucl. Instr. and Meth. In Phys Res. A, v. 591 p. 75-79, 2008.

JAKUBEK, J. Energy sensitive X-ray radiography and charge sharing effect in pixelated detector. Nucl. Instr. and Meth. In Phys Res. A, v. 607, p. 192-195, 2009.

LLOPART, X.; Ballabriga, R.; Campbell, M.; Tlustos, L.; Wong, W. Timepix, a 65k programmable pixel readout chip for arrival time, energy and/or photon counting measurements. Nucl. Instr. and Meth. In Phys Res. A, v. 581, p. 485-494, 2007.

TLUSTOS, L. Spectroscopic X-ray imaging with photon counting pixel detectors. Nucl. Instr. and Meth. In Phys Res. A, v. 623, p. 823-828, 2010.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parcialmente financiado pela FAPERJ e pelo CNPq.