

# INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR

## ESPECTROMETRIA

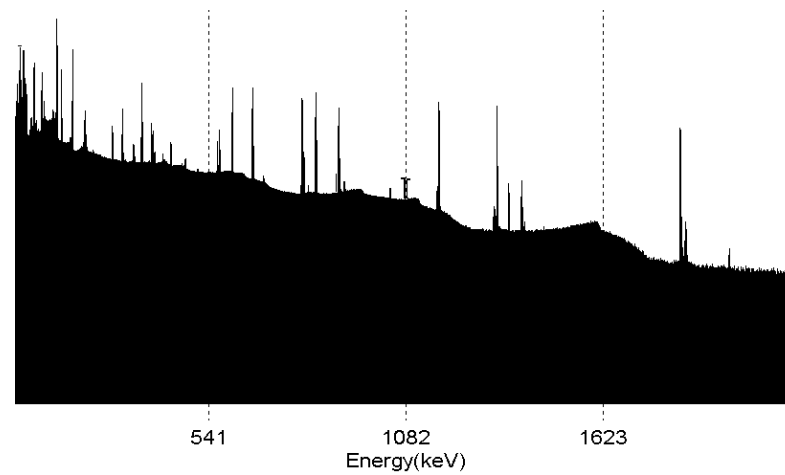
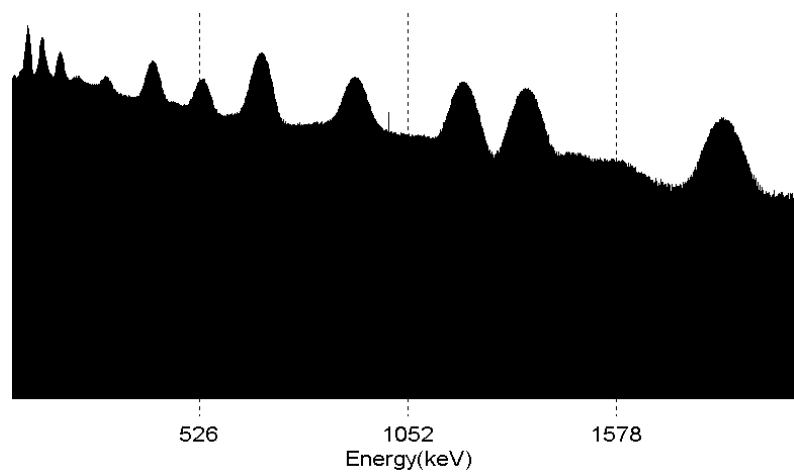
# Espectroscopia gama

Análise quantitativa e qualitativa do radionuclídeo emissor gama.

Os principais detectores são:

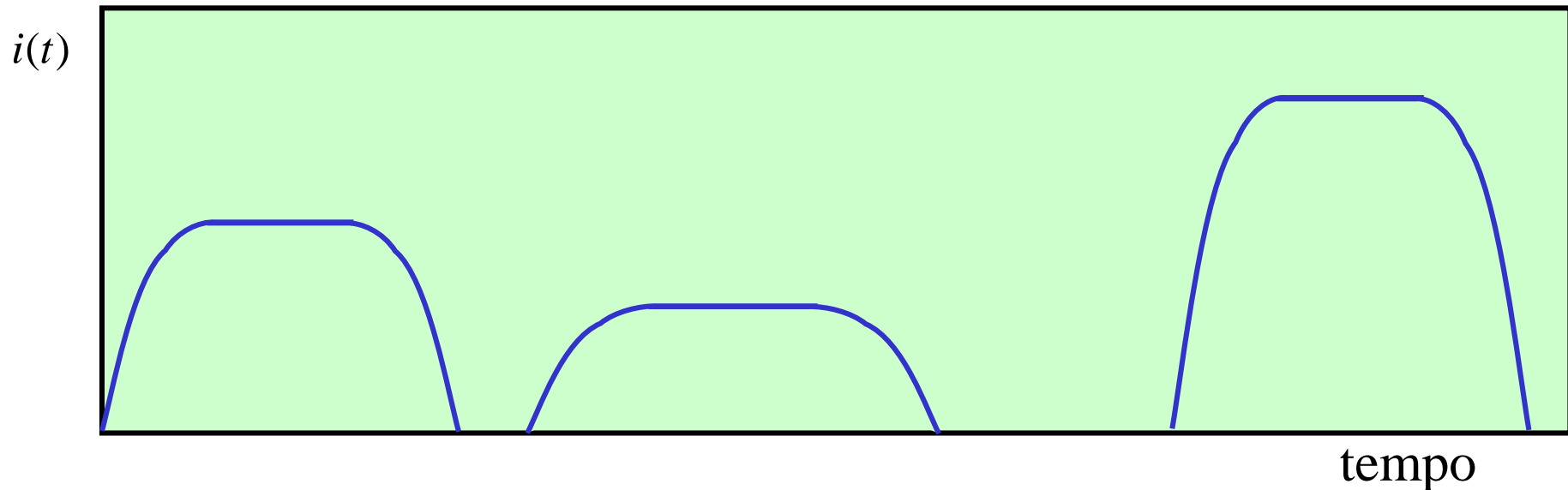
1. Iodeto de Sódio – NaI(Tl) → detector cintilador inorgânico; baixo custo; alta eficiência; resolução pobre.
2. Germânio hiper puro - HPGe → detector semicondutor; alto custo para baixa eficiência; muito alto custo para alta eficiência; ótima resolução.

# Espectros



# Propriedades gerais de um detector

Na situação real, muitos fótons interagem com o detector em certo intervalo de tempo.

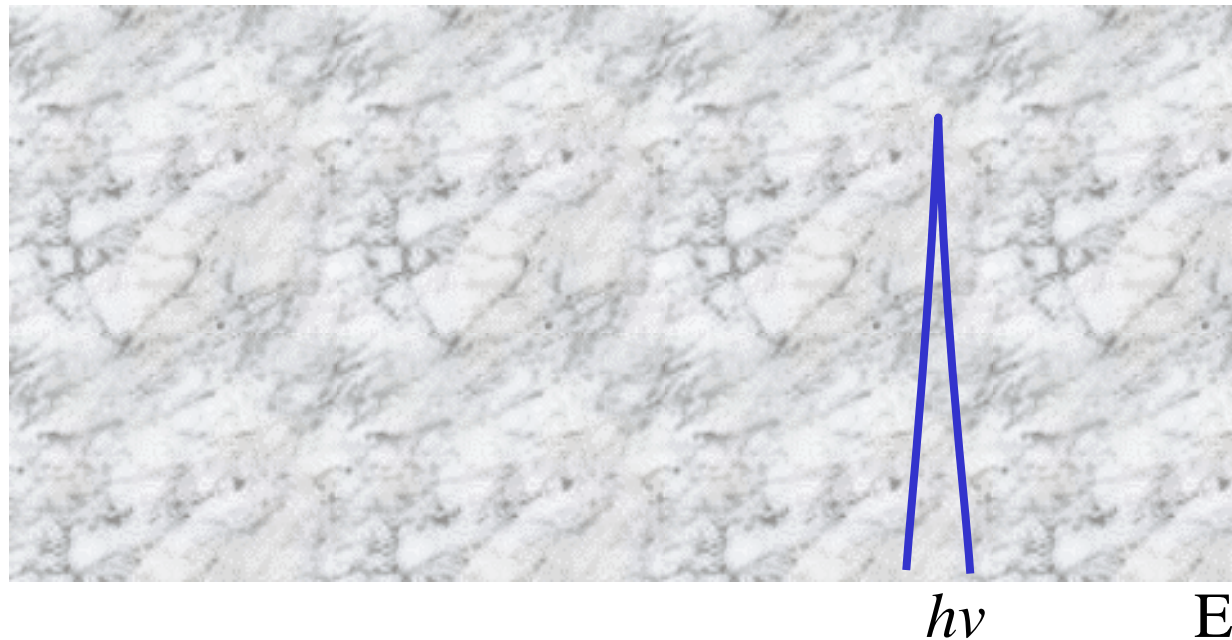


A altura do pulso dependerá do número de elétrons liberados que, por sua vez, dependerá da energia transferida para o material do detector.

# Efeito fotoelétrico

Efeito no qual o fóton desaparece transferindo toda a sua energia para um elétron.

