



## Estudo da função resposta de um detector cintilador de NaI(Tl)

M. Barros Villa<sup>a</sup>; A. M. da Costa<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Física, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP), Universidade de São Paulo (USP), Avenida Bandeirantes, 3900, Vila Monte Alegre, 14040-901, Ribeirão Preto - SP, Brasil  
*amcosta@usp.br*

---

### ABSTRACT

Nas medições de raios gama com cintiladores de NaI(Tl), os dados de saída dos detectores são espectros de altura de pulso, que correspondem a informações distorcidas sobre a fonte de radiação devido a diversos erros associados ao processo de cintilação do cristal e à eletrônica associada, ao invés de espectros de energia de fótons. Os espectros de altura de pulso são relacionados aos espectros de energia reais por meio da função resposta do detector cintilador de NaI(Tl). Neste trabalho foi estudada a função resposta para um cristal cilíndrico de NaI(Tl) de 7,62×7,62 cm (diâmetro×comprimento), pelo método de Monte Carlo, utilizando a ferramenta EGSnrc para modelar o transporte da radiação, combinado com medições experimentais. Foi obtida uma matriz resposta inversa, uniforme com a raiz quadrada da energia, que transforma o espectro de altura de pulsos em espectro de energia de fótons. Os resultados desta transformação de espectro de altura de pulsos para espectro de energia de fótons são apresentados, mostrando que metodologia empregada neste estudo é adequada.

*Keywords:*

Palavras-chave: cintiladores, espectrometria gama, função resposta.

---

### 1. INTRODUÇÃO

Nas medições de raios gama com cintiladores de NaI(Tl), os dados de saída dos detectores são espectros de altura de pulso, que correspondem a informações distorcidas sobre a fonte de

radiação devido a diversos erros associados ao processo de cintilação do cristal e à eletrônica associada, ao invés de espectros de energia de fótons. Os espectros de altura de pulso são relacionados aos espectros de energia reais por meio da função resposta do detector cintilador de NaI(Tl).

O processo de medição começa quando a radiação incidente deposita toda ou parte de sua energia dentro do volume sensível do detector, o cristal. Termina com o espectro de altura de pulso (PHD, do inglês Pulse Height Distribution) que é o dado de saída obtido por meio de um sistema analisador multicanal instalado a um computador e conectado ao detector. O tratamento dos dados do PHD resulta no espectro de energia. Este é um gráfico que relaciona eventos radioativos e radiativos com a energia da fonte, e é um resultado mais confiável e se aproxima mais do espectro real da fonte.

Neste trabalho foi estudada a função resposta para um cristal cilíndrico de NaI(Tl) de 7,62×7,62 cm (diâmetro×comprimento), pelo método de Monte Carlo, utilizando a ferramenta EGSnrc para modelar o transporte da radiação, combinado com medições experimentais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo do detector usado foi o Ortec 905-4. É composto por um cristal cilíndrico de NaI(Tl) com 7,62 cm de diâmetro e 7,62 cm de comprimento. Esse cristal é revestido por uma fina camada de MgO, um material refletor para fótons de energia dentro do espectro eletromagnético do visível e ultravioleta. Em seguida, é acoplado a um tubo fotomultiplicador (PMT, do inglês PhotoMultiplier Tube) de 7,62cm de diâmetro por um gel transparente especial e esse sistema cristal-PMT é revestido por uma fina camada da liga Mu-Metal, que é um material usado para proteção contra campos magnéticos. O detector é então conectado diretamente ao pré-amplificador, em seguida ao amplificador e por último ao computador. O amplificador usado foi o modelo Ortec DSpect jr. 2.0. O computador foi um ultrabook Dell Inspiron 5423 com a

seguinte configuração: Windows 8, processador Intel Core i5-3317U, 2 núcleos e 4 processadores lógicos de 1,70 GHz, memória RAM de 6 Gb.

As medições experimentais foram realizadas com o detector apoiado sobre uma mesa de madeira. Para todas as exposições, as fontes radioativas foram mantidas a 40 cm da face frontal do detector e foram presas a um pequeno suporte vertical de acrílico para que seu centro coincidisse com o centro da face frontal circular do detector. Atrás do detector havia uma parede de tijolos e concreto e não havia outros objetos próximos à fonte.

