

Limite de detecção de metais em tecido adiposo por transmissão e fluorescência de raios-x. Simulação de um detector ideal através do Método de Monte Carlo usando o PENELOPE.

Palavras chave: Raios-X; Transmissão; Fluorescência

ALUNO: EMANUEL RODRIGUES GUIMARÃES

ORIENTADOR: PROF. DR. JEAN RINKEL

Departamento de física Aplicada

Instituto de Física Gleb Wataghin - UNICAMP

I. INTRODUÇÃO

Descoberto em 8 de novembro de 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), os raios-x são uma forma de radiação ionizante de alta frequência. Sua descoberta foi um marco na ciência, gerando mais de 1000 artigos científicos no período de 1 ano após a descoberta, e condecorando o primeiro Prêmio Nobel de física ao Röntgen.[1] Nesse trabalho será abordado duas técnicas com o uso de raios-x para a detecção de metais em tecido adiposo: a transmissão e a fluorescência.

Transmissão De Raios-X

Quando bombardeamos fótons numa amostra (anteparo), alguns interagem com ela e outras passam direto. O N_0 é o número total de fótons de uma dada energia que chega ao detector (figura 1). O N é o número de fótons de mesma energia que passaram pelo anteparo sem interagir com ele (figura 2). A relação entre N_0 e N é dada por um decaimento exponencial em função do coeficiente de atenuação (μ) e a espessura do anteparo (x).

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Com essa relação, conseguimos chegar na equação de transmissão.

$$T = \frac{N}{N_0} \quad (2)$$

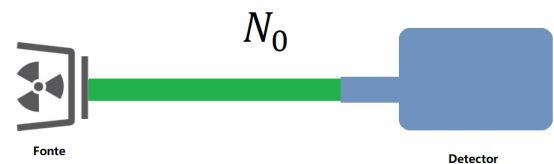


Figura 1: Desenho esquemático de um feixe de fótons saindo de um gerador em direção ao detector, onde se obtém o N_0

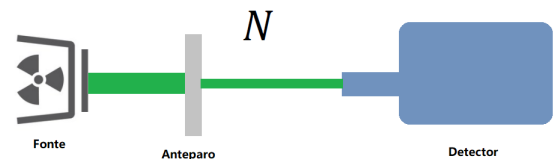


Figura 2: Desenho esquemático de um feixe de fótons de raios-x saindo de um gerador, passando pelo anteparo e chegando ao detector, onde se obtém o N .

Fluorescência De Raios-X (FRX)

Fluorescência de Raios-X é a emissão de raios X "secundários"(ou fluorescentes) característicos de um material ao ser bombardeado por um feixe de alta energia. Mais especificamente, quando bombardeamos com raios X de alta frequência, pode ocorrer ionização de seus átomos componentes. A ionização consiste na ejeção de um ou mais elétrons do átomo, e pode ocorrer se o átomo for exposto à radiação com uma energia maior que sua energia de ionização. Os raios X podem ser energéticos o suficiente para expelir elétrons fortemente retidos dos orbitais internos do átomo. Quando há a remoção de um elétron dessa maneira a estrutura eletrônica do átomo torna-se instável. Em seguida os elétrons nos orbitais superiores "caem"no orbital inferior para preencher a lacuna deixada para trás. Nessa transição, um fóton é emitido com a energia da diferença dos dois orbitais envolvidos. Assim, o material emite radiação, que possui energia característica dos átomos presentes. O termo fluorescência é aplicado a fenômenos nos quais a absorção da radiação de uma energia específica resulta na reemissão da radiação de uma energia diferente (sempre menor).[2] A figura 5 mostra como é obtido o número de contagens por meio da fluorescência. Uma fonte de raios-x bombardeia um anteparo, gerando a FRX.

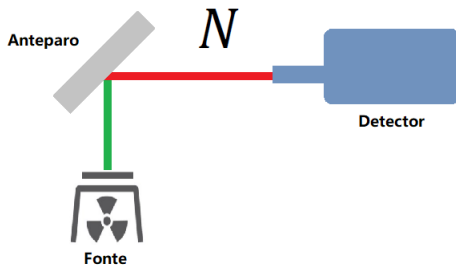


Figura 3: Configuração do experimento a ser simulado para o cálculo da Fluorescência.