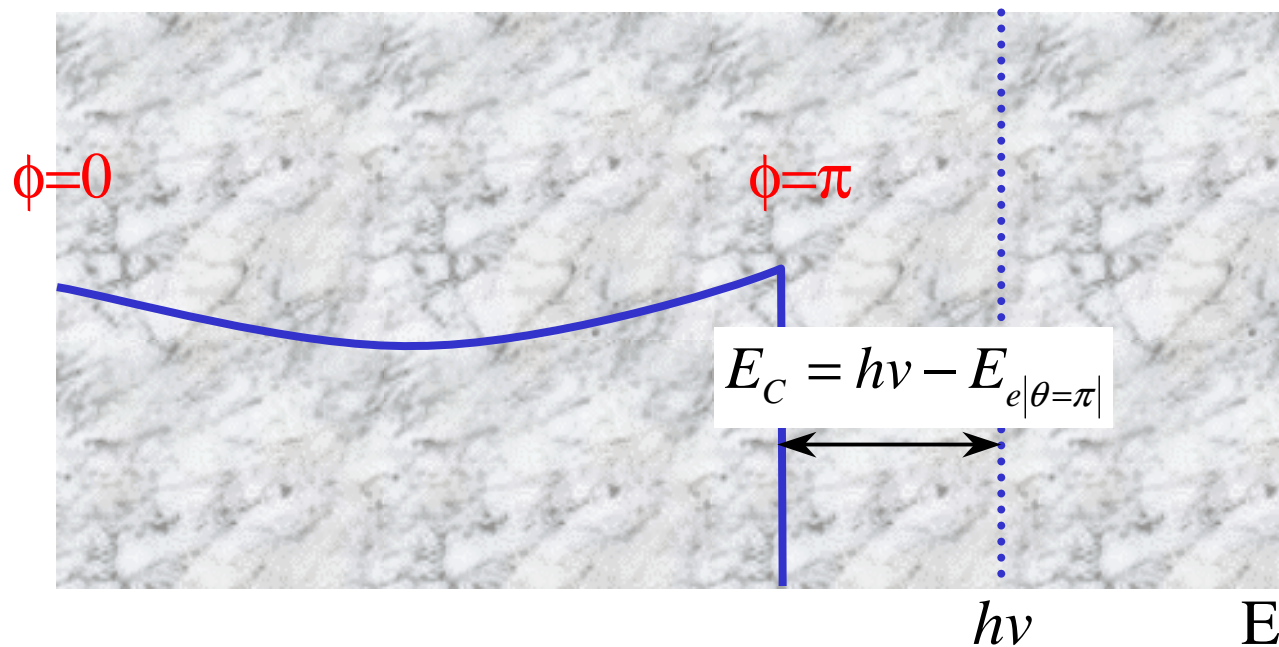
$$E_e = h\nu - E_{\text{ligação}}$$



# Efeito Compton

Efeito no qual o fóton transfere parcialmente sua energia para um elétron.

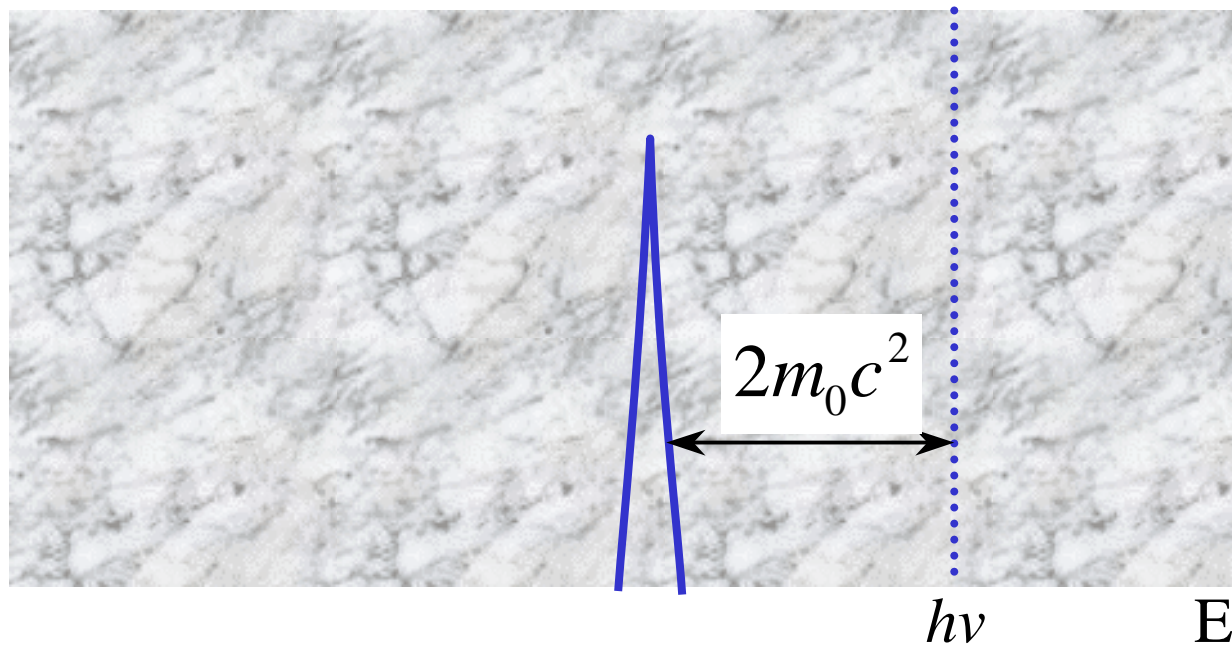
$$E_e = hv \left( \frac{(hv / m_0 c^2)(1 - \cos \theta)}{1 + (hv / m_0 c^2)(1 - \cos \theta)} \right)$$



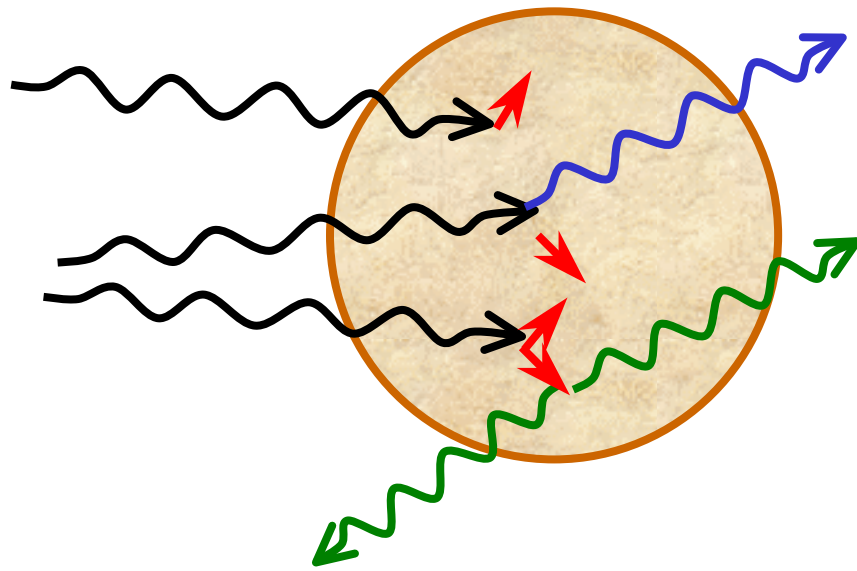
# Produção de pares

Efeito no qual o fóton dá lugar ao aparecimento de dois elétrons.