Fontes de calibração certificadas de Ba-133, Cs-137 e Co-60 e foram usadas na obtenção dos espectros experimentais com base nas emissões gama e cobrindo um intervalo de energia de 0 a 1,3 MeV.

A ferramenta computacional usada neste trabalho foi o EGSnrc (Electron-Gamma-Shower), sucessor do EGS4, em sua versão mais recente de março de 2013. É um programa para a simulação Monte Carlo e seu código foi escrito na linguagem de programação Fortran e é distribuído pelo National Research Council of Canada. Funciona com um algoritmo de geração de números aleatórios e seus resultados estão sujeitos a incertezas estatísticas que diminuem conforme o número de partículas incidentes simuladas aumenta.

Fontes monoenergéticas nos valores de 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,9, 1,0, 1,4 e 1,6 MeV foram simuladas usando o código DOSRZnrc. As fontes monoenergéticas utilizadas para a obtenção dos espectros de altura de pulso tem formato de disco com menos de 1 mm de espessura e raio de aproximadamente 2 mm. Mesmo com seu volume pequeno, devido à distância fonte-detector, foi considerada como sendo pontual. A validação da simulação do detector foi realizada a partir da introdução nos dados simulados dos parâmetros de resolução e eficiência obtidos experimentalmente.

O método escolhido para este trabalho foi o tratamento por matriz resposta inversa que consiste na obtenção de uma matriz que carrega em seus valores diversas funções respostas do detector

*International Joint Conference RADIO 2014*

*Gramado, RS, Brazil, August 26-29, 2014*

*SOCIEDADE BRASILEIRA DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA - SBPR*

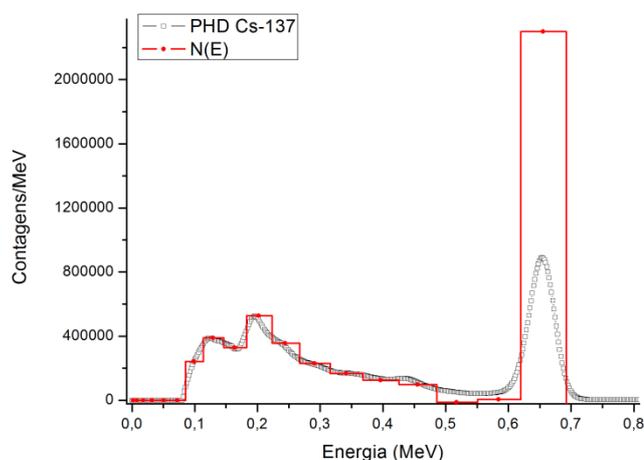
para diferentes energias de fontes baseados em dados de eficiência e resolução obtidos experimentalmente. A montagem da matriz resposta pode ter sua origem de espectros experimentais [1-3], simulados ou uma combinação dos dois [3,4].

O uso de fontes monoenergéticas originadas de simulação Monte Carlo para a montagem da matriz resposta inversa é devido ao baixo número de fontes de calibração disponíveis. Para isso, como já foi dito, é utilizada a ferramenta EGSnrc [5,6], que simula o transporte da radiação pela matéria. Nesta ferramenta, a fonte monoenergética irradia em direção à geometria desenhada composta das mesmas dimensões e materiais do detector real. Esta situação deve se assemelhar às exposições experimentais.

Esse método de tratamento não exclui a necessidade de se realizar exposições do detector com fontes de radiação físicas pois certas propriedades do detector devem ser aplicadas à simulação para que esta e o método utilizado sejam validados [7,8].

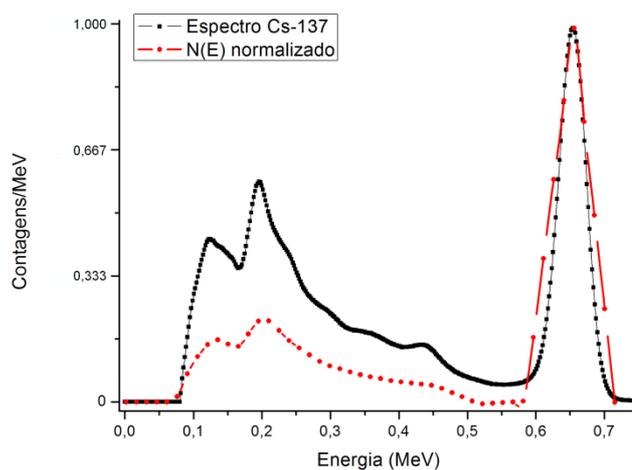
### **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Como resultados, são apresentados os espectros experimentais, depois de serem calibrados em energia e de terem as contagens de fundo subtraídas, submetidos à correção pela matriz resposta inversa obtida. A vantagem do método está no fato de que a mesma matriz resposta pode corrigir diversas distribuições desde que a energia  $E_0^{1/2}$  do fotopico esteja dentro do limite que a matriz resposta é capaz de lidar. As Figuras 1 a 6 mostram os resultados para as fontes de Cs-137, Co-60 e Bário-133.

