

## Simulação Monte Carlo de espectros de raios X para aplicação em radiologia

*Maria Clara Franco Couto<sup>1</sup>; Alessandra Toma<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.*

**Introdução:** O estudo da produção de raios X é de vital importância para estudos dosimétricos, de qualidade de imagem e otimização em radiodiagnóstico. A análise deste problema pode ser feita de forma computacional, utilizando-se do método de Monte Carlo para simular o transporte de radiação. O objetivo deste trabalho é modelar a interação de fótons e elétrons em um tubo de raios X através da simulação Monte Carlo, visando simular espectros de raios X para diferentes materiais no ânodo, filtrações e diferentes diferenças de potenciais aplicadas no tubo de raios X, bem como estudar o efeito anódico.

**Métodos:** Espectros de raios X foram simulados utilizando o código PENELOPE 2014, com o pacote adicional PenEasy; uma geometria que se aproxima do tubo de raios X foi modelada, bem como uma fonte de elétrons monoenergéticos de área 0.3x0.3 cm. Os elétrons produzidos se direcionavam para o ânodo, onde interagem, produzindo raios X. O ânodo, composto de tungstênio, era posicionado a 3 cm do centro do cátodo, e a angulação do ânodo foi definida como 22 graus. Filtros de diferentes composições foram simulados, sendo posicionados a 3 cm do centro do ânodo. Um detector ideal, de raio 5 cm e posicionado a 12 cm do centro do ânodo, foi simulado para detectar o espectro de energia dos fótons de raios X produzidos com uma resolução de energia de 0,5 KeV.

Foram realizadas medidas utilizando as seguintes combinações de materiais ânodo/filtro: W/Al, W/Cu, W/Ag, W/Rh, utilizados em um tubo de raios X para radiologia e mamografia. As energias dos elétrons monoenergéticos variou entre 28 KeV e 150 KeV. Devido à baixa probabilidade de produção de raios X, o método de redução de variância *Forcing* (ferramenta de simulação do PENELOPE que nos permite forçar interações de interesse; no caso de produção de raios X, *bremstrahlung* e raios X característicos) foi utilizado, melhorando a estatística dos dados obtidos.

**Resultados e Discussões:** Foram obtidos espectros de raios X para cada combinação de alvo/filtro e diferentes energias. Os valores foram obtidos como resultado da simulação e posteriormente plotados com o software *Matlab*. Os espectros de raios X possuem características específicas que dão sua forma: o espectro contínuo representa as interações de *bremstrahlung*, enquanto os picos representam os raios X característicos, quando a energia inicial do feixe de elétrons monoenergético é suficiente para que haja a produção deste tipo de radiação. Além disso, quando se acrescenta uma filtração adicional, o espectro passa a possuir uma energia mínima para se obter interações: sem a filtração, este limite inferior não existe.

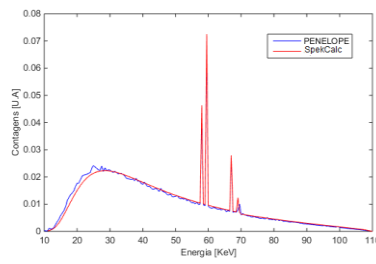


Figura 1 – Comparação entre o espectro obtido com a simulação PENELOPE e o software *SpekCalc*, com uma combinação W/Al, para energia inicial dos elétrons do feixe monoenergético igual a 110 KeV.

A figura 1 mostra a comparação entre um espectro simulado utilizando o PENELOPE e o software *spekCalc*<sup>1</sup>, considerando o espectro produzido por um ânodo de tungstênio e filtrado utilizando um filtro de alumínio com 0.1 cm de espessura e elétrons com energia de 110 KeV. A análise preliminar nos mostra uma concordância entre os espectros, validando o resultado obtido pelas simulações. Uma análise realizada foi da camada semi redutora; obtemos diferença de 7,7% entre a calculada a partir do espectro obtido e a obtida no *SpekCalc*.

**Conclusões:** É possível observar, com os resultados já obtidos, que há concordância entre os valores encontrados na literatura e os obtidos com a simulação utilizando o PENELOPE. As simulações foram realizadas para valores de energias máximas utilizadas em radiologia (entre 50 KeV e 150 KeV) e energias utilizadas em mamografia (28 KeV a 35 KeV).

<sup>1</sup> Poludniowski G, Landry G, DeBlois F, Evans P M and Verhaegen F. *SpekCalc: a program to calculate photon spectra from tungsten anode x-ray tubes*. 2009, Physics in Medicine & Biology, Volume 54, Number 19.