$$E_{e^-} + E_{e^+} = h\nu - 2m_0c^2$$

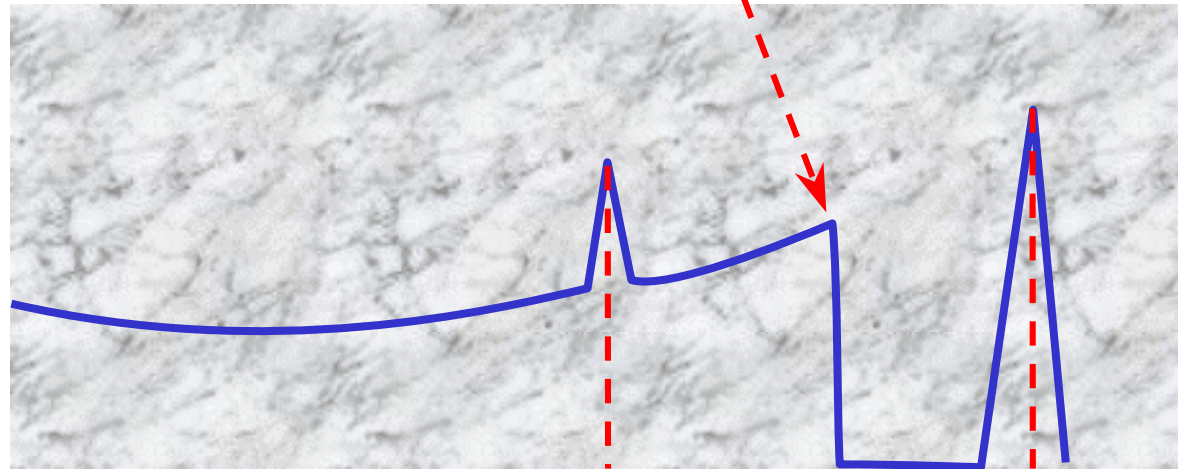


# Efeitos do cristal – pequeno



joelho Compton  
 $E_c = h\nu - E_e(\theta = \pi)$

$\frac{dN}{dE}$



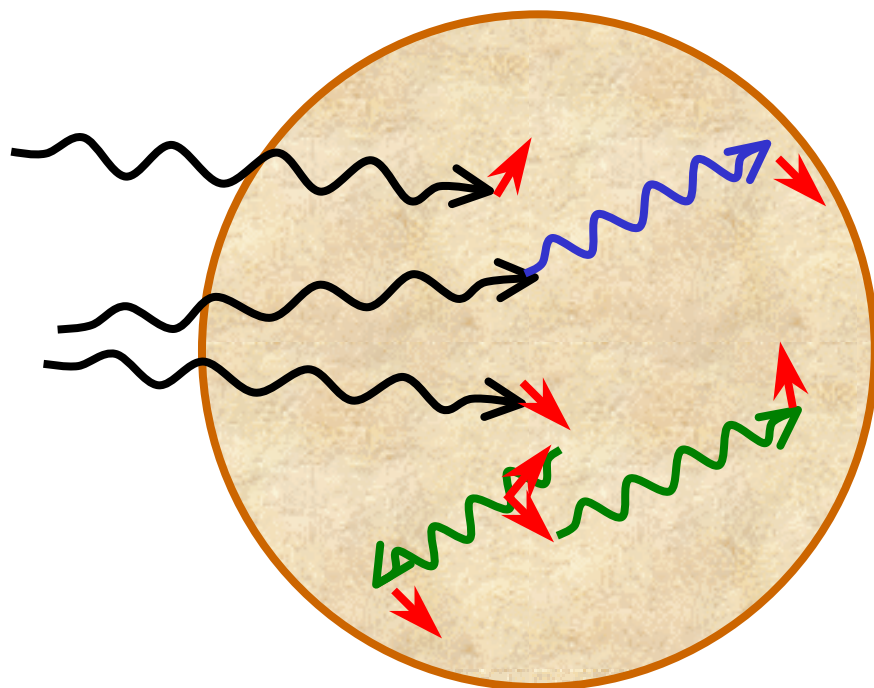
$h\nu - 2 \times 0,511$

$h\nu$

$E$



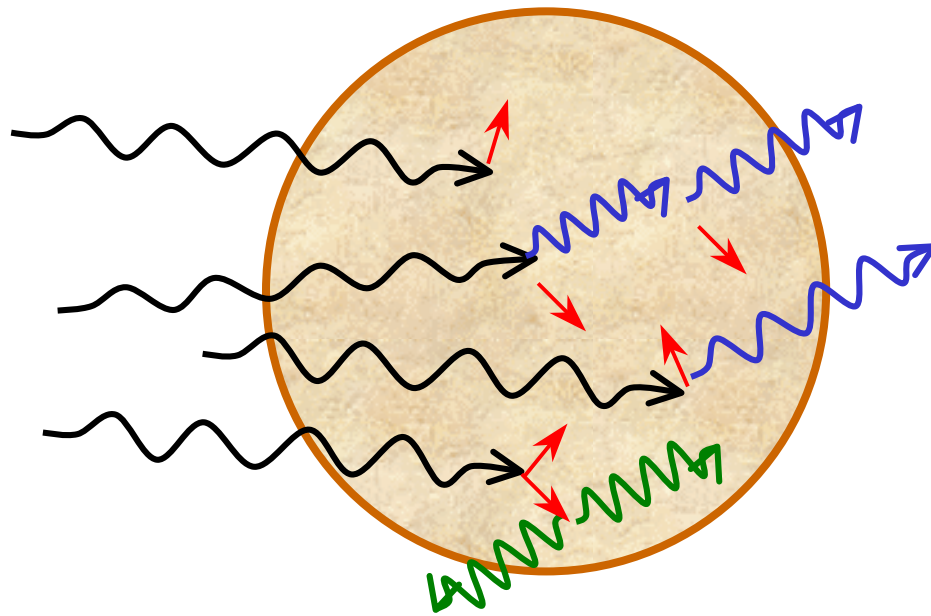
# Efeitos do cristal – grande



$$\frac{dN}{dE}$$



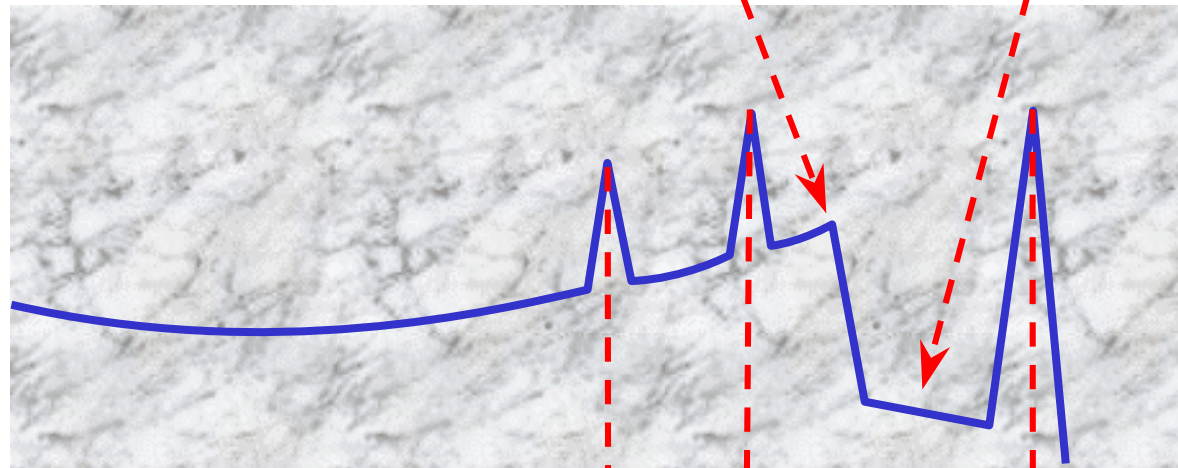
# Efeitos do cristal – médio



joelho Compton  
 $E_c = h\nu - E_e(\theta = \pi)$

espalhamento  
 múltiplo

$$\frac{dN}{dE}$$



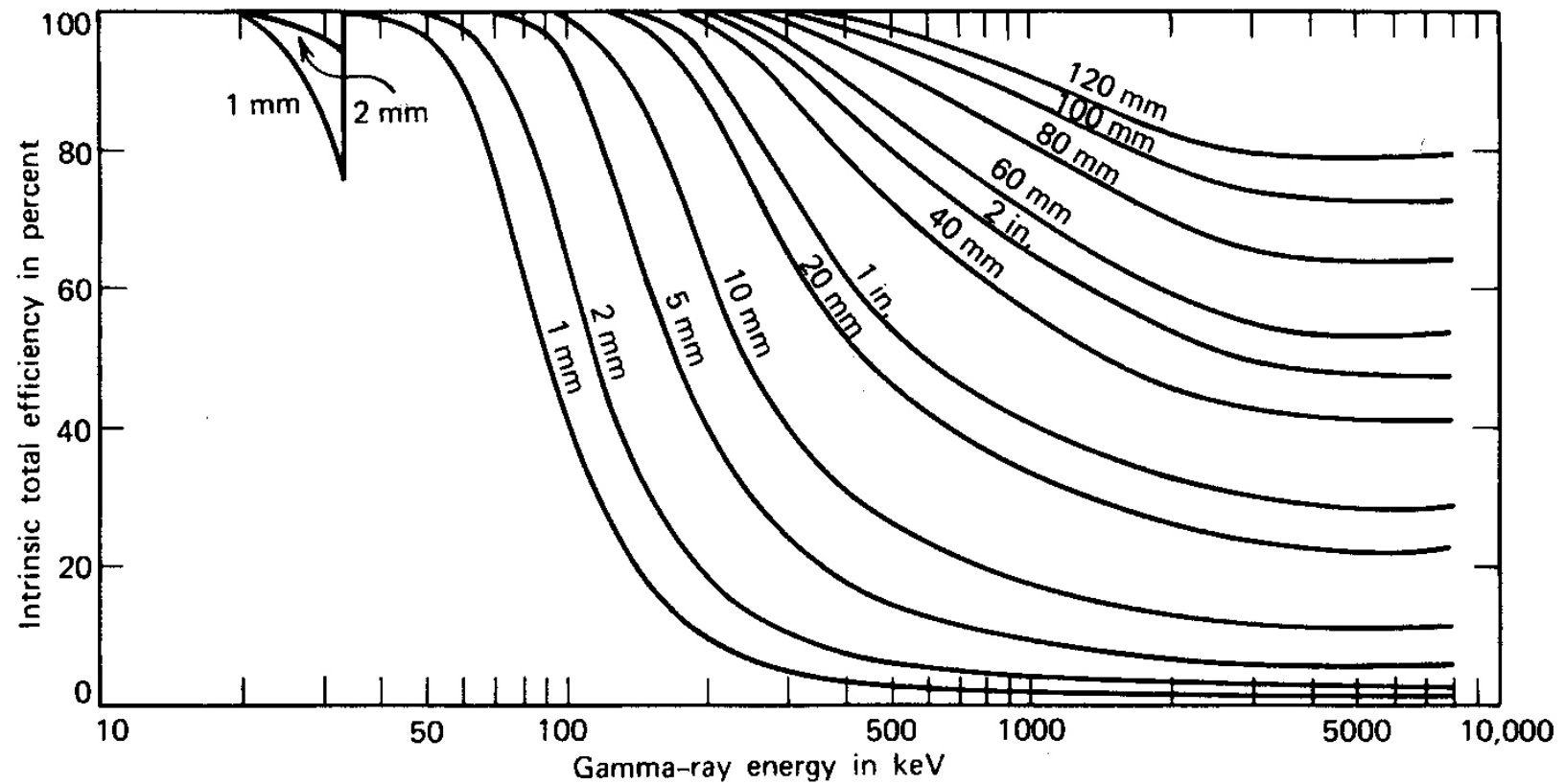
$$h\nu - 2 \cdot 0,511$$

$$h\nu - 0,511$$

$$h\nu$$