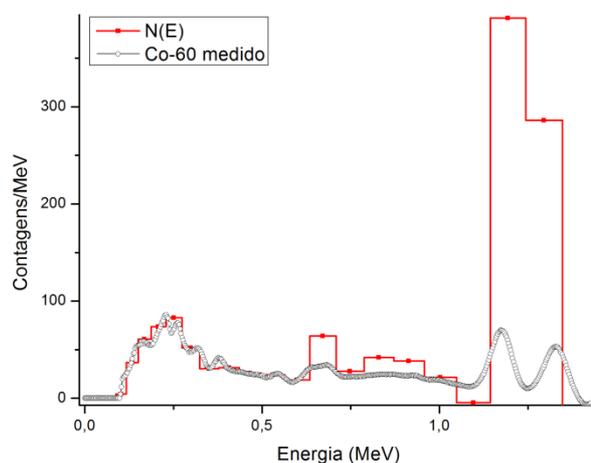


**Figura 1:** PHD do Cs-137 e o espectro de energia de fótons  $N(E')$  como gráfico em escada ajustado pelo ponto médio, resultado da aplicação da matriz resposta inversa.

Pode-se ver pela normalização na Figura 2 que a matriz resposta trabalha as contagens do PHD, principalmente as de mais baixa energias, referentes às absorções parciais de fótons na região do vale Compton e os posiciona no fotopico.

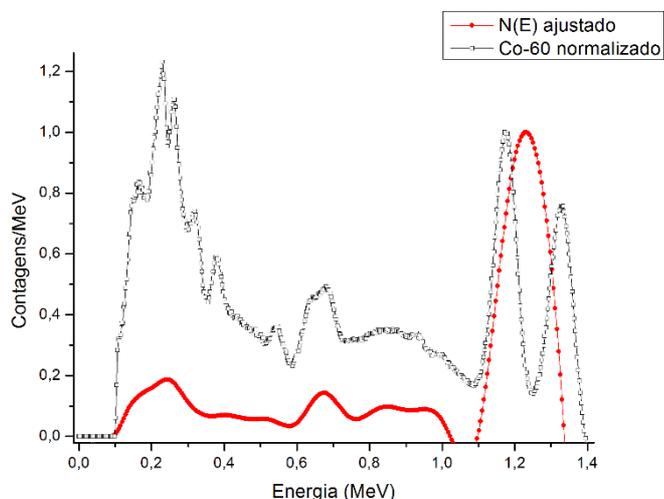


**Figura 2:** A normalização pelo fotopico e o ajuste dos valores de  $E'$  mostram com maior precisão o efeito da matriz resposta inversa no PHD.



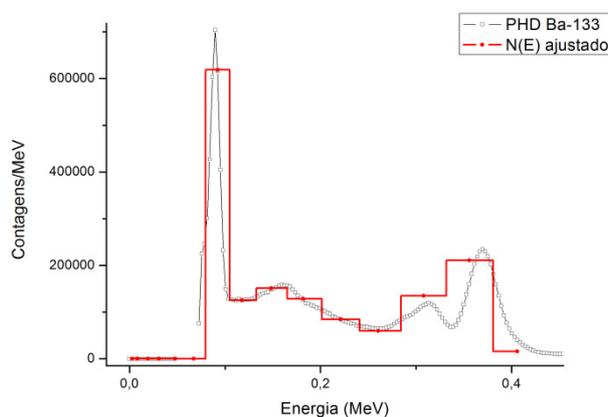
**Figura 3:** PHD do Co-60 corrigido por matriz resposta inversa e espectro de energia de fótons  $N(E')$  em forma de gráfico escada.