Método de Monte Carlo (MMC)

O método de Monte Carlo é uma classe de algoritmos computacionais que dependem de amostragem aleatória repetida para obter resultados numéricos. O conceito subjacente é usar a aleatoriedade para resolver problemas que podem ser determinísticos em princípio, mas difíceis de resolver analiticamente. Os métodos de Monte Carlo são usados principalmente em três classes de problemas: otimização, integração numérica e geração de sorteios a partir de uma distribuição de probabilidade. A precisão do método de Monte Carlo está diretamente relacionada

com o número de interações que são executadas, assim como o tempo de necessário para se obter um resultado.

Código PENELOPE

PENELOPE é um acrônimo para "Penetration and Energy Loss of Positrons and Electrons". O código PENELOPE realiza simulação de Monte Carlo do transporte acoplado de elétron-fóton em materiais arbitrários e geometrias quádras complexas. Um procedimento misto é usado para a simulação de interações de elétron e pósitron (espalhamento elástico, espalhamento inelástico e emissão de bremsstrahlung) em que eventos "duros"(ou seja, aqueles com ângulo de deflexão ou perda de energia maior do que cut-offs pré-selecionados) são simulado de forma detalhada, enquanto as interações 'suaves' são calculadas a partir de múltiplas abordagens de espalhamento. As interações de fótons (espalhamento Rayleigh, espalhamento Compton, efeito fotoelétrico e produção do par elétron-pósitron) e aniquilação de pósitrons são simuladas de forma detalhada, evento a evento.[4]

Limite de Detecção (LD)

O limite de detecção, quando falamos de análise de concentração de um elemento químico, é a quantidade mínima detectável de um elemento dentro de um determinado período de tempo, com uma determinada configuração experimental. A principal limitação da detectabilidade de um elemento é o ruído de fundo na medição. O LD é alcançado no ponto em que o sinal do elemento analisado está prestes a se projetar significativamente acima do fundo. [2]

II. METODOLOGIA

Simulação

Para a realização da simulação com o software PENELOPE, foi necessária a configuração de três elementos principais: o gerador, o anteparo e o detector. O gerador foi configurado de tal forma que conseguisse emitir um feixe fino de fótons, dentro de um intervalo energético de 100 eV até 20 keV e equiprováveis. O anteparo consiste num composto feito de tecido adiposo e metal. A concentração de metal foi variada de 0% até 100% num passo de 10% em 10%, a fim de que fosse possível estudar as diferenças da transmissão e fluorescência em função das concentrações. O detector foi elaborado de maneira que absorvesse todo e qualquer fóton que atravessasse o anteparo, sendo assim um detector ideal. As figuras 4 e 5 mostram um desenho

esquemático do experimento simulado para a transmissão e a fluorescência, respectivamente.

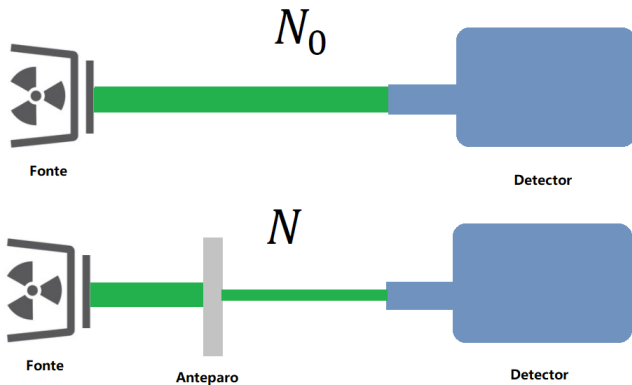


Figura 4: Configuração do experimento a ser simulado para o cálculo da Transmissão.

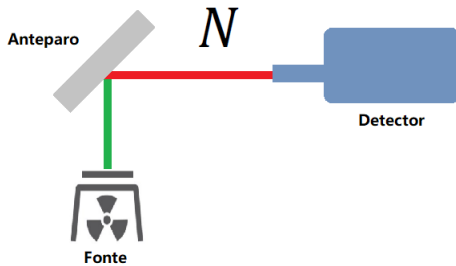


Figura 5: Configuração do experimento a ser simulado para o cálculo da Fluorescência.