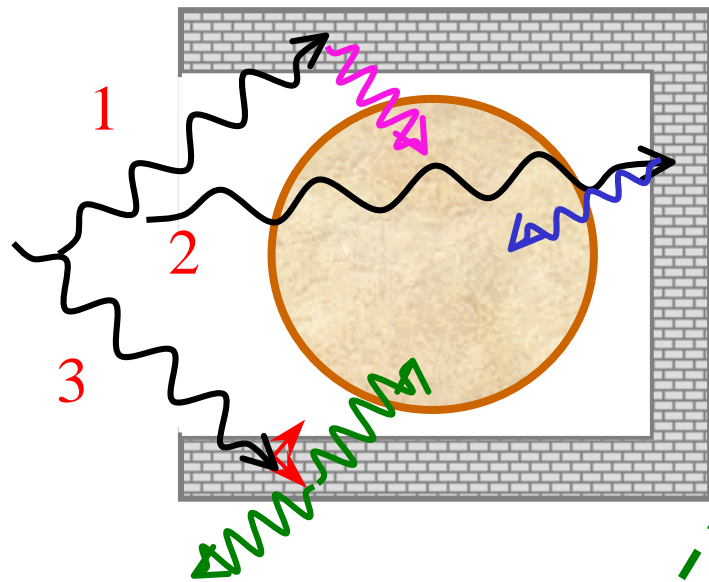
E

# Efeito da espessura



**Figure 10.24** The intrinsic total efficiency of various thicknesses of NaI(Tl) for gamma rays perpendicular to its surface.

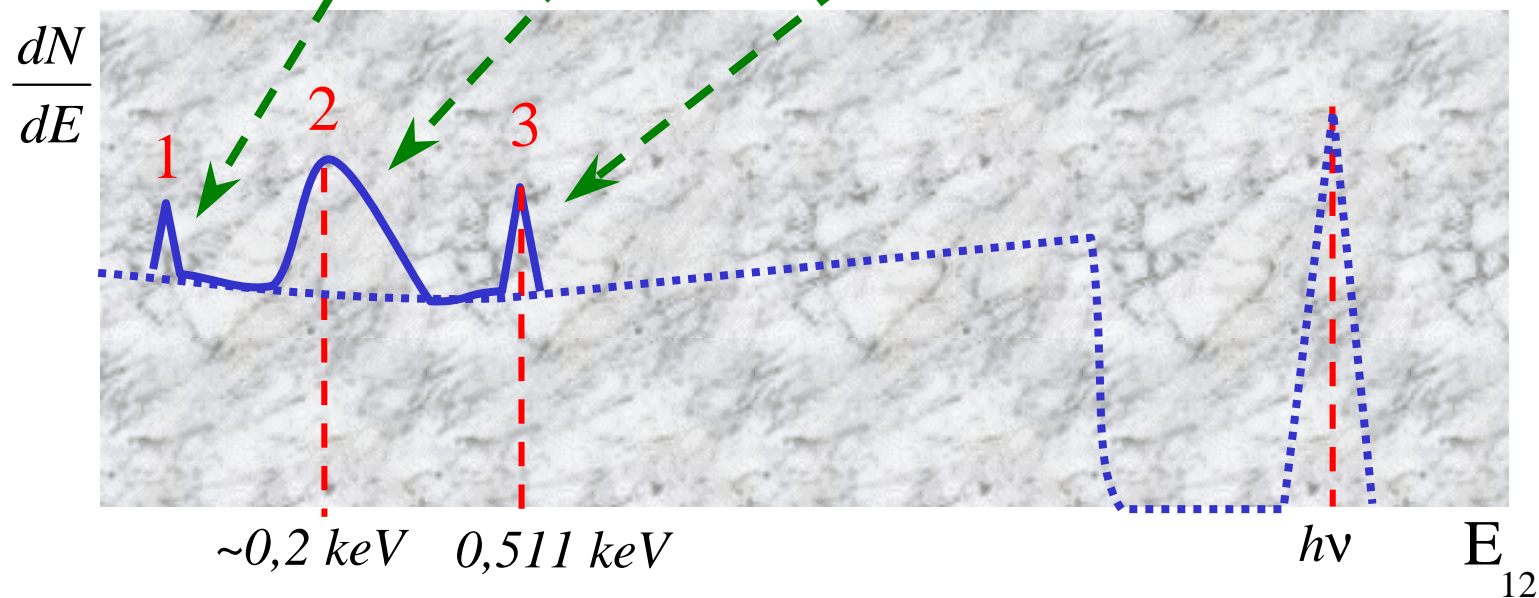
# Efeitos da blindagem



raio X caracterísitico

retro espalhamento

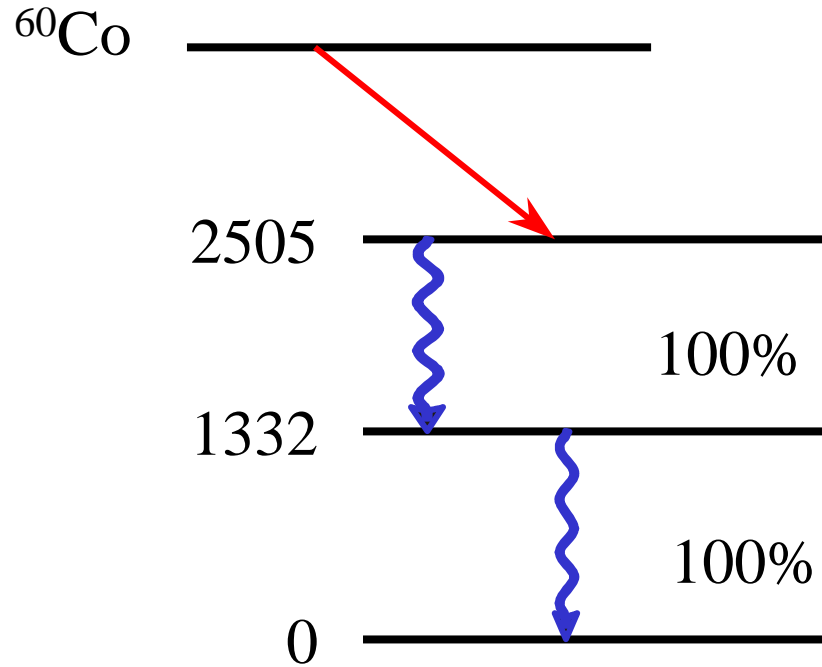
aniquilamento



# Complicações no espectro

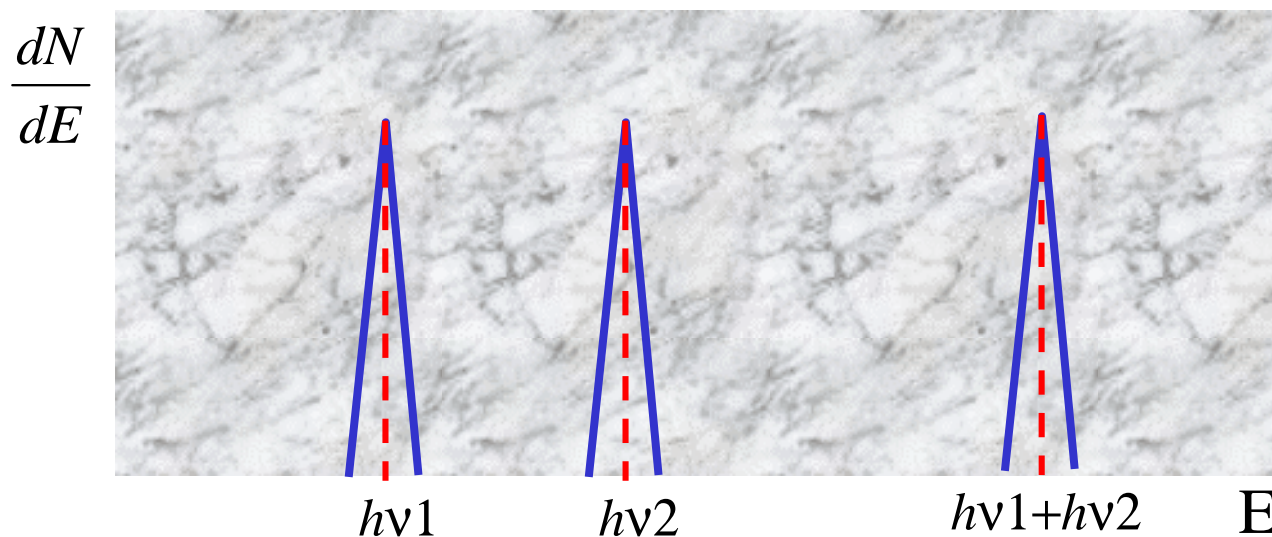
1. Escape de elétrons secundários
2. Escape de Bremsstrahlung
3. Escape de raio-X característico
4. Radiação secundária gerada perto da fonte
  - a. Radiação de aniquilamento
  - b. Bremsstrahlung