A matriz resposta novamente contribui com a diminuição de contagens referentes às absorções parciais de fótons em favorecimento do fotopico. Nota-se que, devido à largura dos intervalos de energia escolhidos para a confecção da matriz, não foi possível diferenciar os dois picos de emissão do Cobalto (Figura 4).

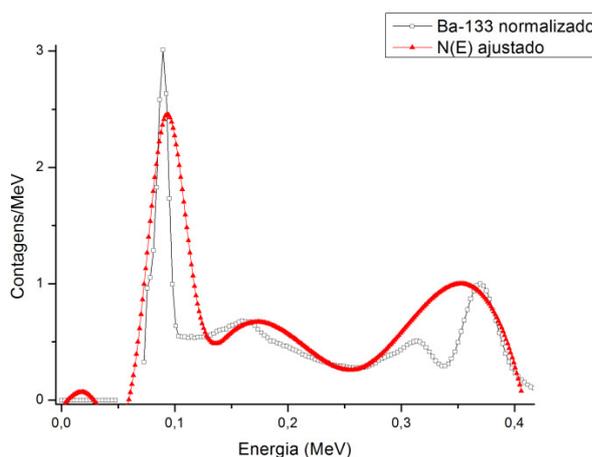


**Figura 4:** Espectro de energia de fótons do Co-60 normalizado à maior contagem do 1º pico do PHD e um ajuste de  $N(E')$  a partir dos pontos centrais de cada intervalo.

Uma matriz que seja formada pra uma malha mais fina, pode ser capaz de corrigir os dois picos do Cobalto-60, mas esse foi o melhor ajuste para o detector usado pois a escolha de intervalos de energia menores só leva a maiores. Seria necessário o uso de outro tipo de detector que tenha melhor resolução de energia. Um detector de Germânio HiperPuro (HPGe) seriam uma boa opção.



**Figura 5:** PHD de Ba-133 e espectro de energia de fótons  $N(E')$  em forma de gráfico escada, resultado da correção do PHD por matriz resposta inversa.



**Figura 6:** PHD do Bário-133 e espectro de energia de fótons  $N(E')$  corrigido por matriz resposta inversa.

#### 4. CONCLUSÕES

Foi obtida uma matriz resposta inversa, uniforme com a raiz quadrada da energia, que transforma o espectro de altura de pulsos em espectro de energia de fótons. Os resultados desta transformação de espectro de altura de pulsos para espectro de energia de fótons são apresentados, mostrando que metodologia empregada neste estudo é adequada.

## 5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o suporte financeiro parcial da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e da FAPESP (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo).

## REFERÊNCIAS

1. HUBBELL, J. H; SCOFIELD, N. E. Unscrambling of gamma-ray scintillation spectrometer pulse-height distributions. **IRE Trans Nucl Sci**, v. 5, p. 156–158, 1958.
2. SINGH, M.; ET AL. Energy and intensity distributions of multiple Compton scattering of 0.279-, 0.662-, and 1.12-MeV  $\gamma$  rays. **Phys Rev A**, 74, p. 042714, 2006.
3. HUBBELL, J. H.. Response of a large sodium-iodide detector to high-energy X-rays. **Rev Sci Instrum**. v.29, p. 65–68, 1958.
4. SABHARWAL, A. D.; ET AL. Response function of NaI(Tl) detectors and multiple backscattering of gamma rays in aluminium. **Appl Radiat Isotopes**, v. 66, p. 1467-1473, 2008.
5. ROGERS, D. W. O. More realistic Monte Carlo calculations of photon detector response functions. **Nucl Instrum Methods**, v. 199, p. 531–548, 1982.
6. FADDEGON, B. A.; ET AL. Precision response estimation, energy calibration, and unfolding of spectra measured with a large NaI detector. **Nucl Instrum Methods A**, v. 301, p. 138-149, 1991.

*International Joint Conference RADIO 2014*

*Gramado, RS, Brazil, August 26-29, 2014*

*SOCIEDADE BRASILEIRA DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA - SBPR*

7. BERGER, M. J.; DOGGETT, J. Response function of thallium-activated sodium iodide scintillation counters. **J Res Nat Bur Stand**, v. 56, p. 355–366, 1956.
  
8. CENGIZ, A. An approximation for response function to g-rays of NaI(Tl) detectors up to 1.5 MeV. **Appl Radiat Isotopes**, v. 66, p. 1371–1376, 2008.