O software PENELOPE fornece espectro energético, os canais e as contagens referentes a cada canal através do `tallyParticleCurrentSpectrum-photon`. Desse modo, é possível calcular as curvas de transmissão e analisá-las.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as simulações abordadas até o momento e análise dos dados usando o software Matlab, foram obtidos seguintes gráficos que mostram as transmissões para uma "placa" de tecido adiposo com diferentes concentrações de gordura.

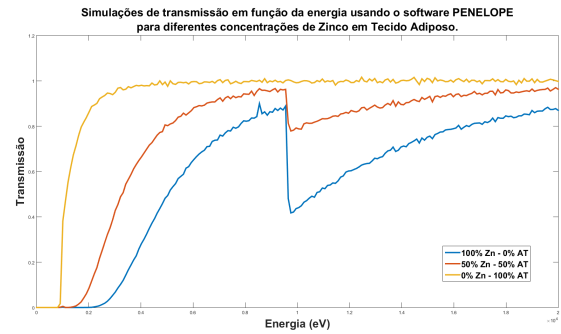


Figura 6: Simulação com 10^7 histórias

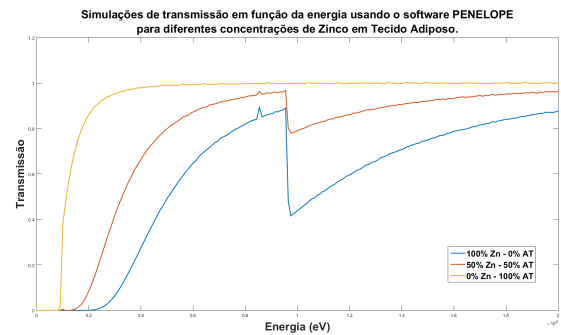


Figura 7: Simulação com 10^8 histórias

Filter Transmission

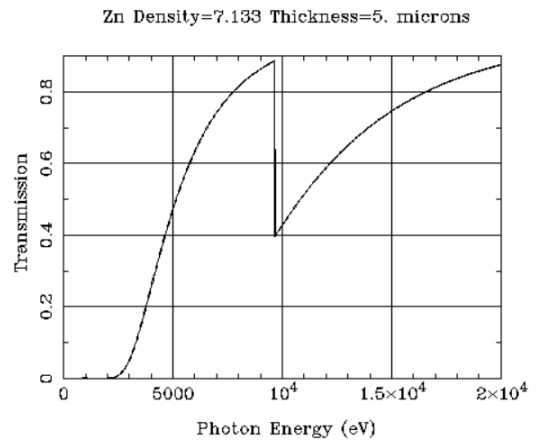


Figura 8: Transmissão pelos dados tabelados do CXRO para um anteparo composto de 100% de Zinco

As curvas de transmissão obtidas se mostram coerentes com os dados tabelados do The Center for X-Ray Optics (CXRO).

IV. CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi investigado os parâmetros elementais para o estudo da transmissão. Os resultados apresentados demonstram que a simulação feitas no PENNELOPE são coerentes com os dados tabelados do CXRO. Isso trás indícios de que o Método de Monte Carlo é confiável para a realização dos próximos passos como o cálculo da fluorescência, o comparativo da transmissão com a fluorescência, o cálculo do CNR e do limite de detecção.

REFERÊNCIAS

- [1] Física das radiações, Editora Oficina de Textos, 1ª Edição, 2010, Emico Okuno, Elisabeth Mateus Yoshimura.
- [2] Handbook of Practical X-ray Fluorescence Analysis, Editora Springer, Edição de 2006, B. Beckhoff, N. Langhoff, B. Kanngiesser, R. Wedell, H. Wolff (2006)
- [3] Introduction To Radiological Physics And Radiation Dosimetry, Editora Wiley-VCH, 2ª Edição ,1986, Frank Herbert Attix.
- [4] PENNELOPE 2014, A Code System for Monte-Carlo Simulation of Electron and Photon Transport. www.oecd-nea.org.