# Efeito soma

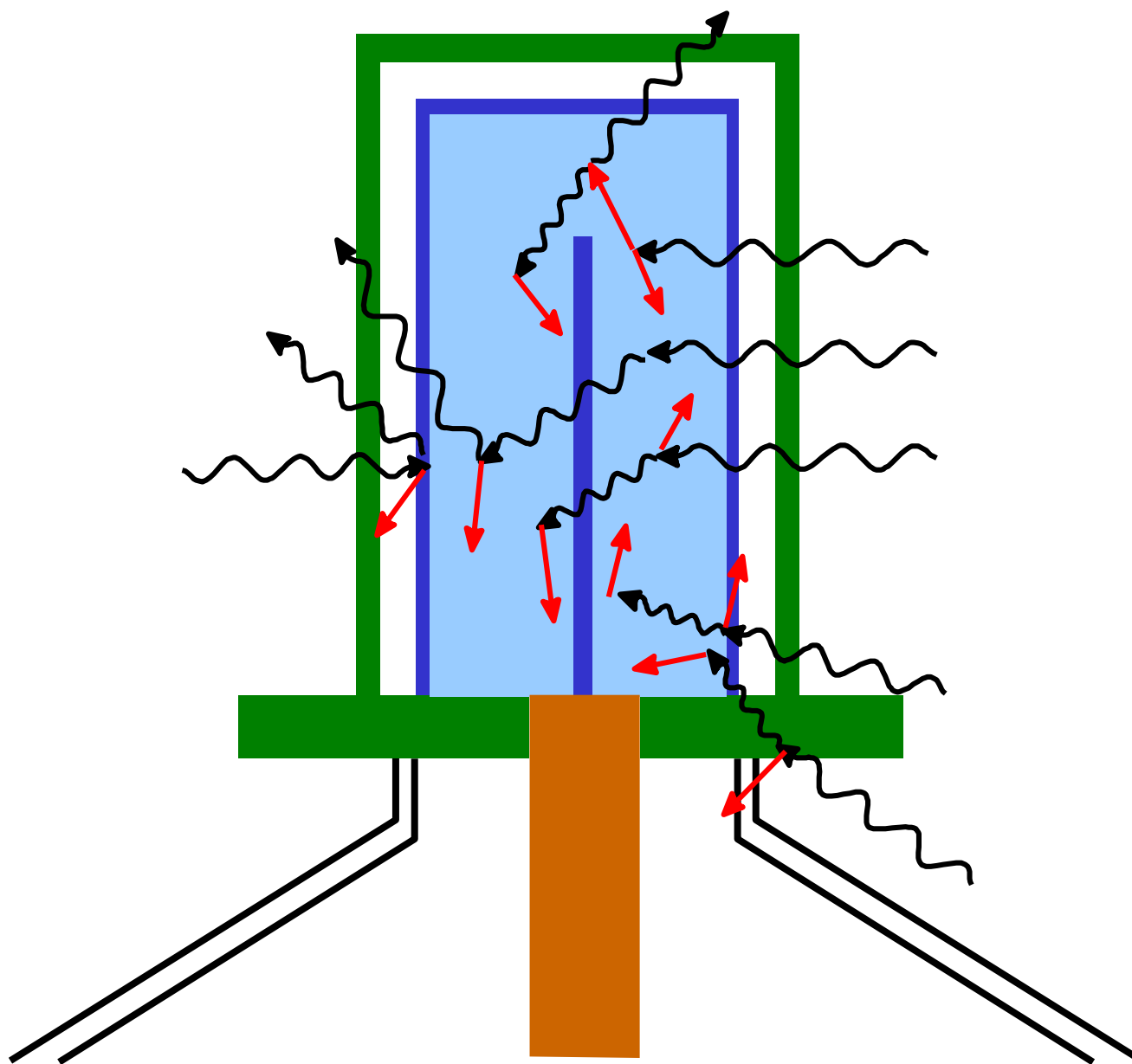


Fontes muito próximas ao detector  
→ efeito soma

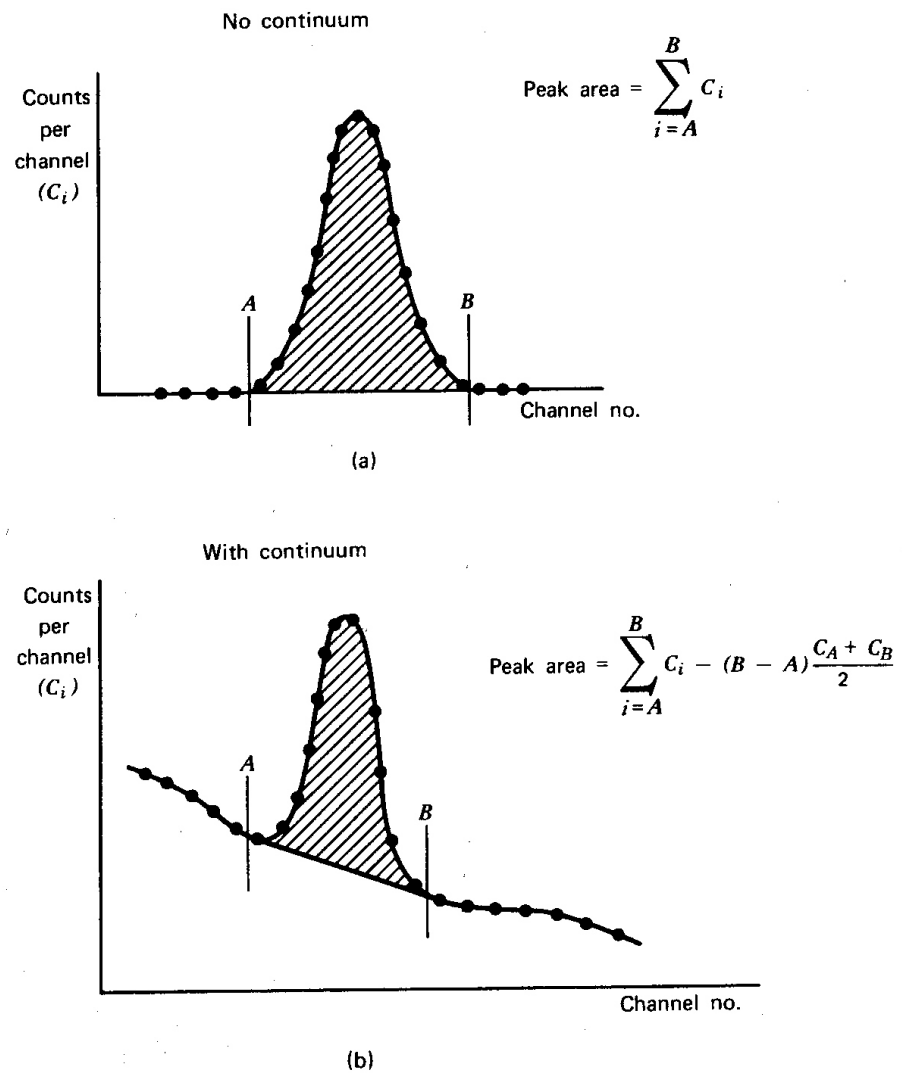
aparecimento de um pico cuja  
energia é a soma das energias dos  
fótons envolvidos..



# Efeitos em detector de germânio



# Área do fotopico



**Figure 10.29** Methods of obtaining peak areas from multichannel spectra. In part (a) the continuum under the peak present in part (b) is negligible.



# Eficiência absoluta

$$\varepsilon(E) = \frac{S}{T \cdot i \cdot A \cdot k}$$

Diagram illustrating the components of the absolute efficiency equation  $\varepsilon(E) = \frac{S}{T \cdot i \cdot A \cdot k}$ :

- $S$ : área
- $T$ : tempo de contagem
- $i$ : % de emissão
- $A$ : Atividade
- $k$ : correção de decaimento

# Eficiência intrínseca

$$\varepsilon = \frac{N}{\varphi t}$$

$\varepsilon$  = eficiência do detector no fotopico ou total (cps/ $\gamma$ /cm<sup>2</sup>);

$N$  = taxa de contagem no fotopico ou total (cps);

$\varphi$  = fluxo emitido pela fonte ou que incide sobre o detector ( $\gamma$ /cm<sup>2</sup> .s);

$t$  = tempo de contagem (s).

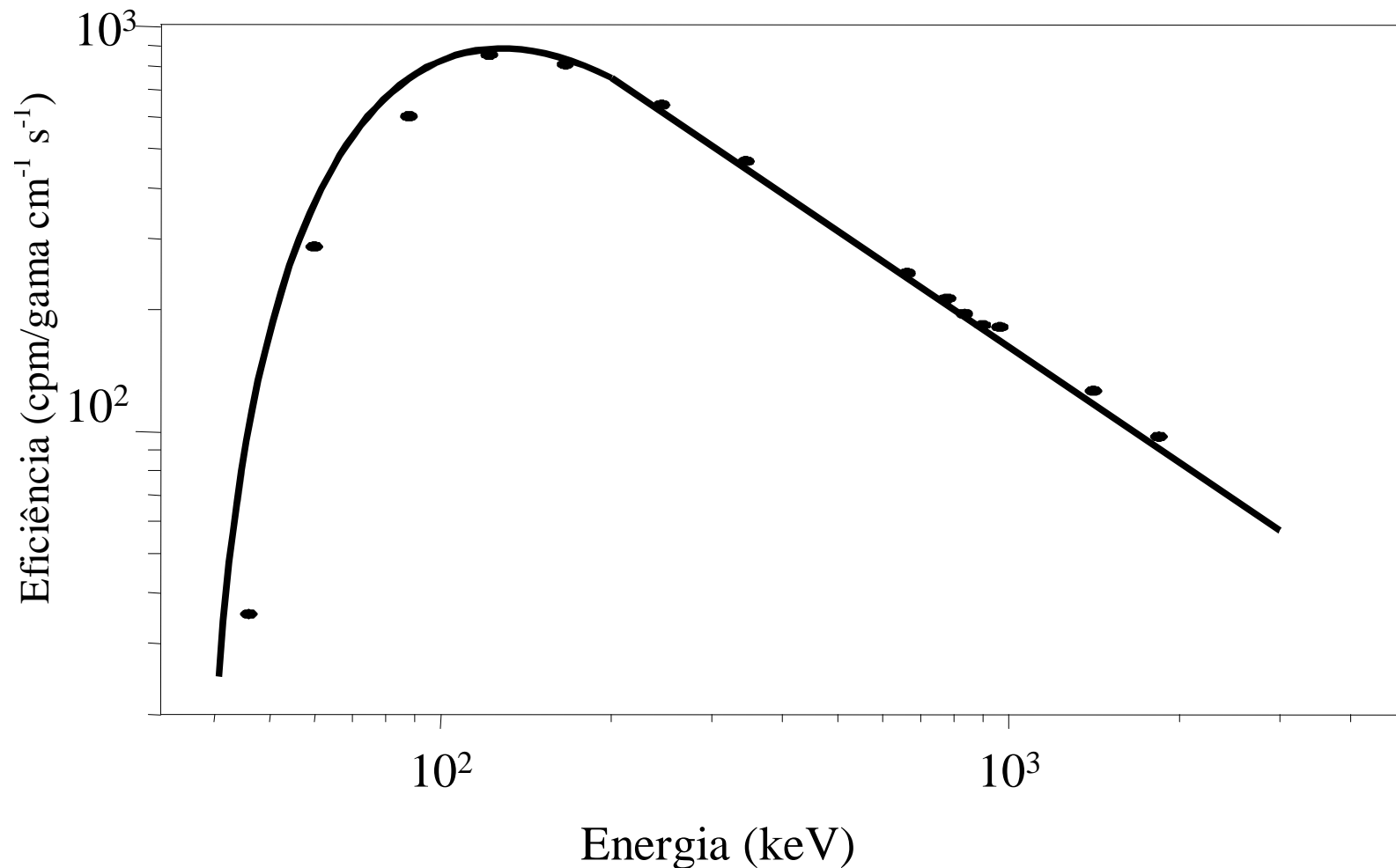
$$\varphi = \frac{S e^{-\mu d}}{4\pi d^2}$$

$S$  = taxa de emissão da fonte ( $\gamma$ /s);

$\mu$  = coeficiente de atenuação linear total no ar (cm<sup>-1</sup>);

$d$  = distância fonte-detector (cm).

## Curva de eficiência



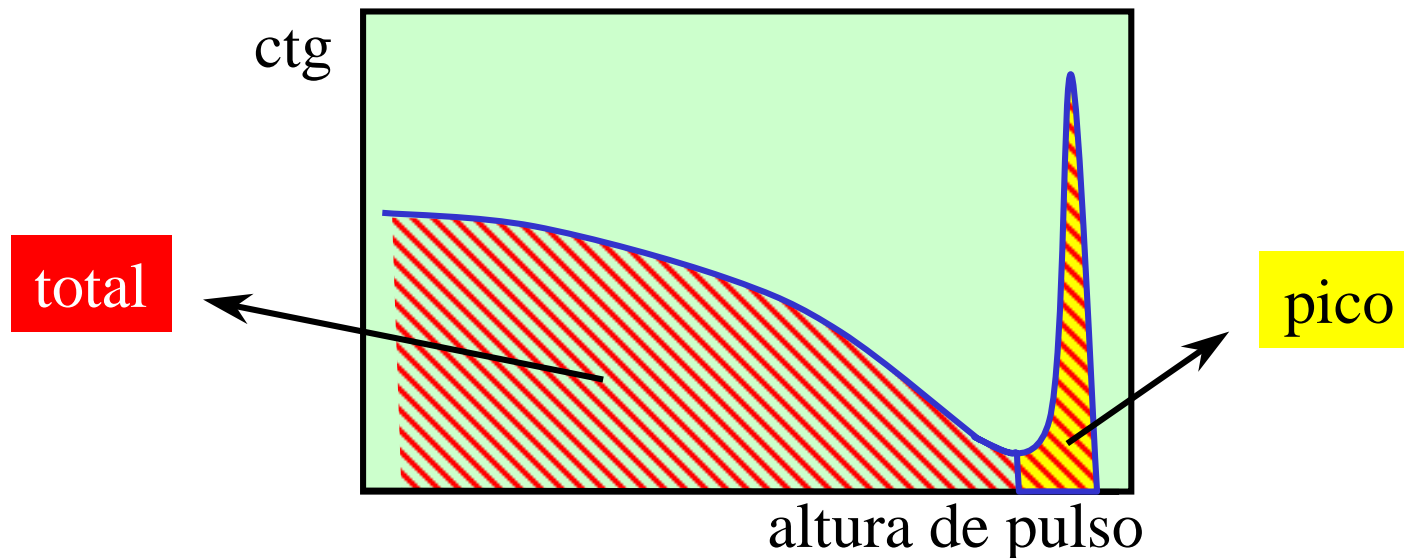
Curva de eficiência para o detector HPGe, obtida por modelagem; os pontos representam os valores obtidos experimentalmente.

# Eficiência total e pico

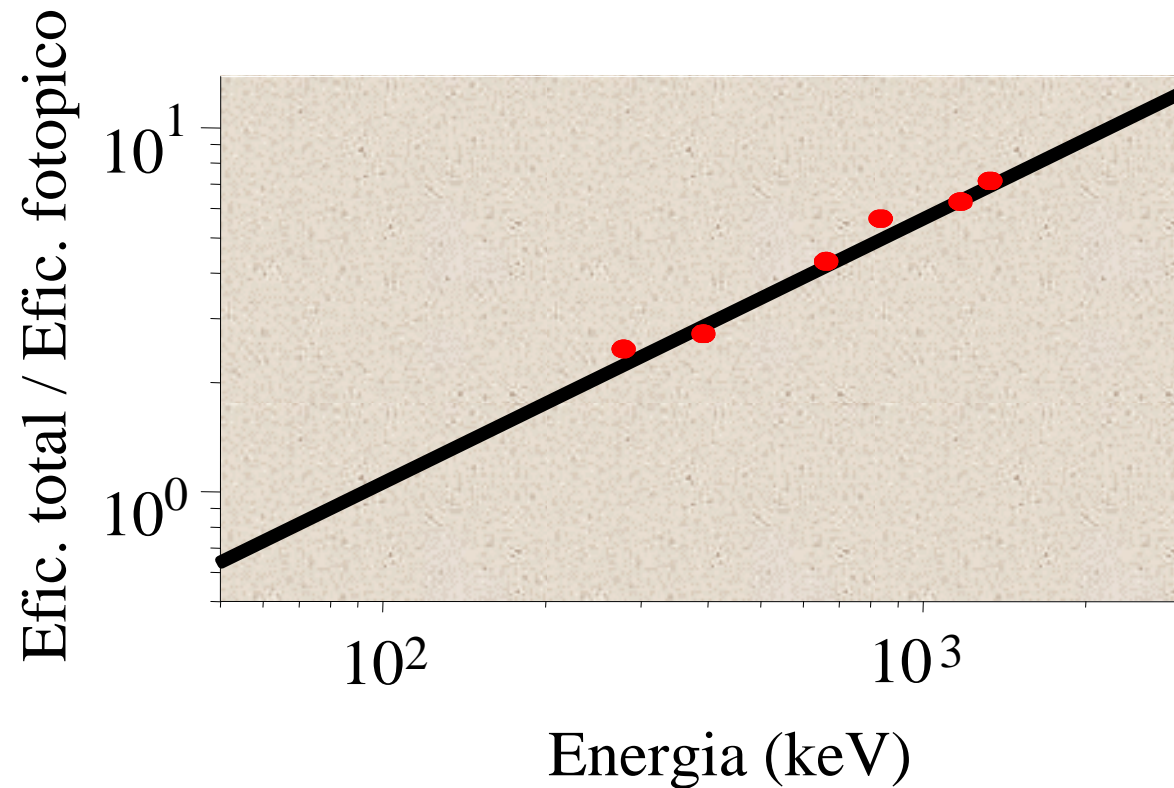
**Eficiência pico** – considera apenas a deposição total da energia.

**Eficiência total** – considera todos os pulsos gerados no detector.

$$r = \frac{\mathcal{E}_{pico}}{\mathcal{E}_{total}}$$



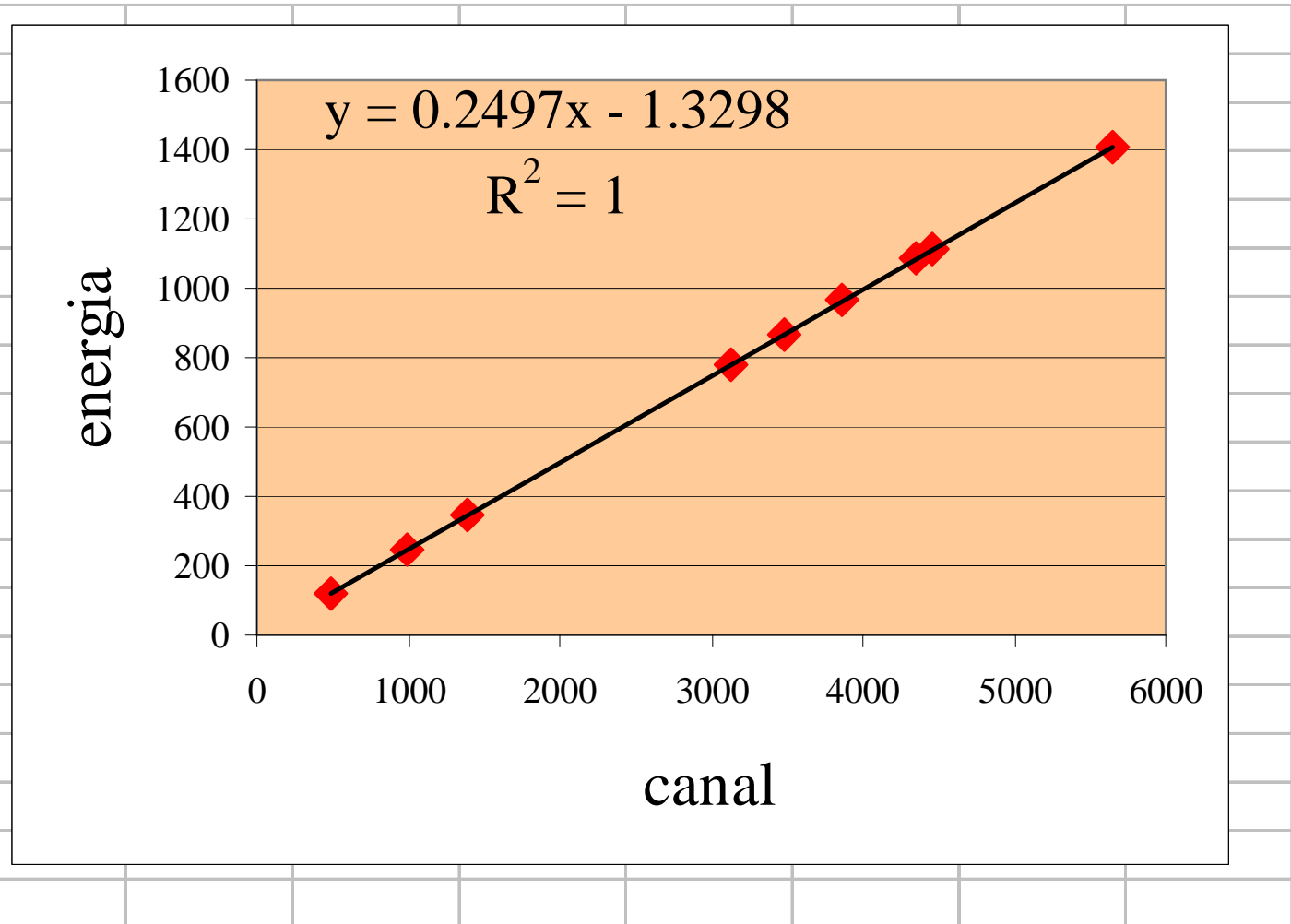
## Eficiência total e pico



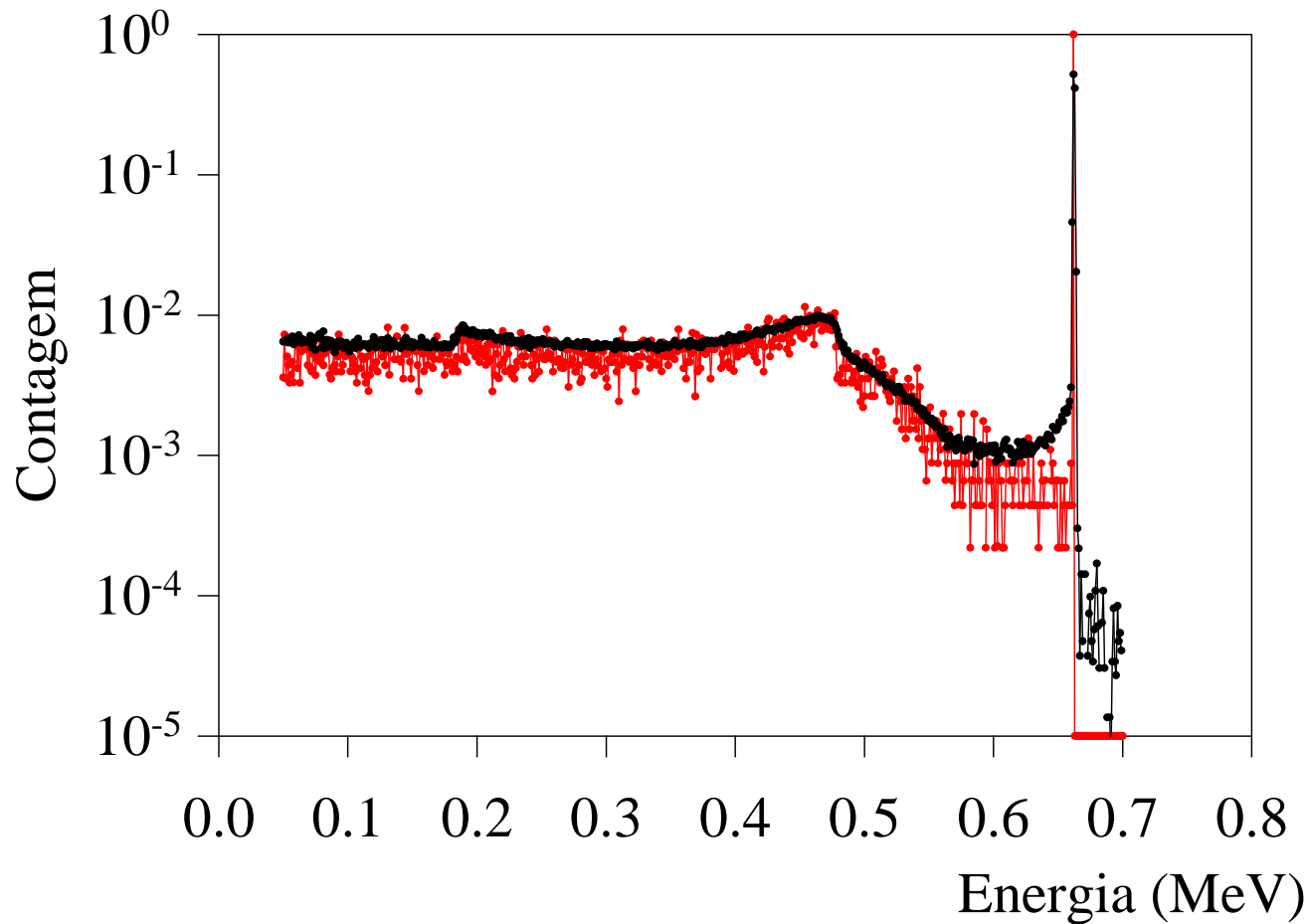
Curva da razão entre a eficiência total e de fotopico. A curva foi obtida por modelagem e os pontos representam os valores obtidos experimentalmente.

# Calibração em energia

121.79	493.09
244.69	985.42
344.27	1384.28
778.89	3125.13
867.32	3479.39
964.01	3866.63
1085.78	4354.12
1112.02	4459.47
1407.95	5644.74

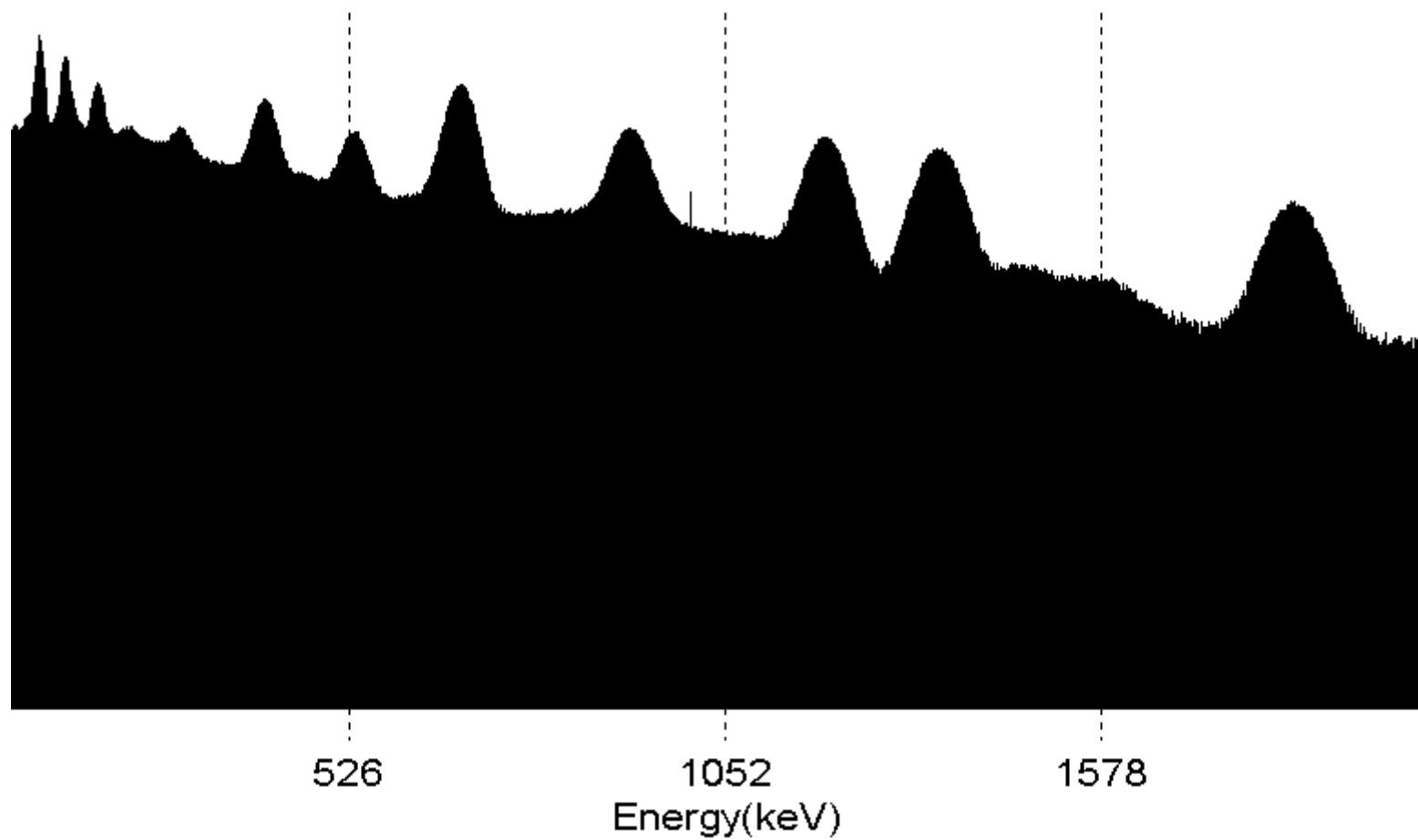


# Experimental e simulação



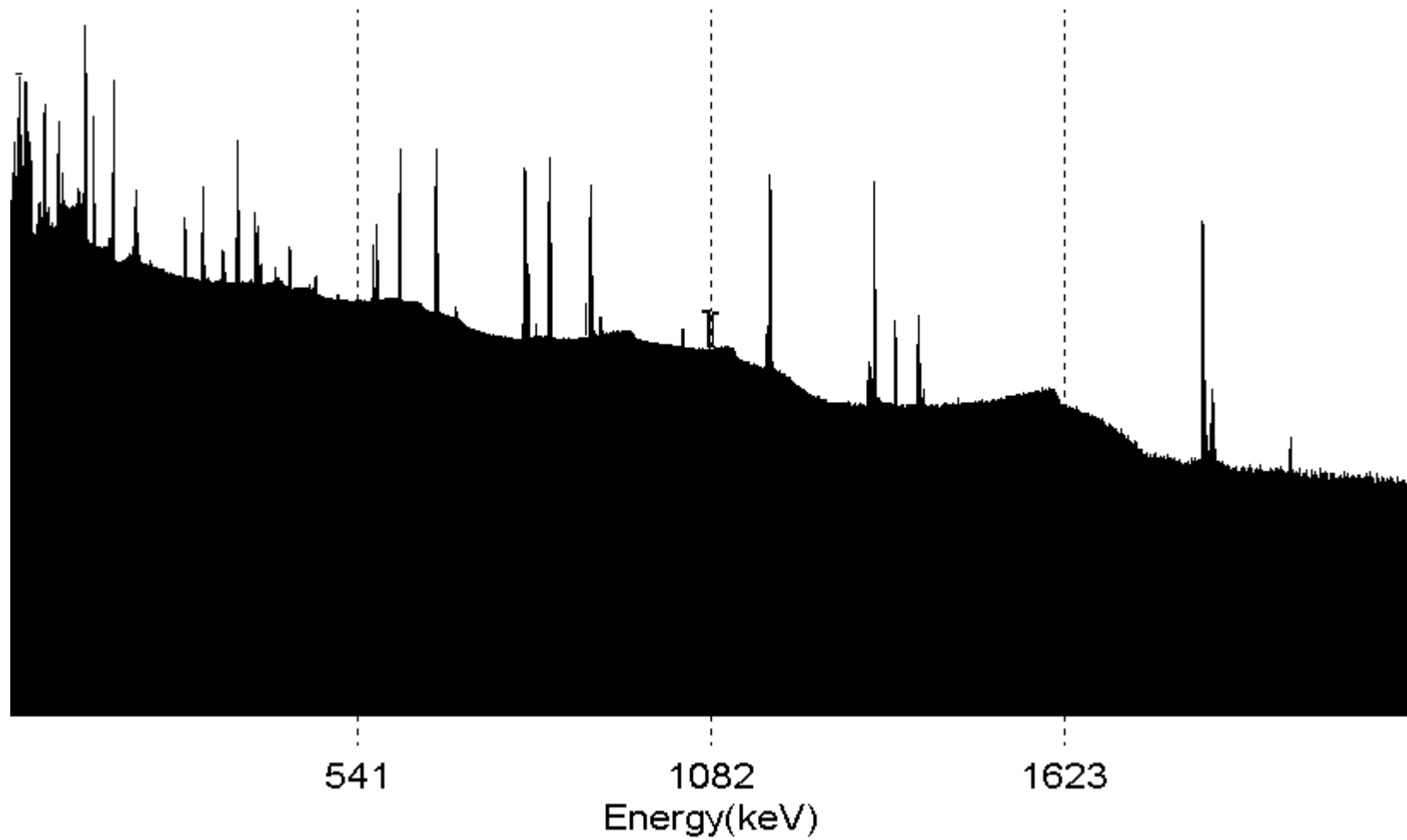
Espectro para o  $^{137}\text{Cs}$  obtido experimentalmente e o espectro obtido por simulação para a energia de 661,66keV. O espectro experimental foi obtido pela subtração do espectro obtido por medida direta da fonte pelo espectro obtido com a blindagem de sombra posicionada.

# Espectro - NaI(Tl)

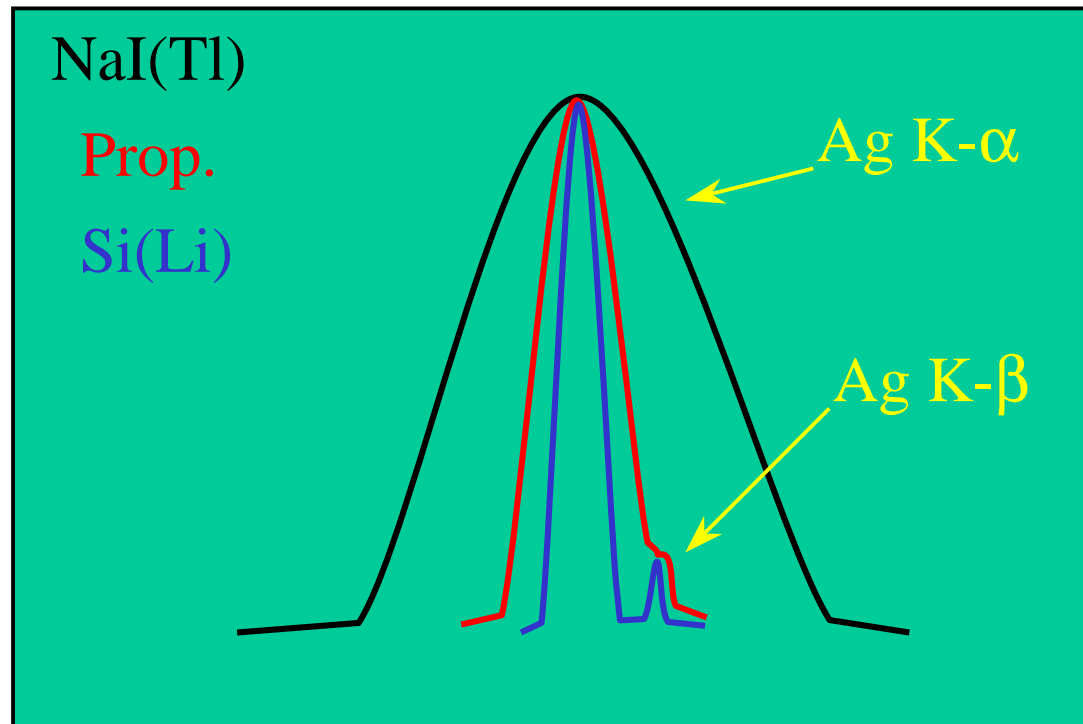




# Espectro - HPGe



# Comparação entre detectores



# Espectro – Barreira de Superfície

